

Globali aplinkos kaita



G l o b a l i a p l i n k o s k a i t a

UDK 551.5
GL-117

Mokomoji knyga II ir III pakopos studentams parengta pagal 2004-2006 metų Bendrojo programavimo dokumento 2.5 priemonę „Žmogiškųjų išteklių kokybės gerinimas mokslinių tyrimų ir inovacijų srityje“ vykdomą projektą „Mokymų organizavimas bei tyrėjų mokslinės kompetencijos didinimas sudarant prielaidas ES teisės aktų, susijusių su globalios kaitos ir antropogeninio poveikio ekosistemos tyrimu bei monitoringu, įgyvendinimui“.

Apsvarstė ir rekomendavo spausdinti VU Gamtos mokslų fakulteto taryba
(2007-03-14; protokolo Nr. 2).

Autoriai

Aušrys Balevičius
Arūnas Bukantis
Egidijus Bukelskis
Gytautas Ignatavičius
Ernestas Kutorga
Pranas Mierauskas
Egidijus Rimkus
Jonė Rukšėnienė
Stanislovas Sinkevičius
Gintautas Stankūnavičius
Gintaras Valiuškevičius
Petras Zemlys
Rimas Petras Žaromskis

Atsakingieji redaktoriai:

Egidijus Rimkus, Stanislovas Sinkevičius

Recenzavo:

prof. Vytautas Juodkasis, dr. Zigmantas Gudžinskas

Redaktorė:

Danutė Griniūtė

Išleido ir spausdino:

UAB „Petro ofsetas“, Žalgirio g. 90, 09303 Vilnius

Turinys

I	VADAS	7
	<i>E. Rimkus (Vilniaus universitetas)</i>	
1.	GLOBALI EKOSISTEMŲ KAITA	10
	<i>S. Sinkevičius (Vilniaus universitetas)</i>	
1.1.	Globalios kaitos ekosisteminiu lygmeniu samprata	10
1.2.	Globalus fizinis poveikis ekosistemoms	11
1.3.	Sinenergetinis globalios antropogeninės veiklos poveikis ekosistemoms	16
1.4.	Kaita ekosistemų struktūrose.....	18
1.5.	Ekosistemų ir jų struktūrų vertė	25
	<i>Literatūra</i>	27
2.	GAMTINIŲ EKOSISTEMŲ MONITORINGAS	29
	<i>G. Ignatavičius (Vilniaus universitetas)</i>	
2.1.	Gamtinių ekosistemų monitoringo samprata.....	29
2.2.	Integruotas aplinkos vertinimas.....	32
2.3.	Buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringas	49
	<i>Literatūra</i>	51
3.	ATMOSFEROS IR HIDROSFEROS MONITORINGAS	54
	<i>G. Stankūnavičius (Vilniaus universitetas)</i>	
3.1.	Meteorologijos informacijos rūšys.....	54
3.2.	Meteorologijos informacija skaitmeniniams modeliams.....	56
3.3.	Atmosferos radiozondavimo sistemos	64
3.4.	Pasaulinės ir regioninės monitoringo sistemos.....	66
3.5.	Sausumos vandenų ir oro kokybės monitoringas	71
3.6.	Pasauliniai monitoringo duomenų centrai	73
	<i>Santrumpos</i>	75
	<i>Literatūra</i>	76
4.	KLIMATO KAITOS INDIKACIJA IR PRIEŽASTYS	77
	<i>A. Bukantis (Vilniaus universitetas)</i>	
4.1.	Klimato sistemos struktūra	77
4.2.	Klimato kaitos tyrimų kryptys ir metodai	77

4.3. Netiesioginiai klimato indikatoriai	78
4.4. Instrumentinių meteorologinių matavimų rezultatai	89
4.5. Klimato kaitos priežastys	92
4.6. Atmosferos sudėties evoliucijos poveikis klimatui	93
4.7. Vandens vaidmuo klimato kaitoje.....	95
4.8. Litosferos plokščių mobilizmo teorijos taikymas paleoklimatinėse rekonstrukcijose.....	96
4.9. Astronominės klimato svyravimų teorijos.....	97
4.10. Heliofizinių veiksnių poveikis klimatui.....	99
4.11. Antropogeninių veiksnių poveikis klimatui.....	102
<i>Literatūra</i>	105

5. KLIMATO KAITOS PROGNOZĖS..... 107

E. Rimkus (Vilniaus universitetas)

5.1. Klimato modeliai.....	107
5.2. Klimato sistemos modeliavimas bei grįžtamieji ryšiai	109
5.3. Teršalų emisijos scenarijai ir šiuolaikiniai klimato modeliai.....	113
5.4. Klimato prognozės	118
5.5. Gamtinių ir socialinių sektorių jautrumas klimato kaitai ir pažeidžiamumas	125
5.6. Klimato kaitos švelninimo priemonės	127
5.7. Gamtinių ir socialinių sferų adaptacija prie kintančio klimato	130
5.8. Tarptautinė klimato kaitos švelninimo bei adaptacijos priemonių politika.....	131
<i>Literatūra</i>	132

6. PASAULIO VANDENYNAS GLOBALIOS KAITOS FONE 133

R. Žaromskis (Vilniaus universitetas)

6.1. Bendros žinios	133
6.2. Vandens pažinimo istorija.....	136
6.3. Vandens masės ypatybės	139
6.4. Vandens dinamika vandenyne.....	143
6.5. Vandenyne kaip gyvybinė erdvė.....	146
6.6. Vandens pokyčiai, susiję su globalia klimato kaita	149
6.7. Globali vandens kaita, susijusi su tiesiogine žmonių veikla	151
6.8. Globalios krantodaros tendencijos visuotinės klimato kaitos ir antropogeninės veiklos kontekste.....	153
6.9. Antropogeninės veiklos ir technologijų kaita Pasaulio vandenyne.....	155
6.10. Klimato kaitos poveikis Baltijos jūros regionui.....	157
6.11. Kuršių marios globalios kaitos kontekste.....	160

6.12. Lietuvos jūros krantų raida veikiant gamtiniais ir antropogeniniams procesams	161
---	-----

<i>Literatūra</i>	163
-------------------------	-----

7. GLOBALIOS KAITOS POVEIKIS SAUSUMOS VANDENIMS	165
--	-----

G. Valiuskevičius (Vilniaus universitetas)

7.1. Svarbiausi sausumos vandenų režimą bei savybes lemiantys svertai	165
---	-----

7.2. Globalios kaitos poveikis upėms	167
--	-----

7.3. Globalios kaitos poveikis ežerams ir tvenkiniams	171
---	-----

7.4. Visuotinė kaita ir pelkės	174
--------------------------------------	-----

7.5. Klimato kaitos poveikis ledynams	177
---	-----

7.6. Globalios kaitos reikšmė požeminio vandens ištekliais ir būklei	180
--	-----

7.7. Globalios kaitos sukeltų sausumos vandenų pokyčių raida ir prognozės	184
---	-----

<i>Literatūra</i>	187
-------------------------	-----

8. BIOLOGINĖ KAITA SAUSUMOS VANDENYSE	188
--	-----

E. Bukelskis, A. Balevičius (Vilniaus universitetas)

8.1. Gėlių vandens telkinių funkcinės zonos, jų hidrobiontai ir kaita	189
---	-----

8.2. Žuvų bendrijų kaita ežeruose	196
---	-----

8.3. Žuvų ištekliai Lietuvos ežeruose bei tvenkiniuose ir jų naudojimas	202
---	-----

8.4. Upių deltų ir estuarijų biologinės įvairovės kaita	203
---	-----

<i>Literatūra</i>	206
-------------------------	-----

9. AUGALIJOS IR GRYBIJOS BŪKLĖ BEI KAITA	207
---	-----

E. Kutorga, J. Rukšėnienė (Vilniaus universitetas)

9.1. Augalijos ir augalų bendrijos samprata	207
---	-----

9.2. Sąlygos augalų bendrijų susidarymui: augalų rūšys ir ekologiniai veiksniai	208
---	-----

9.3. Savaiminė augalijos kaita	214
--------------------------------------	-----

9.4. Žmogaus poveikis augalijai	215
---------------------------------------	-----

9.5. Adventyviniai ir invaziniai augalai	218
--	-----

9.6. Grybijos funkcionavimas ekosistemose	219
---	-----

9.7. Grybijos kaitos istoriniai aspektai	219
--	-----

9.8. Grybų migracija ir invazijos	220
---	-----

9.9. Grybų rūšių įvairovė ir paplitimas	222
---	-----

9.10. Toksinių metalų ir radionuklidų taršos poveikis grybams	222
---	-----

9.11. Grybų reakcija į aplinkos pokyčius	223
--	-----

9.12. Grybų nykimas ir apsauga	230
--------------------------------------	-----

<i>Literatūra</i>	232
-------------------------	-----

10. FAUNOS BŪKLĖ DABARTIES ANTROPOSFEROJE..... 233

S. Sinkevičius (Vilniaus universitetas)

10.1. Kas žinoma apie biosferos biologinę įvairovę? 233

10.2. Rūšių pasiskirstymas biosferoje 234

10.3. Biologinės įvairybės pagrindinės savybės 238

10.4. Planuojamos rūšių apsaugos strategijos lygiai 244

10.5. Globali paukščių klasės biologinės įvairybės šiandieninės būklės analizė 246

10.6. Biologinės įvairybės išsaugojimo programos 249

Literatūra 250

11. EKOSISTEMŲ POKYČIŲ MODELIAVIMAS 251

P. Zemlys (Klaipėdos universiteto Baltijos pajūrio aplinkos tyrimo ir planavimo institutas)

11.1. Modeliavimo teorija..... 251

11.2. Ekologinis modeliavimas valdyme ir moksliniuose tyrimuose 259

11.3. Vandens kokybės modeliai 261

11.4. Nuolat išsimašančio reaktoriaus modelis 262

11.5. Nevisiškai išsimašančios sistemos 265

11.6. Segmentų modeliai 266

11.7. Vandens kokybės modelis WASP..... 268

Literatūra 274

12. APLINKOSAUGOS POLITIKA IR VALDYMAS 275

P. Mierauskas (Vilniaus universitetas)

12.1. Aplinkosaugos politikos formavimas 275

12.2. Globalios aplinkosaugos politikos apžvalga 276

12.3. Europos Sąjungos aplinkosaugos politika 277

12.4. Poveikio aplinkai vertinimas 284

12.5. Europos Sąjungos gamtos ir biologinės įvairybės apsaugos politika 289

12.6. Europos Sąjungos atliekų tvarkymo politika 290

12.7. Europos Sąjungos paramos fondų apžvalga 291

Literatūra 297

I NFORMACIJA APIE AUTORIUŠ 298

Ivadas

Jei kaip Herberto Velso herojus turėtume galimybę bent akies krašteliu žvilgtelėti į praeities Pasaulį, būtume priblokšti. Ir nereikia laiko mašinos siųsti toli į praeitį: net per penkiasdešimt metų įvykę pokyčiai yra išties stulbinantys. Ką jau kalbėti apie kelis šimtmečius... Nuo pat to laiko, kai suvokėme gali palengvinti savąją būti keisdami artimą aplinką, neabejotinai tapome pagrindine pokyčių varomąja jėga. Iš pradžių šie pokyčiai ėmė ryškėti tik kur ne kur: didžiųjų upių slėniuose, jūros pakrantėje. Buvome nedrąsūs, nuolat jausdavome gaivališkų gamtos jėgų alsavimą už nugaros. Vėliau potėpiai Žemės veide darėsi vis margsni ir sodresni. Pasijutome galintys valdyti ne tik vienas kitą, bet ir mūsų aplinką. Net ir Žemės drebėjimai, sekinančios sausros ar niokojantys potvyniai gąsdino daug mažiau: mokėmės su tuo gyventi, apsisaugoti, kovoti. Galų gale – mūsų juk daug: kritusius tuoj pat pakeisdavo kiti... Jau daugiau nei šimtmetis jaučiamės nugalėtojais – valdovais, galinčiais kurti ir griauti, išsaugoti ir sunaikinti. Tačiau ar mes sugebame tinkamai ta valdžia naudotis? Ir ar išties mes valdome?

Daugelį aplinkos pokyčių per pastaruosius kelis šimtmečius ar net tūkstantmečius galime neabejodami priskirti žmogaus veiklai. Be abejo, egzistuoja ir natūralios kaitos priežastys: galingi vulkanų išsiveržimai ar Žemės drebėjimai gali neatpažįstamai pakeisti didelės teritorijos veidą; Žemės orbitos parametrų pokyčiai lemia ciklišką ledynmečių kartojimąsi. Tačiau natūralūs kaitos ciklai apima dešimtis tūkstančių metų ir tik retais atvejais pokyčiai yra greitesni. Tuo tarpu pastaraisiais dešimtmečiais žmonija susiduria su naujais ir greitai ryškėjančiais

pavojais. Beatodairiškai eikvojami gamtiniai resursai siekiant patenkinti sparčiai augantį didėjančios žmonijos apetitą, ūkinei veiklai ar gyvenviečių plėtrai atplėšiami vis didesni jau ir taip retų natūralios gamtos likučių plotai – tai grėsmė ne tik Žemės veidui. Nykstančios gyvūnų ar augalų rūšys, besikeičiantis klimatas, užteršti vandenys – pavojus ir ekosistemoms, ir visai žmonių civilizacijai.

Labai klysta tas, kuris mano, jog Lietuvą šie pavojai aplenks. Kaita yra globali ir poveikis taip pat visuotinis. Galingam uraganui smogus Amerikos pakrantei, kuro kainų šoktelėjimą pajunta ir nuošalaus Lietuvos miestelio degalinės klientas. Kovos su dykumėjimu išsekinti Afrikos gyventojai keliai į Europą, o tai jau smūgis Europos Sąjungos mokesčių mokėtojų kišenėms. Žmonija vis glaudžiau jungiasi, tampa vienu organizmu, ir bet kuri gamtinė, socialinė ar ekonominė katastrofa sukelia reakciją (ne tik emocinę) visame Žemės rutulyje.

Šis leidinys yra skirtas įvairiems visuotinės kaitos bei jos poveikio aplinkai aspektams. Visų pirma tai mokymo priemonė Vilniaus universitete vykusių mokymų klausytojams – įvairių aukštųjų mokyklų magistrantams bei doktorantams. Tačiau autoriai tikisi, kad ji bus įdomi ir visiems kitiems skaitytojams, besidomintiems globalios kaitos poveikiu aplinkai.

Mokymų programa lėmė ir leidinio turinį, ir jo struktūrą. Leidinys sudarytas iš dvylikos skyrių, kurių kiekvienas skirtas vienam globalios kaitos aspektui. Išdėstant skyrius buvo atsižvelgiama į bendrą medžiagos pateikimo nuoseklumą bei pačių mokymų tvarką.

Pirmasis įvadinis skyrius skirtas bendriems globalios ekosistemų kaitos ypatu-

mams atskleisti. VU Ekologijos ir aplinkotyros centro docentas S. Sinkevičius supažindina su ekosistemų samprata, jų natūralia bei žmogaus sukelta kaita, pateikia įvairiapusę skirtingo tipo ekosistemų jautrumo analizę, įvertina ekosistemų savireguliacijos galimybes.

Dvi leidinio dalys skirtos aplinkos monitoringui. VU Ekologijos ir aplinkotyros centro docento G. Ignatavičiaus parašytame skyriuje pateikiama informacija apie ekosistemų monitoringą Lietuvoje. Pristatomi aplinkos oro ir vandens kokybės, dirvožemio būklės, gyvosios gamtos ir kitų ekologinio monitoringo sistemos dalių tyrimai. Tuo tarpu VU Hidrologijos ir klimatologijos katedros docento G. Stankūnavičiaus skyriuje, skirtame atmosferai ir hidrosferai, didžiausias dėmesys kreipiamas į globalius klausimo aspektus. Skaitytojai supažindinami su didele hidrometeorologinių duomenų šaltinių įvairove, pasaulinėmis ir regioninėmis monitoringo sistemomis.

Kituose dviejuose skyriuose pristatomos klimato kaitos priežastys bei klimato prognozės. VU Hidrologijos ir klimatologijos katedros profesorius A. Bukantis supažindina su praeities klimato indikatorių įvairove, įvertina globalaus bei Lietuvos klimato pokyčius, įvykusius per instrumentinių matavimų laikotarpį, analizuoja klimato kaitos priežastis. Tos pačios katedros docentas E. Rimkus trumpai pristato šiuolaikinius klimato modelius, šiltnamio dujų emisijų scenarijus, globalaus ir regioninio klimato prognozes XXI amžiui. Antra skyriaus dalis skirta gamtinių ir socialinių sferų jautrumo, pažeidžiamumo bei adaptacijos galimybių vertinimui. Taip pat apžvelgiamos ir klimato pokyčių švelninimo galimybės.

Po to seka skyriai, skirti Pasaulinio vandenynui bei sausumos vandenims. VU Hidrologijos ir klimatologijos katedros profesorius R. Žaromskis išsamiai pristato vandenyno

vandens masės savybes bei jos dinamiką, supažindina su pagrindinėmis antropogeninės kilmės grėsmėmis vandenynui bei jo pakrantėms. Baigiamojoje skyriaus dalyje pateikta išsami informacija apie problemas, iškilusias Baltijos jūrai bei Kuršių marioms. Toje pačioje katedroje dirbantis docentas G. Valiuškevičius analizuoja globalios kaitos poveikį visoms sausumos vandenų rūšims: upėms, ežerams, pelkėms, ledynams bei požeminiam vandeniui. Didelis dėmesys skiriamas pokyčiams Lietuvoje. Sausumos vandenų temą plėtoja VU Zoologijos katedros docentas E. Bukelskis bei dr. A. Balevičius. Autoriai nagrinėja ežerų eutrofikacijos priežastis ir tempus, jos poveikį ekosistemoms. Aptariamas upių ir ežerų fitoplanktono vystymasis. Ypač išsamiai aprašomos ežerų žuvų bendrijos ir jų kaita.

Du leidinio skyriai skirti trim organizmų karalystėms. VU Botanikos ir genetikos katedros docentai E. Kutorga ir J. Rukšėnienė apibūdina augalijos ir grybijos būklę bei kaitą. Pirmoje skyriaus dalyje nagrinėjami augalų bendrijas veikiantys biotiniai ir abiotiniai aplinkos veiksniai, žmogaus poveikis augalijai. Antroje – grybijos įvairovė bei raida, o taip pat jos reakcijos į gamtinę ir antropogeninę poveikį. Gyvūnijai skirtas jau antras docento S. Sinkevičiaus parašytas skyrius. Autorius apibūdina biosferos biologinę įvairovę, skirtingų rūšių populiacijų būklę reguliuojančius veiksnius nuolat kintančioje globalioje aplinkoje. Analizuojamos galimos rūšių apsaugos priemonės.

Apie ekologinį modeliavimą rašo Klaipėdos universiteto Baltijos pajūrio aplinkos tyrimo ir planavimo instituto vyresnysis mokslo darbuotojas P. Zemlys. Skyriaus pradžioje pateikiama trumpa modeliavimo teorija, vėliau aprašomi vandens kokybės modelių tipai. Didžiausias dėmesys skiriamas dinaminiam segmentiniam WASP modeliui.

Paskutinis leidinio skyrius skirtas aplin-

kosaugos politikai ir valdymui. VU Ekologijos ir aplinkotyros centro docentas P. Mierauskas skaitytojus supažindina su aplinkos politikos formavimu. Ypač didelis dėmesys skiriamas teisiniams Europos Sąjungos aplinkosaugos politikos aspektams, apžvelgiami ES paramos fondai.

Visa ruošiant leidinį panaudota literatūra pateikta kiekvieno skyriaus pabaigoje. Atsižvelgiant į leidinio pobūdį (tai glausta studijų priemonė mokymų klausytojams) pačiame tekste nuorodų į atskirus literatūros

šaltinius nėra (išskyrus nuorodas į paveikslų, lentelių ar nuotraukų autorius). Leidinio pabaigoje pateikta trumpa informacija apie skyrių autorius.

Mokomosios knygos autoriai nuoširdžiai dėkoja recenzentams Vilniaus universiteto profesoriui Vytautui Juodkaziui bei Botanikos instituto vyresniajam mokslo darbuotojui Zigmantui Gudžinskui. Taip pat norėtųsi padėkoti Danutei Griniūtei, redagavusiai šį išties teminiu ir stilistiniu požiūriu įvairialypį leidinį.

1. GLOBALI EKOSISTEMŲ KAITA

1.1. Globalios kaitos ekosisteminiu lygmeniu samprata

XXI amžiuje globali kaita jau suprantama ne tik kaip daugelio atskirų rūšių sunaikinimas, bet ir biologinių sistemų, atsakingų už gyvybingos aplinkos palaikymą, transformacijos. Ekosistema, tai abipusiais ryšiais susijęs gyvosios ir negyvosios gamtos kompleksas, tarp kurio elementų ir komponentų nuolat vyksta medžiagų ir energijos apykaita. Ekosistemą sudarantys abiotiniai ir biotiniai komponentai daro įtaką vienas kitam ir yra vienodai svarbūs ekosistemai. Gyvieji organizmai, sudarantys biotinį komponentą, apibendrintai vadinami rūšine įvairove, sudaro *bendrijas*. Ekosistemas galima tyrinėti skirtinguose organizacijos lygmenyse. Pvz., galima naudoti tuos pačius principus balai → tvenkiniui → ežerui → jūrai → vandenynui → sausumai → biosferai. Ekosistemas galima taip pat tirti skirtingo ilgio laikotarpiais. Balai turbūt užtektų kelių valandų, tuo tarpu ežero ekologiniai kaitos procesai visiškai išryškėja tik daugelio metų tyrimų eigoje.

Ekosistemos stabilumui ir tolesniam išlikimui yra reikalingos visos joje ekologines nišas užimančios rūšys bei ten egzistuojantys fizinės aplinkos komponentai. Biologinės sistemos rezistenciškumo tendencija išlaikyti stabilumą – pusiausvyrą tarp visų jos dalių yra vadinama homeostaze (savireguliacija). Šią pusiausvyrą nuolat trikdo išoriniai veiksniai. Nedideli sutrikdymai paprastai pašalinami neigiamų grįžtamųjų ryšių mechanizmu, kuris kreipia ekosistemą prie pradinio būvio atstatymo. Stiprūs pusiausvyros sutrikdymai negali būti kompensuojami sistemos savireguliacijos pagalba, todėl sistema pereina į naują būvį, kuris palaips-

niui tampa pusiausvira ir susikuria savireguliacijos mechanizmus. Iš esmės tai reiškia, kad tokiais atvejais viena sistema pakeičiama kita, kartais visai nepanašia į buvusią. Tačiau tokie kitimai ne visada reiškia degradaciją. Pvz., vykstant ekologinei sukcesijai ant pliko grunto iš vėjo atneštų sporų, sėklų gali iš pradžių vystytis kerpės, samanės, žoliniai augalai, krūmynai, kuriuos vėliau gali pakeisti miškai. Nežiūrint to, egzistuoja labai daug pavyzdžių, kai antropogeninis poveikis ekosistemoms sukėlė netikėtą ar netgi katastrofišką šalutinį efektą, kuriam būtų galima priskirti kad ir masinį kenkėjų dauginimąsi ir plitimą suprustėjusiose agrosistemose. Be to, svarbu yra ir tai, kad pokyčiai dažnai ne iš karto pastebimi (ilgas laiko tarpas tarp priežasties ir pasekmės). Pvz., tik sąlyginai neseniai buvo atsektas ryšys tarp kuro degimo produktų emisijų sklaidos ir rūgštinės ežerų ir miškų degradacijos.

Nuo pat gyvybės atsiradimo pradžios vyksta ekosistemų struktūrų ir atliekamų funkcijų, medžiagų ciklo raida – didesnio prisitaikymo ir tobulėjimo linkme. Šiandien šių procesų rezultatai biosferoje – tai per milijonus metų sukauptos ir transformuotos biomasės (pvz., organinio kuro rūšių) ištekliai. Vos keliolikos tūkstantmečių istorinis laikas (protingo žmogaus – *Homo sapiens* aktyvios veiklos era) „įjungė“ visai naujus antropogeninius ekosistemų kaitos mechanizmus. XX a. pabaigoje – XXI a. pradžioje visoje planetoje įsivyravęs pragmatiškas požiūris į gamtinę aplinką, globalių, neretai destruktinių ar keliančių pavojų ekologinėms bendrijoms pokyčių monitoringas įgalino suformuoti pagrindines gamtos saugos strategijos gaires. Pagrindinės ekosistemų funkcijos, dažnai

apibūdinamos kaip palaikančios visos biosferos tvarumą, yra įvardijamos kaip aktyvus dalyvavimas:

- įvairių elementų (tarp jų ir maistinių medžiagų) apykaitoje, t.y. biogeocheminiuose cikluose ir su jais susijusių energijos srautų palaikymo procesuose;
- pirminės produkcijos gaminimo procesuose ir tolesnėse (kitose grandyse) jos transformacijose;
- dirvodaros (ypač dirvožemio derlingojo sluoksnio susidarymo ir jo didinimo) rai-doje.

Ekosistemų kaip vienų iš stambiausių biosferos struktūrinių vienetų funkcijos, jei jos pateikiamos daugiau antropocentristiniu požiūriu, mums tampa geriau suprantamos, kai jas apibūdiname kaip:

- reguliuojančias – (globaliu mastu) funkcijos, kurios egzistuoja kaip svarbus veiksnys daugialypiame klimato sistemos funkcionavimo ir palaikymo mechanizme;
- palaikančias – ekosistemų struktūra, reikalinga svarbios bendros hidrologinės būklės palaikymui (polaidžio, potvynių vandenų sureguliuavimas, vandenų, oro biologinis, mechaninis apvalymas ir kt.);
- apsaugančias – ligų ir jų epidemijų plitimo reguliavimas, ekologinis katastrofų pasekmių sušvelninimas.

Biosferoje įvairios gamtinės ekosistemos tiekia naudotojams deguonį, maistą, energiją ir kt. Įvairių ekosistemų aplinka yra ne tik visų biologinių rūšių, bet ir visos žmonijos gyvenamoji aplinka, teikianti (be gyvybinių) dar ir edukacines, estetinio pasitenkinimo, dvasinio komforto, rekreacines paslaugas. Sparčiai didėjanti Pasaulio žmonių bendruomenė iškreipia ir labai diferencijuoja globalių biosferos išteklių vartojimą ir kol kas nelabai linkusi visuotinai priimti tvarios Pasaulio plėtros modelį. Tokią nelygybę tarp atskirų

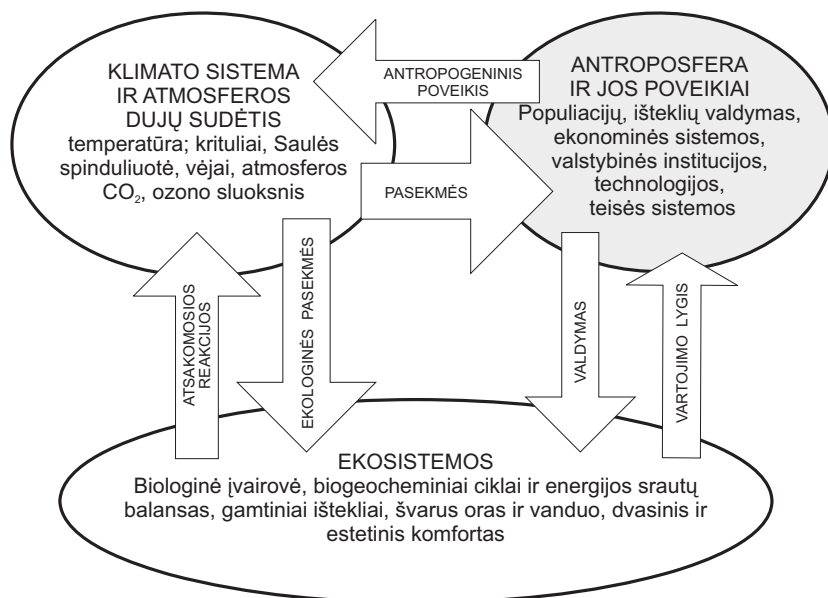
valstybių, socialinių grupių apsprendžia jų demografinė būklė, ekonomika, socialinė ir politinė situacija, mokslo ir technologijų lygis bei kultūra ir religija.

1.2. Globalus fizinis poveikis ekosistemoms

Aptariant ekosistemų kaitą ir jai įtaką darančius veiksnius pagrindine priežastimi įvardijama globali daugialypė antropogeninė veikla ir jos sukeltos pasekmės. Išskiriamos kelios XXI a. problemų grupės, kurių ištakos užgimė prieš kelis šimtus metų. Pradžioje kaip lokalios, vėliau regiono lygmens ir tik XX a. – kaip globaliai registruojamos pasekmės:

- neracionalus (alinantis) naudojimas gamtiniais ištekliais (gėlo vandens, energetinių, atsinaujinančių biologinių išteklių, biologinės įvairovės hipereksploatavimas sukelia atskirų ekosistemų degradavimą ar net visišką išnykimą) sudaro apie 60% visų visuotinių ekologinių problemų;
- dėl antropogeninės veiklos atsiradę ekosisteminio rango pokyčiai inicijuoja naujus persitvarkymus sistemose (naujų ligų pandemijos, taršos pabloginta geriamojo vandens, maisto produktų, gyvenamosios aplinkos kokybė ir kt.);
- globalios ekosistemų degradacijos nepalankaus poveikio pačiam žmogui sukeliamos pasekmės, socialinė ir turitinė nelygybė, gamtinių išteklių pasiskirstymo bei vartojimo sukeliamos problemos (skurdas, badas, socialinės įtampos židiniai, bendrojo pasaulinio produkto (BPP) pasiskirstymas ir kt.).

Biosferoje egzistuoja milijonai mikroorganizmų, augalų, gyvūnų rūšių, tačiau kelis tūkstančius metų jau dominuoja tik viena



1.1 pav. Biosferoje, be egzistuojančių visų gamtinių sferų, įsiterpia ir savita antroposfera, veikianti kitas gamtines sistemas

(*Homo sapiens*), kurios veikla suformavo ne tik naujus vienos rūšies poveikius aplinkai, naujas ekologines problemas, bet ir naują antropogenizuotą aplinką.

Kai kurios egzistuojančios sąveikos tarp gamtinių ekosistemų, globalios klimato sistemos ir antropogenizuotos aplinkos (technosferos=antroposferos) pavaizduotos 1.1 paveiksle.

Paskutinytis XX amžiaus 50-metis, intensyviai ir beatodairiškai alinant gamtinius biosferos išteklius, tapo ne tik intensyviausio, bet ir globaliu mastu didžiausio poveikio ekosistemoms per visą istorinį laiką tarpsniu. Būtent per šį laikotarpį ir XXI a. pradžioje užregistruotos didžiausios biologinės įvairovės netektys. Per istorinį laikotarpį antropogeninio poveikio sukeltas ekologines problemas būtų galima suskirstyti į kelias grupes:

- pagal gyvybės organizacijos (molekulinis, ontogenetinis, populiacinis, biosferinis) lygmenis;

- pagal bioklimatines zonas (biomai, ekosistemos);
- pagal poveikį atskiriems sistematiniais vienetams;
- pagal atskirų neigiamų veiksnių sinerginį poveikį.

Dabar pavojingiausiais biosferai antropogeniniais veiksniais įvardijami vos keli, tačiau jie sukėlė globalius ekosistemų pokyčius – fizinį buveinių, kai kurių biologinių rūšių išnykinimą ir neribojamą sukauptų išteklių alinimą, padidino galimybes ir išplėtė geografines sritis svetimšalių rūšių invazijoms, didino atskirų sferų komponentų taršą pavojingomis ir nuodingomis medžiagomis.

Pavyzdžiui, beatodairiškas atskirų rūšių (verslinių žuvų, atskirų jūros žinduolių rūšių) išteklių alinimas jau sukėlė netekčių ne tik pačiose hidrosistemose, bet ir atnešė ekonominių nuostolių juos eksploatuojančių valstybių ūkio šakoms. Antroje XX a. pusėje metiniai sugaunamų žuvų kiekiai siekė 70–

80 mln. t. Pradėta gaudyti ne tik seklumose, bet ir gelmėse iki 270 m – nepaliekant žuvų populiacijoms galimybės išvengti tinklų.

Konkrečios rūšies trofinis lygis rodo jos vietą mitybinėse ekosistemų grandinėse (1 – augalėdžiai, 2 – plėšrūnai, 3 – antros eilės plėšrūnai ir t.t., kur atskiros verslinės žuvų rūšys mitybinių grandžių hierarchijoje atsiduria vienuose iš aukščiausių lygių). Išnykus vienai ar kitai sistemos grandžiai, neatsiradus jos pakaitalui (kitai ekologiškai grupei), ekosistemas apimančiuose biogeocheminiuose cikluose keičiasi medžiagų ir energijos srautų greičiai ir specifika.

Nustatyta, kad trofinio lygmens tarp žuvų rūšių Pasaulio vandenyne mažėjimas yra per didelio jų populiacijų eksploatavimo pasekmė (1.2 pav.). Tai gerai iliustruoja šimtmečiais eksploatuotų žuvų biomasės resursų katastrofiškas (1950–1977 m.) nuolatinis ar visiškas sunaikinimas Niufaundlando (Kanada) pakrantėse. Nors tuomet žvejyba buvo uždrausta ir tik po dvidešimt metų (1998) vėl atnaujinta, žuvų resursams taip ir neatsistatčius 2003 m. vėl buvo nutraukta.

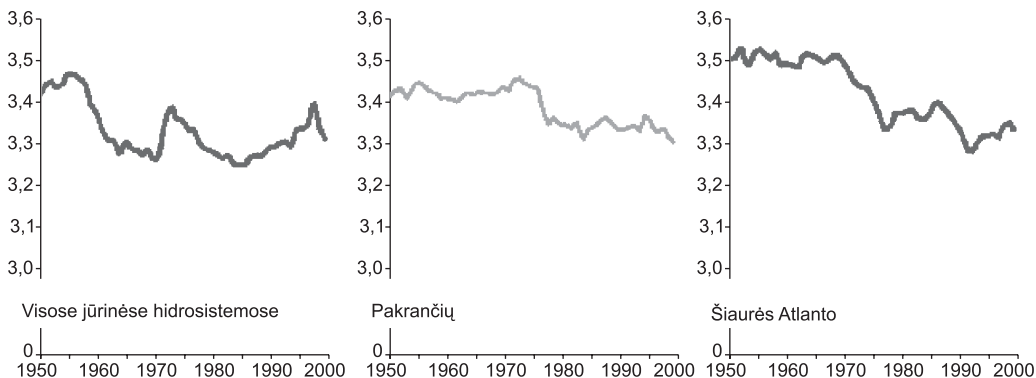
Jau įvykusių fizinių ekosistemų degradaciją akivaizdžiai demonstruoja jos struktūriniai pokyčiai – pastoviai mažėjantis globalios biologinės įvairovės indeksas (aprašantis bendrą rūšių, bendrųjų įvairovę ir atskirų

rūšių populiacijų gausumą atskirose makro-ekosistemose) (1.3 pav.). Rūšių skaičius ir jo dinamika ekologinėse bendrijose gali būti ekosistemos būklės indikatoriumi.

Antropogeniniai ekosistemų pokyčiai įgalino sukurti gerovę tik tam tikroms žmonių grupėms, tačiau bendroji atskirų ekosistemų struktūrinė ir funkcinė degradacija sukėlė dar didesnę atskirtį tarp turtingų ir besivystančių valstybių bei visuomenių. Degraduojančių ekosistemų teikiamų paslaugų antropogeninei aplinkai sumažėjimas tampa sunkiai įveikiamu barjeru Pasaulio atskirų žmonių bendruomenių ekonominėje raidoje.

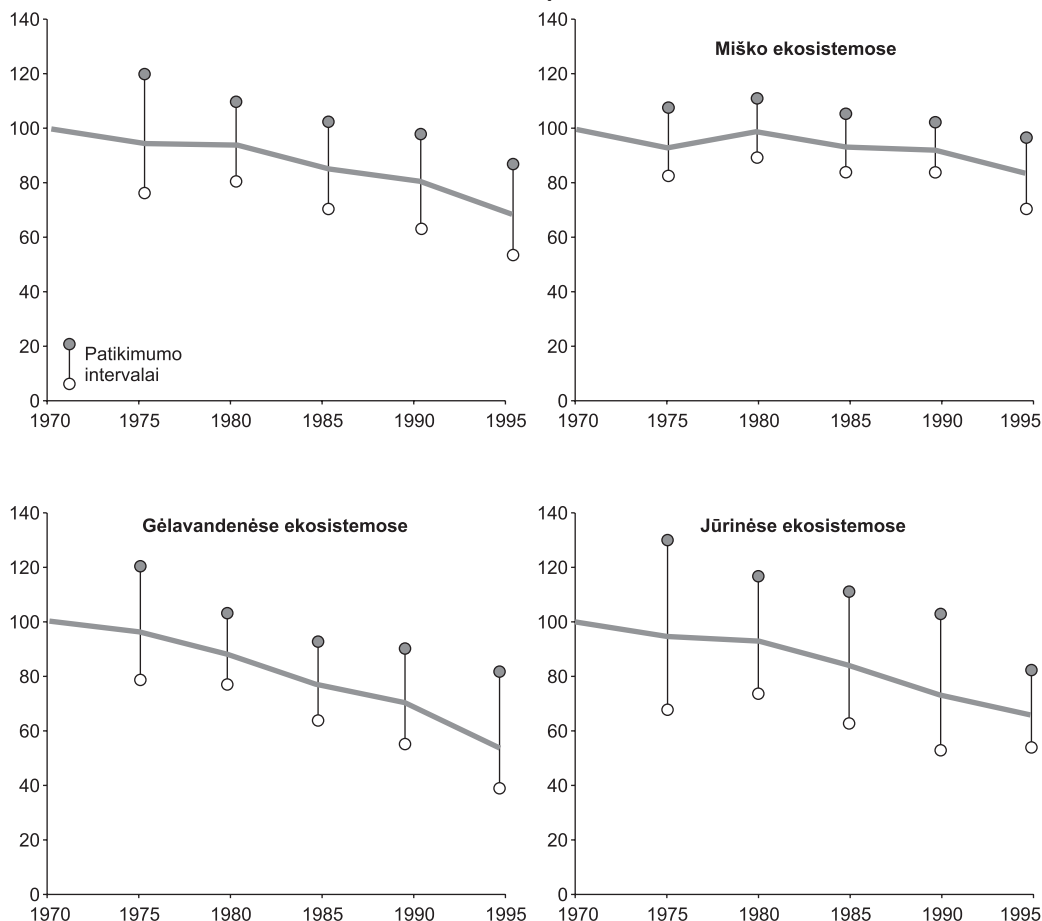
Pasaulyje 1950–1980 m. didžioji dalis (vos ne visos) derlingiausio dirvožemio natūralių ekosistemų buvo suartotos, ten egzistavusios buveinės sunaikintos ir naujai paverstos pastoviai žmogaus palaikomais agro-cenozių plotais. Tai didesnis transformuotų ekosistemų plotas nei per ankstesniusius (1700–1850 m.) 150 metų laikotarpį. Apskaičiuota, kad tokių teritorijų, kur tarp natūralių yra trečdalis ariamų, intensyviai nuganomų, dirbtinai drėkinamų ar paverstų akvakultūromis žemių, agro-cenozių užėmė apie 25% žmonių apgyventų sausumos teritorijų (1.4 pav.). Vertinant minėtos antropogeninės plėtos biosferoje pasekmes ekosisteminiu (kiekybiniu) požiūriu galima teigti, kad iki 1990

VIDUTINIS TROFINIS LYGIS



1.2 pav. Plėšriųjų jūrinių žuvų rūšių populiacijų, esančių aukščiausiuose trofiniuose lygiuose, degradavimas Pasaulio vandenyno hidrosistemose (Global ..., 2002)

GLOBALIOS BIOLOGINĖS ĮVAIROVĖS INDEKSAS



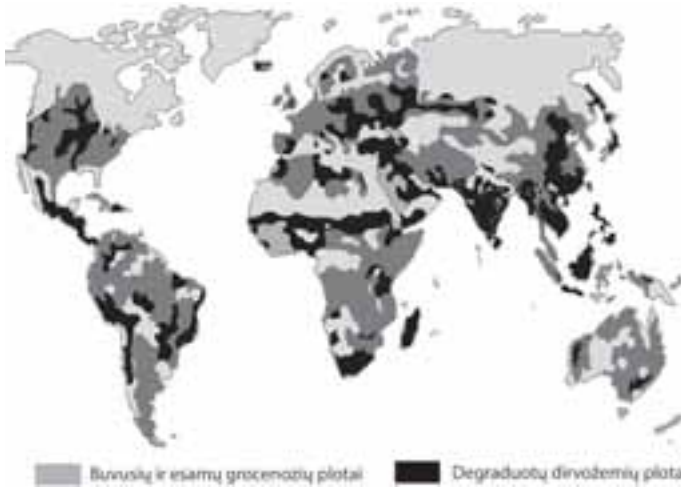
1.3 pav. Atskirų rūšių ir jų populiacijų įvairovės (išgyvenamumo) kaita skirtingose ekosistemose (Loh, 2000)

m. dviejų sausumos biotų (derlingos žolinės pievos, užliejamos salpinės pievos upių slėniuose) teritorijos tapo fiziškai sunaikintos, o dar kituose keturiuose jau transformuota pusė gamtinių ekosistemų teritorijų.

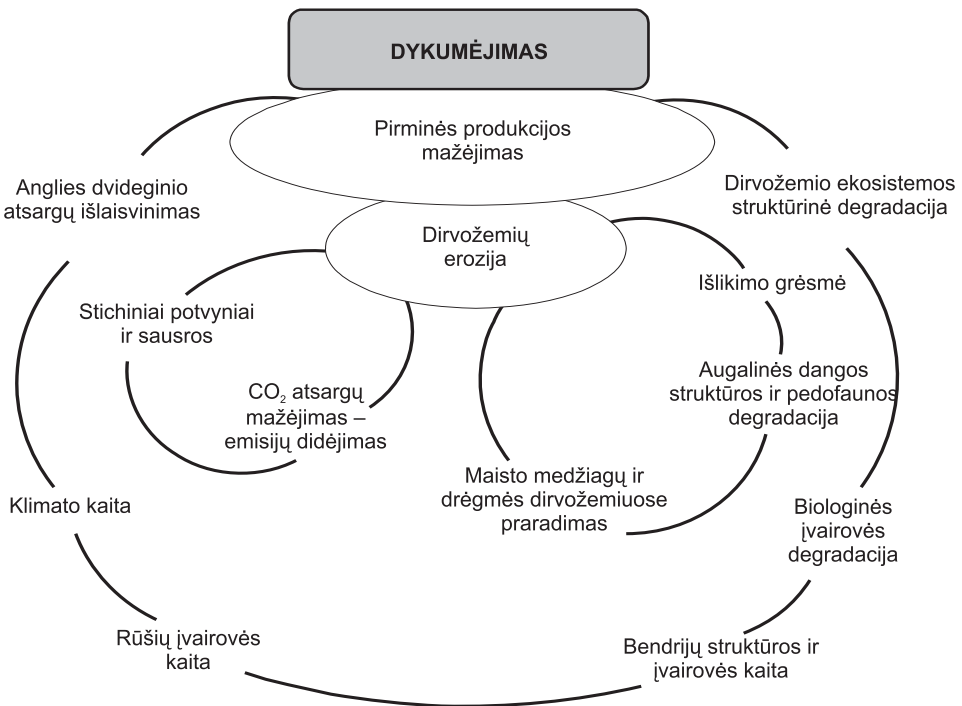
Daugelis paminėtų globalių pokyčių įvyko siekiant užtikrinti vis augančias Pasaulio gyventojų reikmes – aprūpinti geresniais maisto produktais, geriamu vandeniu, pagerinti sveikatos lygį atskiruose Pasaulio regionuose. Šimtmečiais žemės ūkis ir agrarinė veikla daugelyje Pasaulio valstybių buvo pamatinė strateginė vystymosi sritis, duodanti pajamų, kurios padėjo industrijos plėtros pa-

matus, mažino gyventojų skurdą. Nors 2000 metais maisto produktų gamyba pinigine išraiška tesudarė vos 3% pasaulinio BP, agrariniame sektoriuje dirbo per 22% Pasaulio gyventojų (maždaug pusė Pasaulio darbingų žmonių). Ir šiandien besivystančiose Pasaulio šalyse maždaug ketvirtadalis tų valstybių bendrojo nacionalinio produkto (BNP) gaunama iš agrarinio sektoriaus.

Su agroecozijų (žmogaus dirbtinai sukurty ir palaikomų sistemų) egzistavimu ir jų plėtra biosferoje susijusi kita globali ekosistemų kaitos problema. Aridinio klimato srityse (kurios sudaro apie trečdalį sausu-



1.4 pav. Buvusių gamtinių ekosistemų antropogeninės transformacijos – teritorijų, kur daugiau kaip 30% paversta agroceozėmis ir jau įgavo dirbamų žemių pavidalą, pasiskirstymas Pasaulyje (GRID Arendal, 2001)



1.5 pav. Dykumėjimo procesų plėtros sąryšis su maisto medžiagų/energijos ciklais, rūšių įvairovės mažėjimu ekosistemose, regioninio klimato pokyčiais

mos) buvusios ekosistemos, žmogaus paveiktos, virto pusiau natūraliais antropogenizuotais kraštovaizdžiais. Natūralioje raidoje ekosistemos tampa geriau adaptuotos išorės

veiksniams su mezofitine augalų bendrijų struktūra, o dėl antropogenizacijos poveikio vyksta augalijos kserofitizacijos ir ekosistemų dykumėjimo procesai (1.5 pav.).

Prasidėjusi ariamų dirvų erozija ar lietinamų (iriguotų) plotų druskėjimas verčia plėsti naujai dirbamų žemių plotus mažinant natūralių ekosistemų teritorijas.

1.3. Sinenergetinis globalios antropogeninės veiklos poveikis ekosistemoms

Nuo praeito amžiaus septintojo dešimtmečio iki XXI a. pradžios $\frac{2}{3}$ pasaulinio upių nuotėkio vienaip ar kitaip panaudojama žemės ūkyje. Net keturis kartus globaliu mastu padidėjo patvankose sulaikomo upių nuotėkio vandens. Konkretūs hidrografinio tinklo antropogeniniai pertvarkymai sukelia kaskadinį atskirų hidrosistemų tipų, jų struktūrų ir funkcijų bei santykių su kitomis ekosistemomis persitvarkymą. Kartu vyksta ir gretutinių ekosistemų struktūrų kaita ir jų atliekamų funkcijų persitvarkymas. Tokių grandioziųjų projektų, pakeitusių buvusių ekosistemų būklę, apstu visuose žemynuose (Volgos upės kaskadinis projektas, Reino pakrančių pertvarka, Asuano HE ant Nilo, ilgiausia Pasaulyje Brazilijoje Itaipu upės užtvanka, pernai baigta milžiniška HE ant Jangdzės upės statyba ir kt.). Jau planuojama didžiausios Afrikoje (aprūpinsiančios viso žemyno valstybes energija) ir kartu galingiausios Pasaulyje HE ant Kongo upės statyba...

Kartais tai tampa regioninių ekosisteminių persitvarkymų, įtaką darančių kitų sferų (atmosferoje – klimato, antroposferoje – socialinių-politinių įtampų ir persitvarkymų, ir kt.). Vienu iš tokių pavyzdžių galėtų būti Aralo ežero ekologinė problema, prasidėjusi nuo hidroelektrinių vandens patvankų, tvenkinių ir nuolat iriguojamų stepių, paverstų agrocenozėmis, plotų didinimo. Buvo beveik sustabdyta natūrali dviejų pagrindinių Aralui upių (Syrdarjos ir Amudarjos) vandenų prietaka. Esantis aridinėje zonoje lig tol milžiniš-

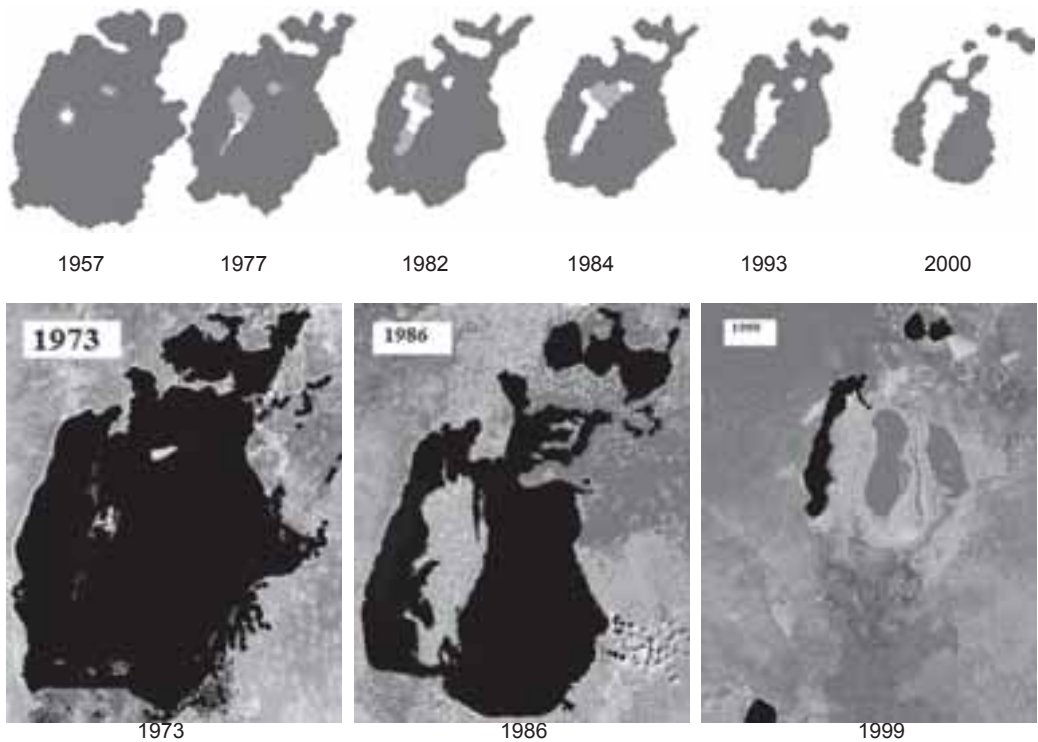
kas vandens telkinys pradėjo sekti. Dabartiniu metu konstatuojama: visame regione nukritęs gruntinių vandenų lygis, pakitęs klimatas, vis didėjantys dirvožemio erozijos ir defliacijos plotai, sunaikintos buvusios upių slėniuose miškingųjų nendrynų (tugajų), užliejamų upių terasių, senvagių ekosistemos, išaugusios socialinės problemos (gyventojų užimtumo, sveikatos, geriamo vandens, cheminės ir radioaktyviosios taršos problemos ir kt.). Dabartiniu metu ketvirtojo pagal dydį ($65\,500\text{ km}^2$) Pasaulio ežero hidrosistema nebeturi visų ežerui būdingų struktūrų, nebeatlieka dalies savo funkcijų (1.6 pav.).

Dėl neracionalaus trąšų naudojimo agrocenozėse kelis kartus padidėjo globalūs biogenų (N ir P) srautai sausumos ir vandens ekosistemose. Per dideli mitybinių elementų kiekiai sukelia tiek vandens, tiek sausumos ekosistemose hipertrofuotą pirminės produkcijos didėjimą; milžiniški jos kiekiai tampa ne tolesnės biomasės didėjimu kituose mitybiniuose lygmenyse, bet rimta ekologine problema, keičiančia ekosistemų struktūras ir jų funkcionavimą (eutrofikacija). Ekosistemos struktūros (nei gamintojai, nei vartotojai, nei destruktoriai) nesugeba įsisavinti hipertrofuoto biogenų kiekio.

Su antropogenine (ūkine) veikla siejamas ir įvairių cheminių junginių, tarp jų ir toksiškų, mutageniškų, kancerogeniškų, paplitimu ekosistemose. Dabartiniu metu aplinkoje aptinkama per kelis tūkstančius „svetimų“ (ligi šiol gamtoje neaptinkamų), naujai susintetintų cheminių junginių, kurie, vienaip ar kitaip veikdami, sukelia ekosistemų struktūrinius pokyčius.

Kai kurie XX a. viduryje „populiarūs“ chlororganiniai pesticidai (chlororganinių junginių grupė) dėl savo nepaprasto stabilumo akumuliuavimosi gyvuose organizmuose, ilgiems dešimtmečiams tapo struktūriniu daugelio ekosistemų dalimi (1.7 pav.).

Pastebėta, kad transformuojantis minė-



1.6 pav. Visų Aralo ežero hidrosistemų tipų degradacija (Global..., 2002)

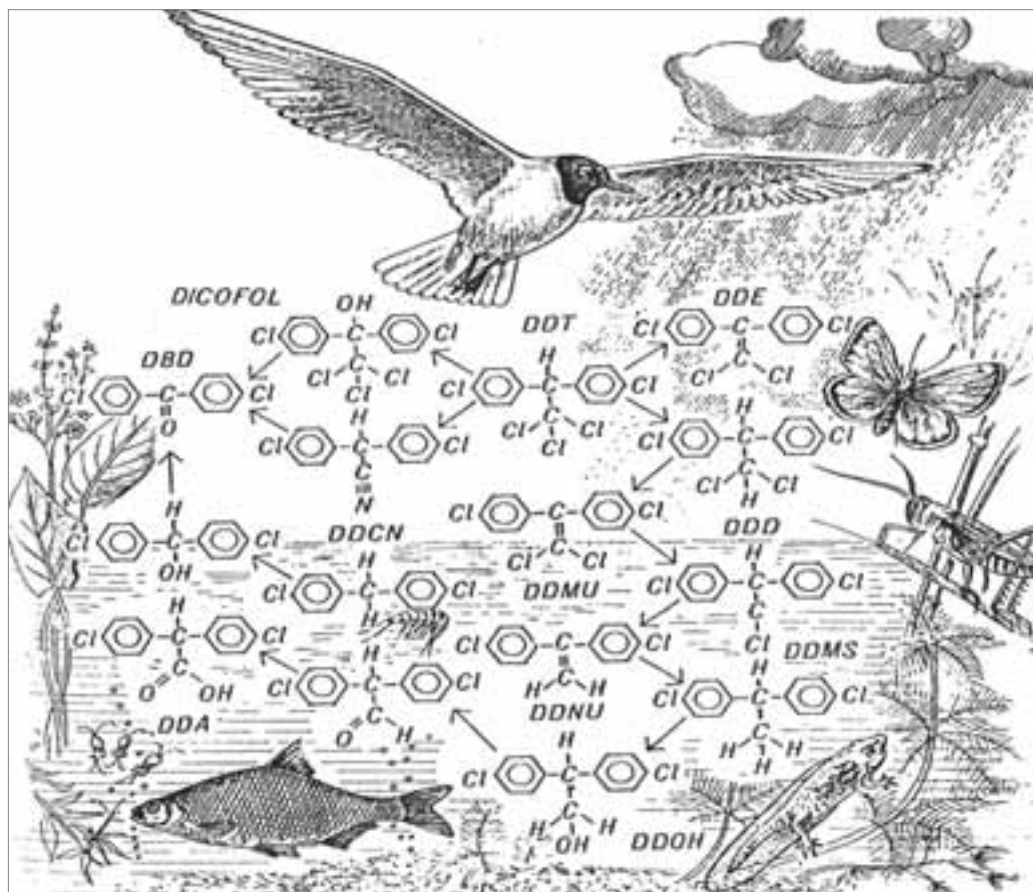
tiems chlororganiniams junginiams atsiranda žymiai mutageniškesni junginiai (DDE, DICOFOĻ'as) nei naudota pirminė medžiaga. Dažnai užterštos ekosistemose ten gyvenančius organizmus tuo pat metu veikia kelios pavojingos medžiagos ar dar pavojingesni naujai susidarantys jų mišiniai.

Atskirai reikėtų kalbėti apie radioaktyvios taršos poveikį organizmams. Dėl žudančio cheminio (radioaktyvaus) poveikio mažėja rūšių populiacijos, o tai sąlygoja degradaciją populiaciniame, vidurūšiniame lygmenyje – silpsta rūšių gyvybingumas, mažėja genetinis jų kintamumas, o drauge mažėja ir rūšių rezistenciškumas.

Vykstanti adaptacija, prisitaikant prie tokių nepalankių veiksnių, suteikia progą greitai kintančioms (adaptyvioms) rūšių populacijoms plisti. Jau užregistruota per 500 atskirų pesticidų poveikiui rezistenciškų bestuburių rūšių.

Naujose dykrose gali įsikurti ne tik autochtoninės rūšys, jų populiacijos, vėl susiformuoti lig tol buvusios buveinės. Dabar atsiranda gera proga imigruoti naujoms (svetimžemėms) rūšims. Paskutinių dešimtmečių antropogeninė veikla (su globalizacija siejamų veiksnių visuma) šiuos procesus ypač suaktyvino. Svetimų rūšių įsigalėjimas nusistovėjusios struktūros ekosistemose tapo antra pagal svarbą (po fizinio rūšių, buveinių, ekosistemų naikinimo) biologinės įvairovės problema.

Biosferos įvairių biomų ekosistemos egzistuoja daugybėje natūralių buveinių, kurių sudėtyje yra šimtai ir tūkstančiai mikroorganizmų, dumblių, grybų, augalų bei gyvūnų rūšių, vienaip ar kitaip susiderinusių savo reikmes, prisitaikiusių prie vietinių abiotinių (biotinių) veiksnių ir egzistuojančių tarpusavyje sambūvyje jau kaip vientisos sistemos. Ekosistemose tokie tarpusavyje pusiausvyros ir kompleksiš-



1.7 pav. Chlororganinių junginių (tarp jų ir liūdnai pagarsėjusio DDT) sklaida, akumuliacija gyvuose organizmuose ir labai lėtas irimas Lietuvos ekosistemose (S. Sinkevičiaus pieš.)

kumo palaikymo tam tikrame būvyje daugybiniai santykiai susiklostė atskirais atvejais per gana ilgą (biologinio laiko masteliu) laikotarpį vykstant ekosistemų raidai.

1.4. Kaita ekosistemų struktūrose

Naujų rūšių migracijos į kitas bendrijas procesai tam tikra apimtimi vyko ir vyksta nuo pat bendrijų susiformavimo pradžios. Į svetimą ekosistemą pakliuvusioms rūšims tenka konkuruoti su jau ten esančiomis vietinėmis dėl ekologinės nišos (įvairių resursų, gyvenamosios vietos, hierarchiškumo gradacijoje ir kt.). Tačiau spartūs globalizacijos

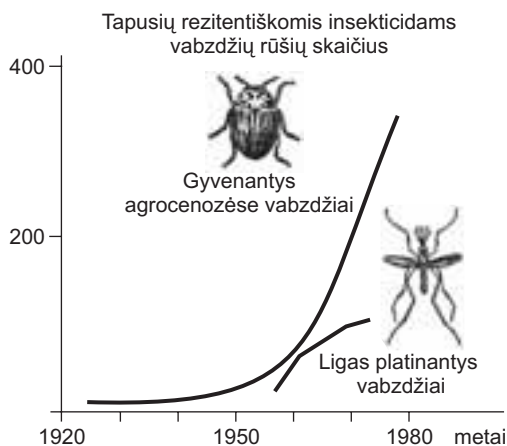
procesai sudarė galimybę spartinti ir svetimų (arba: naujų, svetimšalių, autochtoninių, adventyvinių) plitimą į lig šiol natūralių barjerų sulaikomas teritorijas. Kalbant plačiau apie naujų rūšių išiskverbimą į kitas bendrijų struktūras ir įvertinant tolesnį jų adaptacijos ar eliminacijos laiką, svetimų rūšių invazijos procesą galima suskirstyti į kelis etapus:

- geologiniuose perioduose vykusias invazijas;
- priešistoriniu laikotarpiu vykusias invazijas;
- nuo istorinio laikotarpio pradžios iki XVI a. (ikimodernusis laikotarpis) pradžios;
- nuo XVI a. iki XX a. vidurio (ankstyvasis

- modernusis ir modernusis laikotarpiai);
- nuo XX a. vidurio iki šiandien (dabartinis laikotarpis) vykstančios invazijos.

Dabartiniu metu planuojama ir greitai įvykdoma naujų rūšių introdukcija į svetimas teritorijas (biomus, ekosistemas ar atskiras buveines) pasireiškia kaip įvairių Pasaulio žmonių bendruomenių, atskirų socialinių grupių ar net valstybių interesų skatinama veikla; specialiai introdukuojamos naujos agrokultūros, dekoratyvinės augalų bei gyvūnų rūšys, rūšys introdukuojamos medžioklei ir sportui, rekreacijai ir kt. Iš kitos pusės, ypač žemės ūkio sektoriuje, tai dažnai sutampa su valstybinėmis apsirūpinimo maisto produktais programomis. Biotechnologijų plėtra, moksliniai tyrimai ar praktiniai–ekonominiai tikslai, skatinantys naujų veislių platinimą, iš kitos pusės, iniciuoja tų pačių veislių sulaukėjimą. Nustatyta, kad iš šimto introdukuotų rūšių tik:

- apie 10 sėkmingai nukonkuruoja natyvinės ir kolonizuoja jų teritorijas;
- apie 5 savaimė natūralizuojasi (pritampa mažai konkuruodamos su esamomis);
- tik 2–3 rūšys pasklinda kaip parazitai (sukeldamos naujus pavojus).



1.8 pav. Rezistenciškų insekticidams vabzdžių formų skaičiaus didėjimas Pasaulyje nuo XX a. vidurio (The Global 2000, 1980)

Regionuose, žemynuose sudarytos tarpvalstybinės ekspertų komisijos, mokslininkų darbo grupės, kurios kasmet registruoja vis didėjančią naujai imigruojančių rūšių srautą, tarp kurių nemažai pavojingų ne tik vietinėms rūšims, bet ir pačiam žmogui atstovų (1.9 pav.).

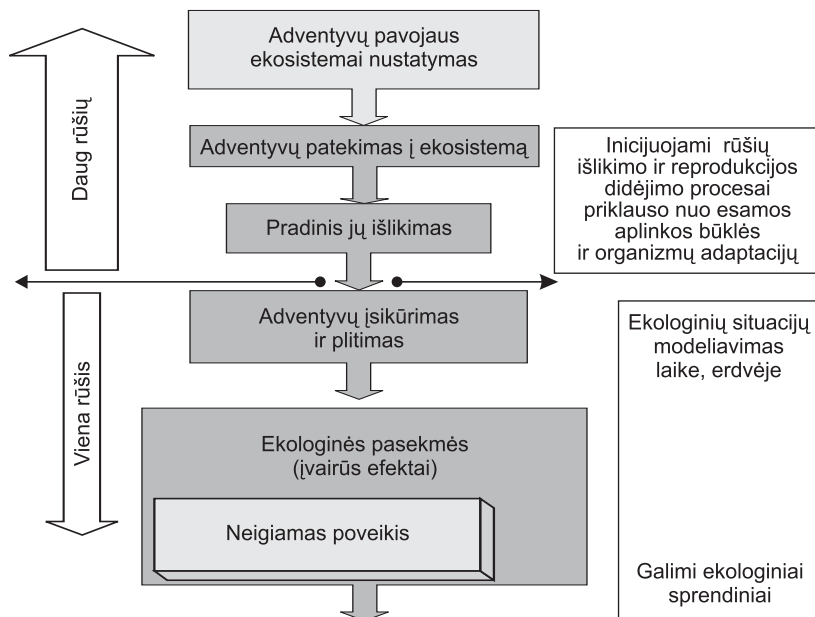
Natūralu, kad atskiruose klimatinuose biomuose adventyvinėms rūšims susiklosto skirtingos išgyvenimo sąlygos ir tolesnio plitimo galimybės. Pavyzdžiui, iš paskutiniuoju metu užregistruotų neotropinės, paleotropinės ir australinės floristinių karalysčių sąrašuose adventyvinė rūšių didesnė dalis yra kilusi iš šiauriau esančios holarktinės floristinės karalystės, o adventyvinė rūšių, keliaujančių iš pietinių sričių į šiaurines, užregistruota žymiai mažiau (1.1 lentelė).

Šiandien biologinės įvairovės staigaus mažėjimo biosferoje viena pagrindinių priežasčių (fizinis esamų buveinių sunaikinimas, integruotos taršos įtaka, vietinė hibridizacija ir kt.) yra laikoma labai sparti ir plati svetimų rūšių invazija į natūraliai susiformavusias bendrijas (1.2 lentelė).

1.3 lentelėje pateikiami duomenys apie sąmoningai žmogaus introdukuotų rūšių kiekį (%) įvairiose regionuose lyginant jas tarpusavyje. Dažniausiai tai neseniai (istoriniu laiku) europiečių kolonizuotos teritorijos, kurios palyginamos su kai kuriomis Europos valstybėmis.

Aukšto agrourbanizacijos laipsnio (didelė įvairiarūšės pramonės ir kitų ūkio šakų bei urbanizuotų teritorijų koncentracija, intensyvus visų rūšių transportas) regionuose visada yra palankesnės galimybės išikurti ir paplisti didesniai nei natūraliose ekosistemoose adventyvinė rūšių kiekiui. Ypač tai pastebima besiplečiančiuose industriniuose regionuose, kur buvusios autochtoninės biologinės įvairovės kompleksai greitai degraduoja.

Daugelio mokslininkų, tyrinėjančių ad-



1.9 pav. Svetimų rūšių skverbimosi į ekologines nišas kitose ekosistemose, kolonizacijos plėtos bei sukeliamų ekologinių pasekmių vertinimo schema

1.1 lentelė. Užregistruotų adventyvinųjų augalų rūšių dedamoji dalis Pasaulio regionų visos floros sudėtyje (The living..., 1999)

Regionas	Natyvinių rūšių skaičius	Adventyvinųjų rūšių skaičius	Dalis (%) visų esamų rūšių
Karibų jūros regionas (Antigua ir Barbudos salos)	900	180	10
Australija:	15 000–20 000	1 500–2000	10
Sidnėjaus apylinkės	1500	400–500	26–33
Viktorijos valstija	2700	850	27,5
Austrija	3000	300	10
Didž. Britanija ir Airija	1 623	442	46,7
Ekvadoras	1100	175	15
Europa	11 000	1 568	7–8
Gvadelupė	1668	149	9
Havajai	1200–1300	228	17,5–19
Ispanija	4900	750	15
JAV	20 000	6300	4,2
Javos sala	4598	313	7
Kanada	9 028	2 840	4,1
Meksika	14 140	640–700	2
Naujoji Zelandija	1 790	1 570	47
Prancūzija	4400	500	11
Suomija	1250	120	10

1.2 lentelė. Eurazijos žemyne paplitusių rūšių invazijos mastai į kitų žemynų (ten esančių floristinių karalysčių) floros sudėtį, kur esančios labai palankios klimatinės sąlygos apibūdinamos kaip artimos Viduržemio jūros pakrančių klimatui (The living..., 1999)

Pasaulio regionas	Eurazijos augalų rūšių dalis (%) regiono adventyvinų augalų sudėtyje
Čilė	84
Kalifornija	72
Pietų Afrika	58
Pietų Australija	63

1.3 lentelė. Sąmoningai introdukuotų XX a. įvairių augalų ir gyvūnų rūšių dalies palyginimas tarp atskirų valstybių (The living..., 1999)

Valstybė	Introdukuotų rūšių dalis (%) lyginant su kitomis valstybėmis
Australija	10
Kanada	28
Havajai	18
Prancūzija	11
Naujoji Zelandija	47
Ispanija	15

ventyvinų rūšių invazijų sukeliamų pokyčių (pasekmių) ekosistemose mechanizmus, dažniausiai sieja naujai inicijuojamus ekologinius veiksnus ir galimas naujai atsirandančias pasekmes. Vien tik gėlavandenėse hidrosistemose, kur pakankamai greitai tokie pokyčiai pasireiškia, įvardijama keletas naujai atsirandančių ekologinių veiksnių ir jų pasekmių sąsąjų:

- fiziniai pokyčiai buveinėse (išnyksta anksčiau buvusios natyvinės [vietinės] buveinės);
- hidrologinės būklės kaita (paviršinio nuotėkio režimo pokyčiai; dirvožemio hidrologinės būklės pokyčiai; paviršinio garavimo pokyčiai);
- vandenų cheminės būklės kaita (vandenyje ištirpusio deguonies kaita; ištirpusių vandenų mineralinių ir organinių medžiagų kaita, vandens drumstumo kaita);
- atskirų sistemų tarpusavio sąryšio kaita (upių ir polaidžio vandenų nuotėkio po-

kyčiai; srovės srauto ryškūs svyravimai, gruntinių ir paviršinių vandenų lygio fliktuacijos);

- bendrųjų biologinės įvairovės pokyčiai (vietinių rūšių išnykimas; mitybinių ryšių ir tarpusavio mitybinės hierarchijos grandinių kaita; buvusios biomasės kaupimo kiekybinių rodiklių persitvarkymas);
- poveikis rūšims ir populiacijoms (grobuonių rūšių praradimas ar ryškus sumažėjimas; ryškus sumažėjimas natyvinių rūšių, mažiau konkurentabilių kovoje dėl maisto ir slėptuvių, buveinių ir kitų ribotų išteklių; ryškus natyvinių rūšių sumažėjimas dėl naujai atsiradusių adventyvinų ligų, parazitų invazijos; išsklaidytos natyvinės populiacijos dėl adventyvinų rūšių agresijos jų atžvilgiu; sumažėję natyvinių rūšių produktyvumo ir individų gausumo populiacijose rodikliai; pakitusi natyvinių rūšių populiacijų elgsena, apribotas jos augimas);
- genetinis poveikis (genetinio polimorfizmo praradimas; galima hibridizacija).

Deginant energetinius biosferos išteklius, keičiant žemėnaudos paskirtį nuo 1750 m. atmosferoje anglies dvideginio kiekiai padidėjo trečdaliu, tačiau pagrindinis šių dujų didėjimo šuolis (per 60%) registruojamas tik nuo 1959 m. Deja, dėl didėjančios emisijos atmosferoje randasi vis daugiau SO_2 , NO_x , HCl, iš kurių formuojasi nitrito, azoto ir kitos rūgštys, pasišalinančios iš oro rūgščiųjų lietų pavidalu. Antropogeninės kilmės rūgščiųjų lietų pH paprastai esti 4–4,5 (pH vertės poslinkis ~1,0). Tokie krituliai atskiruose regionuose prisideda prie miškų ekosistemų degradacijos. Pirmiausia tokių kritulių poveikis buvo įrodytas Skandinavijos borealiniams miškams.

Tačiau kol kas, nuo istorinių laikų pradžios, pagrindinė Pasaulio miškų plotų ma-

žėjimo priežastis yra jų kirtimas ir tolesnis pomiškio nuganymas.

Šio proceso giluminės pasekmės kur kas platesnės – rūšinės įvairovės staigus mažėjimas, ekosistemų struktūrų ir funkcijų transformacijos, visuotinės klimato sistemos kaita. Apžvelgiant daugelio atskirų sintaksoninių dalinių būklę reikia pripažinti, kad daugelio pasekmės labai vienodos – arba mažėja jų užimami arealai, arba atskiros populiacijos, arba ir viena, ir kita. Drauge labai staigiai (tūkstantį kartų greičiau nei prieš atsirandant *Homo sapiens*) mažėja ir išnyksta augalų, gyvūnų rūšių. Globaliu mastu mažėja ir genetinė įvairovė, ypač tarp kultūrinių augalų rūšių. Dėl intensyvios globalios adventyvinų rūšių plėtros (sąmoninga, stichinė, inicijuota kitų antropogeninių veiksnių introdukcija) daugelyje skirtingų ekologinių bendrijų, esančių skirtinguose geografiniuose regionuose, atsiradus toms pačioms rūšims ar net jų kompleksams, jos įsilieja viena į kitą.

Daugelis transformacijų ekosistemose įvyko dėl stichinių antropogeninių veiklų (nenukreiptų į konkrečių ekosistemų sunaikinimą), pvz., tiesiant komunikacinius, infrastruktūrinius tinklus (keliai, dujotiekiai ir naftotiekiai, geležinkeliai), urbanizuojamų teritorijų plėtra ir kt.). Vis dėlto didžioji dalis – įgyvendinant vartotojiškus (įvairių žaliavų eksploatacija, apsirūpinimas energetiniais ištekliais, maisto produktais, gėlu vandeniu) planus. Nuo XX a. septintojo dešimtmečio, ypač paskutiniaisiais dešimtmečiais padvigubėjus Pasaulio gyventojų skaičiui (iki 6 mlrd.), net šešis kartus padidėjus pasaulinei ekonomikai, vartotojiškos gyventojų apimtys biosferos išteklių atžvilgiu taip pat staigiai didėjo. Siekiant tenkinti nuolatos augančias reikmes, maisto produktų gamyba ir gėlojo vandens sunaudojimas padvigubėjo. Iškertamų Pasaulio miškų apimtys patrigubėjo, nors pačios medienos paruošos tik padvigubėjo (1.10 pav.). Šiandien labai sunku tiksliai nusa-



1620 metai



1920 metai



1850 metai



XXI amžiaus pradžioje

1.10 pav. Pirminio miško plotų naikinimo mastai ir tempai Šiaurės Amerikos žemyne (Miller, 1994)

kyti, kokios buvo ir kaip pasikeitė atskirų biomų ekosistemų ribos per istorinį laikotarpį. Galima ekstrapoliuoti duomenis atsižvelgiant į egzistuojantį dirvožemį, mezoklimatinių bei mikroklimatinių veiksnių pasiskirstymą. 1.4 lentelėje pavaizduota ne tik jau įvykusi iki 1950 m. ir tarp 1950–1990 metų globali ekosistemų kaita, bet ir prognozuojami pokyčiai nuo 1990 m. iki XXI a. vidurio.

Vartotojiškų reikmių didinimas biosferoje sukauptų išteklių atžvilgiu buvo sprendžiamas dvejopai:

- esamų ir lengvai pasiekiamų išteklių eksploatacijos didinimas (natūralių miškų kirtimas, gėlo vandens išteklių neracionalus panaudojimas pramonėje ir žemės ūkyje, tarp jų ir sausringų (druskingų) žemių irigacijai, žuvų išteklių jūrose ir vandenynuose hipereksploatacija ir kt.);
- agrocenozų produktyvumo didinimas taikant įvairias technologijas (papildomas tręšimas, kova su kultūrų kenkėjais (konkurentais), ligomis, parazitais, naujos technologijos kuriant naujas veisles – genetiškai modifikuotų organizmų kultivavimas ir kt.) bei jų plotų tolesnė plėtra.

Deja, ir vienu, ir kitu atveju konstatuojamas globalus poveikis ekosistemoms, jų struktūroms ir net tolesniam gyvybingumui. Reikia pridurti, kad visuminės informacijos apie globalius pokyčius visose ekosistemose nėra, egzistuoja tik atskirų ekosistemų tipų kaitos išsamesnės ilgalaikės stebėsenos rezultatai. Daugiau duomenų sukaupia apie konkrečių gamtinių išteklių eksploataciją, iš kurių galima būtų spręsti apie atskirų tipų ekosistemų kaitą ir tolesnę jų būklę.

Miškų ekosistemų tipų ir jų užimamų plotų mažėjimas tiesiogiai siejasi su Pasaulio civilizacijomis istoriniame laike. Istorinė miškų ekosistemų degradacija dažnai tiesiogiai koreliavo su demografiniais procesais – gyventojų skaičiaus didėjimu ir jų tolesne plėtra. Pagrindinės tiesioginės miškų naikinimo priežastys buvo ir yra: dirbamų žemių ir medienos (pramonei ir kurui) reikmės, kitų miško išteklių alinimas, per intensyvus nuganymas. Prie kitų užslėptų priežasčių priskiriama vietos gyventojų skurdas, greitas jų skaičiaus augimas, esanti miško produktų (medienos ir kt.) paklausa Pasaulio rinkose ir intensyvi prekyba, taip pat makroekon-

1.4 lentelė. Sausumos biomų ir juose egzistuojančių ekosistemų įvykusios ir vykstančios transformacijos (Global..., 2001)

Biogeografiniai biotai ir jų sudėtis	Antropogenizuotų sausumos teritorijų apytikslė dalis (%)		
	nuo civilizacijų pradžios iki 1950 m.	1950–1990 m. laikotarpiu	progozė iki 2050 m.
Meditėreninio klimato retmiškai ir krūmynai	68	2–3	2
Vidutinio klimato miškai ir stepės	68	7–8	8–9
Vidutinio klimato plačialapiai ir mišrūs miškai	57	1	4
Tropiniai ir subtropiniai sausieji plačialapiai miškai	49	7	14–15
Užliejamos pievos ir žolinės savanos	45	7	11
Tropinės ir subtropinės pievos, sausosios ir krūmingosios savanos	42	7	9
Tropiniai ir subtropiniai spygliuočių miškai	35	5	27
Dykumos	26	5	2
Alpinės pievos ir krūmynai	24	5	15
Tropiniai ir subtropiniai drėgnieji miškai	24	2	17
Vidutinio klimato spygliuočių miškai	20	1	8
Šiauriniai (borealiniai) miškai	4 ?	-	2 ?
Tundra	?	?	4–5

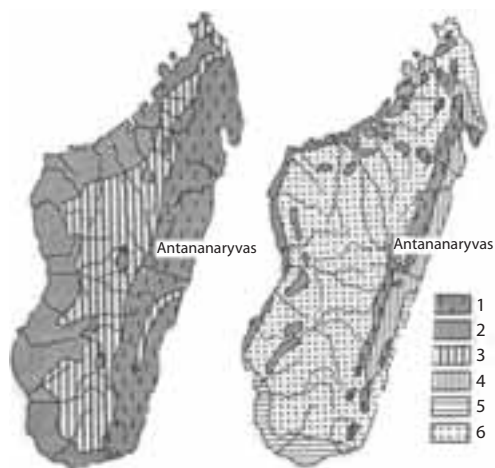
minė politika. XX a. pabaigoje atogrąžų miškų naikinimo greitis per metus siekė iki 1% jų bendro ploto.

Vieni iš geriausių antropogeninės veiklos ir ekosistemų kaitos pavyzdžių yra vandenynų salos. Kai kuriose iš jų žmonės pasirodė labai seniai ir ekosistemų gamtiniai ištekliai beatodairiškai naudojami jau keli šimtai metų. Dažnai tokiose salose ekosistemos išsiskiria:

- aukštu endemizmo laipsniu – ten gyvenančių unikalių rūšių ilgą izoliacijos ir tolesnės adaptacijos pasekmę;
- itin didelių ekosistemų jautrumu bet kokiems naujiems veiksniams.

Klasikiniu tokių salų ekosistemų pavyzdžių gali būti Galapagų ir Havajų salos; pastarosiose 90% – žiedinių augalų, 65% – papartainių, 99% – vabzdžių yra endeminės rūšys. Tipišku visų vandenyninių salų ekosistemų esamos būklės ir iškilusių gamtosauuginių problemų pavyzdžių gali būti Madagaskaro sala (1.11 pav.). Antropogenizuotas iš natūralaus į agrarinį kraštovaizdis lėmė ir kai kurių unikalių rūšių tolesnę ateitį; sunaikinto atogrąžų miško vietoj esančios kasmet deginamos ganyklos ir baigiančios išnykti endeminės (lemūrai, kai kurios roplių rūšys ir kt.) rūšys.

Analizuojančių globalią miškų būklę per



1.11 pav. Antropogeniniai sausųjų atogrąžų miškų biomo struktūrų pertvarkymai, įvykę Madagaskaro saloje per 200 metų: kairėje – rekonstruotas anksčiau (prieš 100 metų) buvusių ekosistemų pasiskirstymas; dešinėje – dabartinė situacija; 1–2 – atogrąžų miškai; 3 – savanos; 4 – buvę ryžių laukai; 5 – antropogeninės kilmės krūmingos stepės; 6 – periodiškai deginamos (pirogeninės) ganyklos (Isakov ir kt., 1980).

paskutiniuosius dešimtmečius pasaulinių organizacijų FAO, UNEP, WRI nustatyta, kad atogrąžų miškų ekosistemų sunaikinimo greitis buvo 11,3 mln. ha per metus (1.5 lentelė). XXI a. pradžioje visa miškais apaugusi teritorija (įskaiciuotos visos didesnės nei 0,5 ha miško teritorijos, kuriose medžių lajų susivėrimo plotas viršijo 10%) sudarė 3866 mln. ha, arba vos ne trečdalis sausumos paviršiaus. Pažymėtina, kad jau 5% viso plo-

1.5 lentelė. Globalūs miškų ekosistemų teritoriniai pokyčiai XX a. paskutiniajame dešimtmetyje (Global..., 2001)

Žemynas, regionas	Bendras plotas (mln. ha)	Bendras miškų plotas (mln. ha)		Miškingumas 2000 m. (%)	Pokyčiai nuo 1990 iki 2000 m. (mln. ha)	Pokyčių tempai (% per metus)
		1990 m.	2000 m.			
Afrika	2 963,3	702,5	649,9	21,9	– 52,6	– 0,7
Azijos ir Didžiojo vandenyno regionas	3 463,2	734,0	726,3	21,0	– 7,7	– 0,1
Europa	2 359,4	1 042,0	1 051,3	44,6	9,3	0,1
Pietų Amerika ir Karibų regionas	2 017,8	1 011,0	964,4	47,8	– 46,7	– 0,5
Šiaurės Amerika	1 838,0	466,7	470,1	25,6	3,9	0,1
Vakarų Azija	327,4	3,6	3,7	1,0	0,0	0,0
IŠ VISO	13 014,1	3 960,0	3 866,1	29,7	– 93,9	– 0,24

to sudarė ne natūraliai ataugantys miškai, o kultivuojamos medynų monokultūros.

Daugiausiai Pasaulio miškų užimamų teritorijų, lyginant su bendru to regiono plotu, yra Europoje – 27%; Pietų Amerikoje, drauge su Karibų jūros regionu – 25%, Azijos ir Ramiojo vandenyno regione – 19%, Afrikoje – 17%, Šiaurės Amerikoje – 12%.

Globaliu mastu biogeografinis miškų pasiskirstymas kiek kitoks: 47% sudaro įvairių tipų atogrąžų miškai, 33% – borealiniai, 11% – vidutinio klimato ir 9% – paatogrąžių (subtropikų) miškai.

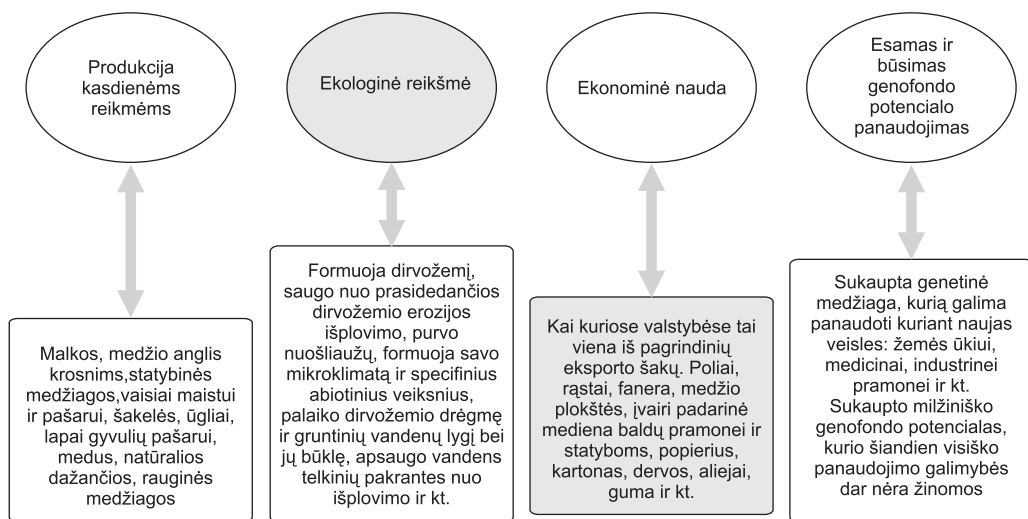
1.5. Ekosistemų ir jų struktūrų vertė

Dažnai grubiai transformuotos ir toliau žmogaus vienpusiškai eksploatuojamos ekosistemos gana greitai praranda savo vertę arba jų ekonominė vertė staigiai mažėja. Ekosisteminis požiūris daugiau kaip trečdalis sausumos ekosistemose esančios biomasės tenka Pietų Amerikos ekosistemoms, iš kurių 27% – Brazilijos teritorijai.

XX a. pabaigoje per devintą dešimtmetį užfiksuotas globalus 94 mln. ha miškų ploto sumažėjimas (t.y. 0,2% nuo Pasaulio miškų

ploto). Paminėtas skaičius yra dviejų priešingų procesų kiekybinė išraiška – kasmet buvo iškertama apie 14,6 mln. ha ir kasmet atsodinama apie 5,2 mln. ha. Deja, iškertamų miškų plotai vis didėjo – iki 16,1 mln. ha per metus, iš kurių 15,2 mln. ha tenka atogrąžų miškams. Net 70% iškirstų miškų plotų skiriama agrocenozėms. Pietų Amerikoje iškirstų miškų plotuose kuriamos didžiulės plantacijos ir ganyklos, o Afrikoje analogiški ūkiai nedideli, fragmentiški.

Biosferoje egzistuoja ir labai specifinės miškų ekosistemos, kurios nedideliais plotais aptinkamos palei ketvirtadalį tropinio biomo (tropinėje zonoje esančiose Afrikos, Pietų ir Centrinės Amerikos, Azijos bei Australijos pakrantėse), – tai mangrovės. Egzistuojančios potvynių ir atoslūgių zonoje mangrovių ekosistemos pasižymi ne tik didele biologine įvairove, bet ir aukštu produktyvumu laipsniu. Deja, dabar pusei mangrovių ekosistemų gresia išnykimas. Nuo 1966 iki 2000 metų Tailande išnyko jau didesnė dalis mangrovių plotų, Filipinuose jų plotai sumažėjo net keturis kartus, Ekvadore liko vos dešimtadalis. Pagrindinė priežastis – krevečių akvakultūrų plotų didėjimas.

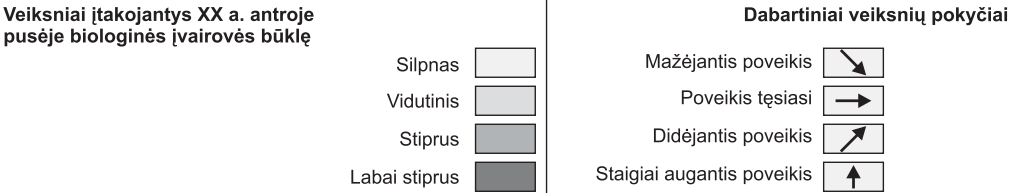
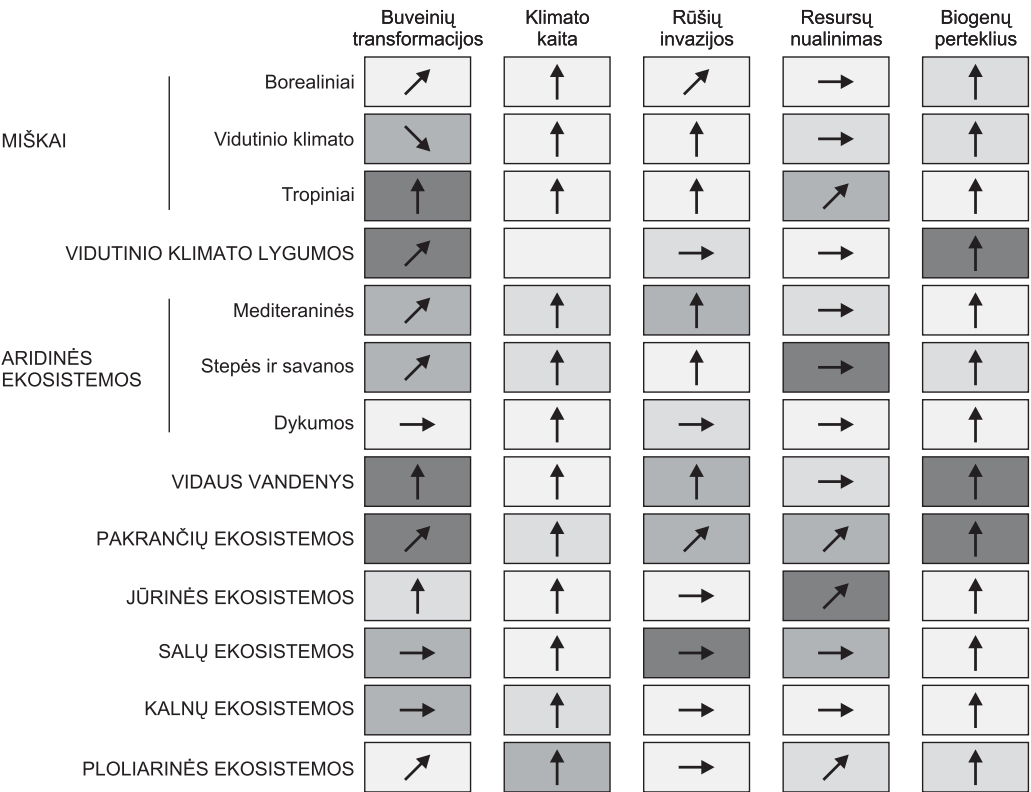


1.12 pav. Miškų ekosistemų ir jų vykdomų funkcijų („teikiamų paslaugų“) įvairiapusis vertinimas

Kaip žinia pastovi natūralių išteklių dalinė eksploatacija (kertamos tik kai kurios medžių rūšys, vaisiai, riešutai, vaistiniai preparatai, dekoratyvios ir techninės augalų rūšys ir kt.) ir miškų ekosistemų stabilumo palaikymas netolimoje ateityje duos daugiau dividendų nei visiškas jos pakeitimas agro-cenožėmis, kurių dirbtinis stabilumo palaikymas kainuoja žymiai brangiau.

Žinoma, kad Pasaulio miškuose, ypač atogrąžų, egzistuoja didžiausia, dar mažai

ištyrinėta rūšių įvairovė. Apie 12% Pasaulio miškų ekosistemų yra saugomose teritorijose, iš kurių penktadalis tenka Šiaurės ir Pietų Amerikai. Deja, ekspertų teigimu, atskiruose Pasaulio regionuose egzistuoja tik popieriuje, bet ne tikrovėje, saugomų miškų tendencijos. Ten itin stiprios medienos pramonės ir agrarinio sektoriaus pozicijos. FAO duomenimis, iš 145 Pasaulio valstybių jau 96% turi įvairios parengties nacionalines miškų valdymo strategijos programas.



1.13 pav. Ekosistemų būklės biosferos vertinimai atsižvelgiant į visuotinius vyraujančius XX–XXI a. pradžioje neigiamo poveikio veiksnius (Global..., 2002)

Tokia didelė atogrąžų miškų ekosistemų, buveinių ir ten gyvenančių rūšių įvairovė iš dalies apspręsta šių ekosistemų amžiaus (ilga nepertraukiama nepalankiais globaliais abiotiniais veiksniais evoliucija); Lietuvos seniausių ekosistemų amžius daugiausia siekia vos 17–18 tūkst. metų, o atogrąžų miškų – dešimtytis milijonų metų. Žinoma, kad Malaizijoje atogrąžų miškai augo jau prieš 60 mln. metų!

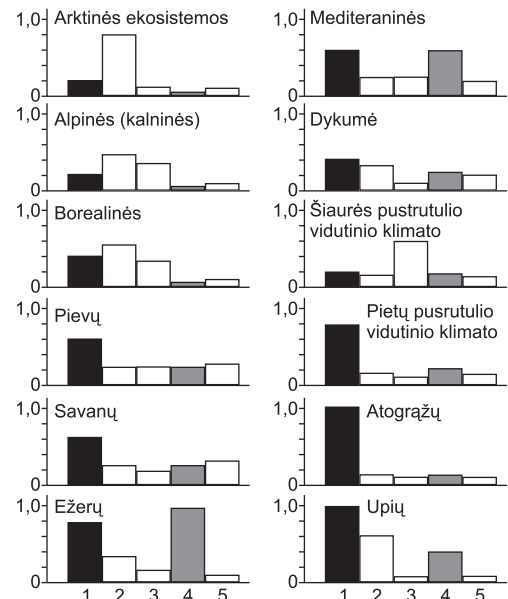
Tai, kad miškai yra svarbi komponentė Pasaulio klimato kaitoje, pažymima ir Kyoto protokolo dokumentuose. Miškų ekosistemose sukaupia per pusę bendro CO₂ kiekio, iš kurio 26% tenka borealiniais, 20% – atogrąžų, 7% – vidutinio klimato mišriems miškams. Taip pat tai yra vienas ir deguonies, ir išvalyto oro rezervuarų. Nepaisant to, kad kol kas nėra tikslų globalių duomenų apie atsilaisvinusį anglies dvideginį, neabejojama – staigiai sumažinus miškų biomasę staiga išaugs CO₂ kiekiai atmosferoje. Vien tik XX a. 8–9 dešimtmetyje CO₂ emisijos per metus sudarė apie 1,6–1,7 gigatonų (10⁹).

Jau oficialiai pripažįstama klimato kaitos įtaka miškų ekosistemoms, pakrančių žvejybos, atskirų regionų žemės ūkio sektoriuose. Dėl 1997–98 metais El Ninjo reiškinio (kurio dažniui ir apimčiai įtaką daro prasidėjusi klimato kaita) sukeltų sausrų daugelyje regionų ilgam įsivyravę sausringi orai sukėlė milžiniškus gaisrus Australijoje, Brazilijoje, Etiopijoje, Indonezijoje, Meksikoje, Viduržemio jūros pakrančių šalyse, o kitur (Š. Amerika) milžiniškas liūtis ar švelnesnes žieminės temperatūras ir net atskirų uraganų kryptį keitimą Atlanto vandenyne.

Didelis dėmesys skiriamas šiauriniams regionams, kur numatoma klimato kaita gali gerokai pakeisti jau egzistuojančią ekosistemų sanklodą. Arčiausiai Šiaurės ašigalio esantys miškų biomas yra borealiniai. Cirkumpoliariškai egzistuojantys šiauriniai miškai – taiga dabar užima apie 13,8 mln. km².

Arktyje pagal užimamus plotus domi-

nuojantys yra borealinių miškų ir tundros biomas, ekosistemos. Nors, skirtingai nuo atogrąžų miškų, jų ekosistemų plotai nuo 1990 m. pamažu didėja (+560 000 ha), atskirose teritorijose ekosistemų ekologinė būklė nėra patenkinama. Rusijoje didžiuliai borealinių miškų ekosistemų plotai, iškirtus ten dominuojančius medžius (kėnius, pušis, egles, maumedžius, beržus, drebulės ir kt.), greitai degraduoja. Sunyksta viršutinis miško paklotės sluoksnius, padidėja biogenų išplovimas, didėja dirvožemių rūgštingumas, dažna dirvožemių erozija. Tokia minėtų ekosistemų degradacija siejama ir su pablogėjusia hidrologinė tų regionų būkle: staigiais polaidžiais, padidėjusių nešmenų kiekiu upėse, didesniu jų kiekio nusėdimu ežeruose. Tai tiesiogiai neigiamai atsiliepia ne tik vandenų fizinei ir cheminei kokybei, bet ir vietinėms hidrosistemoms (pvz., sunaikinamos atskiros hidro-



1.14 pav. Biologinės įvairovės pokyčių mastai atskirose biosferos ekosistemose XX amžiaus pabaigoje: vertikalioje ašyje nurodyti biologinės įvairovės kiekybiniai pokyčiai (santyk. proc.), horizontalioje – neigiami ekosistemų pokyčiai; 1 – dirbamos žemės plotai; 2 – klimato kaitos poveikis; 3 – biotinių veiksnių kaita; 4 – CO₂ kiekio atmosferoje didėjimas

biontų bendrijos, žuvų nerštavietės ir kt.).

Ilgai eksploatuojant šiuos pamažu atsinaujinančius gamtinius išteklius, Skandinavijoje neliko brandžių borealinių miškų (t.y. klimaksinių ekosistemų). Vadinasi, šio regiono borealinių miškų ekosistemose sukaupiama mažiau biomasės (kartu mažėja ir sujungto CO₂ kiekiai). Su intensyvia miško pramonės sektoriaus veikla siejama ir didėjanti miško ekosistemų plotų fragmentacija, kuri neigiamai atsiliepia sistemų struktūrų gyvybingumui ir tolesniam funkcionavimui. Įvairių antropogeninių komunikacijų tinklai (autokeliai, geležinkeliai, dujotiekiai, naftotiekiai ir kitoks urbanizuojamų teritorijų infrastruktūrinis tinklas) tiesiogiai (staigus fizinis sunaikinimas) ar netiesiogiai (migravimo apribojimas, kaupiamoji cheminė tarša ir kt.) veikia ekosistemų bendrijas.

Sumuojant daugybę tyrimų duomenų galima daryti išvadą, kad antropogeninės veiklos poveikis Žemės sferoms atskirai ir kartu tapo globalus ir kol kas mažai valdomas. Buvusios savireguliuojančios savo ribose ir tarpusavyje sferos (hidrosfera, atmosfera, biosfera) jau praranda tokią gebą. Dabar turi „žodį tarti“ ir įgyvendinti tam tikrus veiksmus pati naujausia – antroposfera, nuo kurios „poelgių“ didžia dalimi priklausys ir visos Žemės tolesnė raida.

Literatūra

Bradshaw R., Emanuelsson U. (2004). *History of Europe's Biodiversity*. Background Note in Support a Report on Halting Biodiversity Loss. Copenhagen.

Climate Change: the Threats to the World Forest (2002). United Nations Environmental Programme, World Conservation Monitoring Centre. Cambridge.

Conservation of Arctic Flora and Fauna (2001). *Arctic Flora and Fauna: Status and Conservation*. Helsinki.

Down to Earth: Soil Degradation and Sustainable in Europe. A Challenge for the Century. (2000). European Environmental Agency, United Nations Environmental Programme *Environmental Issues* 6. Luxemburg.

Environmental Signals 2001 (2000). European Environment Agency. Copenhagen.

Global Environmental Outlook 3. Past, Present and Future Perspectives (2002). United Nations Environmental Programme. London.

Global Forest Resources Assessment 2000 (2001). FAO Forestry Paper. Rome.

GRID Arendal (2001). *Soil Degradation Map*. <http://www.grida.no/db/maps/prod/global>.

Isakov J., Kazanskaja N., Panfilov D. (1980). *Klasifikacija, geografija i antropogenaja transformacija ekosistem*. Maskva (rusiškai).

Loh J. (2000). *The Living Planet Report 2000*. Gland, WWF - The Global Environmental Network.

Methodology for Mapping Human Impacts on the Biosphere (2001). United Nations Environmental Programme.

Miller T. G., (1994). *Sustaining the Earth*. Wadsworth Publishing.

Mittermeier R. et al. (2005). *Hot Spots Revisited; Earth's Biologically Richest and Most Endangered Terrestrial Ecoregions*. Washington.

Nagy L., Grabherr, G., Körner, C., Thompson D. B. A (2002). Alpine Biodiversity in Europe, *Ecological Studies* 167, 399-409.

State of the World's Forest 2001 (2001). Food and Agriculture Organization. Rome.

The Global 2000 (1980). *The Technical Report 2*. Washington.

The Living World (1999). Johnson G. (ed). <http://www.mhe.com/biosci/genbio/biolink/>

Thomas C. D., Cameron A., Green R. E. et al. (2004). Extinction Risk from Climate Change, *Nature* 427, 145-148.

Thuiller, W., Lavorel, S., Araujo, M.B. et al. (2005). Climate Change Threats to Plant Diversity in Europe, *Proceedings of the National Academy of Science of the United States of America* 102 (23), 8245-8250.

Van Lynden G.W.J. (2000). *Soil Degradation and Sustainable Development in Europe: The Assessment of the Status of Human-induced Degradation*. FAO Report 2000/05, FAO and World Soil Information (ISRIC).

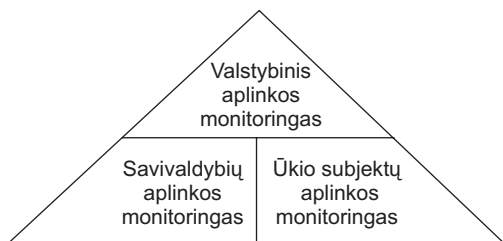
Zenetos A., Todorova V., Alexandrov B. (2002). *Marine Biodiversity Changes in the Mediterranean and Black Sea Regions. Report to the EEA*. www.iasonnet.gr/abstracts/zenetos.html

2. Gamtinių ekosistemų monitoringas

2.1. Gamtinių ekosistemų monitoringo samprata

Remiantis Lietuvos Respublikos aplinkos monitoringo įstatymu, *Aplinkos monitoringas* – sistemingas gamtinės aplinkos bei jos elementų būklės kitimo ir antropogeninio poveikio stebėjimas, vertinimas ir prognozė (Lietuvos Respublikos aplinkos monitoringo įstatymas, 1997). Tačiau iš karto yra būtina atkreipti dėmesį, kad šiuo metu dar vyksta intensyvios diskusijos su lietuvių kalbos specialistais, ar šis terminas yra tinkamas. Jų nuomone, tinkamiausia alternatyva būtų lietuviškas žodis stebėsena. Tokiu atveju abu terminai yra suprantami kaip sinonimai ir naudojami tam pačiam procesui apibūdinti.

Aplinkos monitoringo sistemą sudaro valstybinis, savivaldybių ir ūkio subjektų aplinkos monitoringai (2.1 pav.), kuriuos vykdant kaupiama ir analizuojama informacija apie gamtinės aplinkos elementų būklę ir pokyčius valstybės, savivaldybių ir vietinių lygmeniu.



2.1 pav. Pagrindinės aplinkos monitoringo sistemos dalys

Remiantis *Aplinkos monitoringo įstatymu*, pagrindiniai Lietuvos aplinkos monitoringo uždaviniai yra šie:

- 1) nuolat ir sistemingai stebėti gamtinės aplinkos ir jos elementų būklę Lietuvos Respublikos teritorijoje;

- 2) sisteminti, vertinti ir prognozuoti gamtinėje aplinkoje vykstančius savaiminius ir dėl antropogeninio poveikio atsirandančius pokyčius, gamtinės aplinkos kitimo tendencijas ir galimas pasekmes;
- 3) kaupti, analizuoti ir teikti valstybės institucijoms, visuomenei informaciją apie gamtinės aplinkos būklę, reikalingą dariniai plėtrai užtikrinti, teritorijų planavimo, socialinės raidos sprendiniams priimti, mokslo ir kitoms reikmėms;
- 4) analizuoti ir vertinti vykdomų aplinkosaugos priemonių veiksmingumą;
- 5) užtikrinti tarptautinius aplinkos monitoringo informacijos mainus.

Vykdant aplinkos monitoringą, stebima, vertinama ir prognozuojama:

- 1) aplinkos oro, vandens, Žemės gelmių, dirvožemio, gyvosios gamtos būklė;
- 2) natūralių ir antropogeniškai veikiamų gamtinių sistemų (gamtinių buveinių, ekosistemų) ir kraštovaizdžio būklė;
- 3) fizinis, radiacinis, cheminis, biologinis ir kitoks antropogeninis poveikis bei jo įtaka gamtinei aplinkai;
- 4) gamtinėje aplinkoje vykstančių globalių procesų kaita ir tendencijos (rūgštieji krituliai, ozono sluoksnio kitimas, šiltnamio efektas ir kt.).

Aplinkos monitoringo subjektai yra valstybės, savivaldybių ir mokslo institucijos, ūkio subjektai, kiti asmenys, Aplinkos monitoringo įstatymo ir kitų teisės aktų nustatyta tvarka renkantys, kaupiantys ir analizuojantys duomenis ir informaciją apie gamtinės aplinkos elementų būklę.

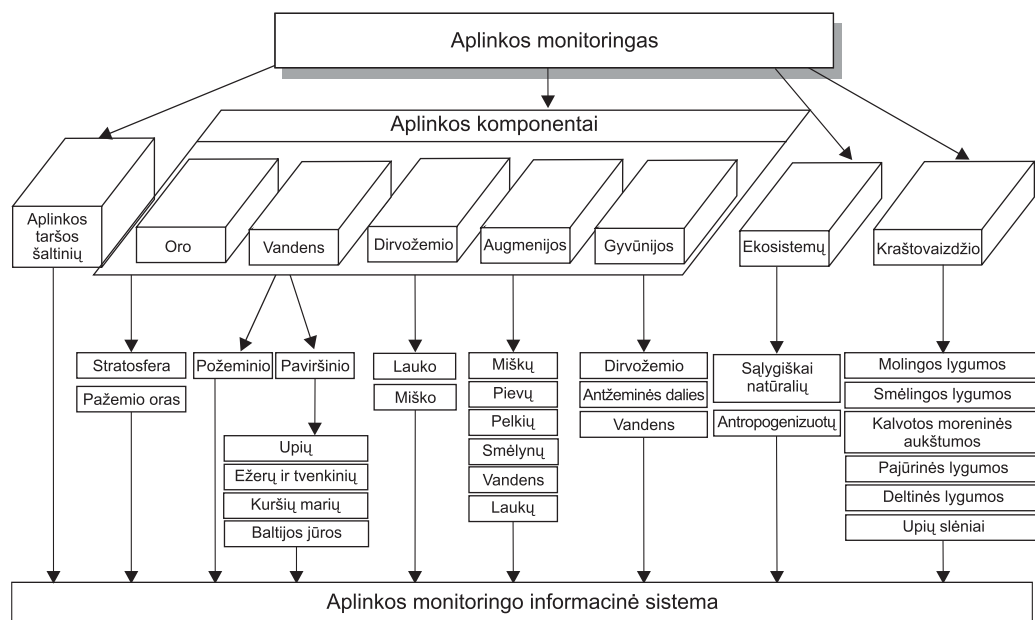
Kiekvieno lygmens monitoringas turi savo specifinius tikslus ir uždavinius. *Valstybinis aplinkos monitoringas*, vykdomas siekiant gauti informaciją, leidžiančią inte-

gruotai vertinti gamtinius procesus ir antropogeninį poveikį gamtinei aplinkai bei gamtinės aplinkos kokybę Lietuvos Respublikos teritorijoje, prognozuoti ir valdyti gamtinės aplinkos būklę ir ūkinės veiklos įtaką jai tiek nacionaliniu, tiek tarptautiniu mastu. Jis apima natūralias ir antropogeniškai veikiamas gamtines sistemas. Valstybinį aplinkos monitoringą organizuoja Aplinkos ministerija, ją vykdo Aplinkos ministerija ar jos įgaliotos institucijos, Žemės ūkio ministerija ar jos įgaliotos institucijos, Valstybinė maisto ir veterinarijos tarnyba, kitos valstybės institucijos. Šis monitoringas vykdomas pagal *Valstybinę aplinkos monitoringo programą*, kurią rengia Aplinkos ministerija kartu su kitomis valstybės institucijomis, vykdančiomis aplinkos monitoringą. Parengtą aplinkos monitoringo programą tvirtina Vyriausybė.

Valstybinis aplinkos monitoringas yra pats plačiausias ir kompleksiausias (2.2 pav.). Jis apima visą spektrą įvairiausių išmatuojamų aplinkos komponentų. Šio lygmens aplinkos monitoringo programos turinį, jos rengimo,

derinimo, vykdymo, valstybinės aplinkos monitoringo kontrolės užtikrinimo ir informacijos teikimo tvarką nustato *Valstybinio aplinkos monitoringo nuostatai*. Juos rengia ir tvirtina Aplinkos ministerija. Ši ministerija kartu su kitomis valstybinėmis aplinkos monitoringą vykdančiomis valstybėmis institucijomis pagal kompetenciją vykdo šias funkcijas:

- 1) vykdo *Valstybinio aplinkos monitoringo programą* ir kontroliuoja jo vykdymą;
- 2) kaupia ir saugo valstybinio aplinkos monitoringo duomenis, atlieka kompleksinę jų analizę, vertina gamtinės aplinkos pokyčius;
- 3) remdamasi valstybinio aplinkos monitoringo duomenimis, nustato aplinkosaugos priemones ir informuoja visuomenę apie gamtinės aplinkos būklę;
- 4) užtikrina aplinkos monitoringo kokybės kontrolę;
- 5) atstovauja Lietuvos Respublikai aplinkos monitoringo klausimais;
- 6) vykdo kitas su valstybiniu aplinkos monitoringu susijusias funkcijas.



2.2 pav. Aplinkos monitoringo struktūrinė schema (Aplinkos..., 2007)

Pagrindinė Aplinkos ministerijai pavaldi institucija, atsakinga už didžiąją dalį valstybinio aplinkos monitoringo duomenų kaupimą, analizes bei vertinimą, taip pat informacijos bei duomenų teikimą visuomenei bei kitoms Lietuvos ir užsienio organizacijoms yra Aplinkos apsaugos agentūra (AAA). Šios agentūros duomenų bazėse sukaupti duomenys yra prieinami visuomenei ir jeigu yra poreikis tokius duomenis gauti mokslo tikslais, reikia oficialiai kreiptis į AAA, ir jie nustatyta tvarka bus suteikti.

Dabar galioja patvirtinta 2005–2010 metų *Valstybinė aplinkos monitoringo programa* (VAMP), kuri pakeitė *Valstybinę aplinkos monitoringo 1999–2004 metų programą*. Dabartinėje aplinkos monitoringo programoje yra apibrėžiami aplinkosaugos tikslai ir pagrindiniai uždaviniai, kuriems įgyvendinti būtini gamtinės aplinkos būklės stebėjimai nacionaliniu mastu, numatomos šių uždavinių įgyvendinimo priemonės, jų apimtis ir vykdytojai, priemonių finansavimo sistema, lėšų reikmė ir paskirstymas nurodytuoju laikotarpiu. Ši Programa, įgyvendinama kartu su kitomis valstybinėmis ir nacionalinėmis programomis, turėtų sudaryti sąlygas sukaupti duomenis bei informaciją, leidžiančius integruotai vertinti antropogeninį poveikį gamtinei aplinkai ir aplinkos sveikumą, prognozuoti ir valdyti gamtinės aplinkos būklę ir neigiamą ūkinės veiklos įtaką jai, užtikrinti tinkamą aplinkos kokybę Lietuvos gyventojams ir mažinti gamtos vertybių degradavimo pavojų. Be to, ji turėtų užtikrinti tikslų duomenų bei kitos informacijos surinkimą tam, kad būtų galima tinkamai vertinti gamtinės aplinkos būklę Lietuvoje, valdyti ir prognozuoti ją tiek nacionaliniu, tiek tarptautiniu mastu.

Savivaldybių aplinkos monitoringas vykdomas siekiant gauti išsamią informaciją apie savivaldybių teritorijų gamtinės aplinkos būklę, planuoti ir įgyvendinti vietinės aplinko-

saugos priemones ir užtikrinti tinkamą gamtinės aplinkos kokybę. Šio lygmens aplinkos monitoringas vykdomas pagal savivaldybės aplinkos monitoringo programą, kurią rengia savivaldybės vykdomoji institucija. Savivaldybių aplinkos monitoringo programos turinį, jos rengimo, derinimo, vykdymo, savivaldybių aplinkos monitoringo kontrolės užtikrinimo ir informacijos teikimo tvarką nustato *Bendrieji savivaldybių aplinkos monitoringo nuostatai*. Šiuos Nuostatus rengia ir tvirtina Aplinkos ministerija. Todėl *Savivaldybių aplinkos monitoringo programa* turi būti suderinta su Aplinkos ministerija arba jos įgaliota institucija pagal *Bendrųjų savivaldybių aplinkos monitoringo nuostatų* nustatytą tvarką ir patvirtinta savivaldybės tarybos.

Savivaldybės institucijos, organizuodamos ir vykdydamos savivaldybių aplinkos monitoringą, turi užtikrinti šių esminių reikalavimų įgyvendinimą:

- 1) užtikrinti savivaldybės teritorijos gamtinės aplinkos būklės stebėjimus;
- 2) analizuoti ir vertinti turimus ūkio subjektų aplinkos monitoringo duomenis;
- 3) vertinti ir prognozuoti gamtinės aplinkos pokyčius ir galimas pasekmes;
- 4) teisės aktų nustatyta tvarka teikti informaciją visuomenei ir valstybės institucijoms.

Savivaldybių aplinkos monitoringo duomenys, atitinkantys reikalavimus, keliamus valstybinio aplinkos monitoringo duomenims, pagal nustatytą tvarką yra naudojami valstybinio aplinkos monitoringo tikslams.

Ūkio subjektų aplinkos monitoringas vykdomas siekiant nustatyti ūkio subjektų taršos šaltinių išmetamų teršalų kiekį ir ūkinės veiklos poveikį gamtinei aplinkai ir užtikrinti jų sukeltamos taršos ar kito neigiamo poveikio mažinimą. Ūkio subjektų aplinkos monitoringas vykdomas pagal ūkio subjektų aplin-

kos monitoringo programą, kurią rengia patys ūkio subjektai. Šių programų turinį, jų rengimo, derinimo, vykdymo, kontrolės užtikrinimo ir informacijos teikimo tvarką nustato *Ūkio subjektų aplinkos monitoringo nuostatai*. Šiuos Nuostatus rengia ir tvirtina Aplinkos ministerija. Parengta Ūkio subjektų aplinkos monitoringo programa turi būti suderinta ir patvirtinta Ūkio subjektų aplinkos monitoringo nuostatų nustatyta tvarka.

Norint korektiškai sisteminti, vertinti ir prognozuoti gamtinėje aplinkoje vykstančius savaiminius ir dėl antropogeninio poveikio atsirandančius pokyčius, gamtinės aplinkos kitimo tendencijas ir galimas pasekmes, yra būtina užtikrinti tinkamą aplinkos monitoringo tyrimų ir duomenų kokybę. Tam tikslui aplinkos monitoringo vykdymui turi būti taikomi tyrimų ir matavimų metodai, atitinkantys teisės aktuose įtvirtintus reikalavimus. Laboratorijos, atliekančios taršos šaltinių išmetamų į aplinką teršalų ir teršalų aplinkos elementuose (ore, vandenyje, dirvožemyje) matavimus ir tyrimus, turi turėti leidimus šiems matavimams ir tyrimams atlikti arba būti akredituotos teisės aktų nustatyta tvarka. Leidimų atlikti taršos šaltinių išmetamų į aplinką teršalų ir teršalų aplinkos elementuose matavimus ir tyrimus išdavimo tvarką nustato Aplinkos ministerija. Tyrimų ir matavimų kokybę užtikrinama diegiant tyrimų ir matavimų vadybos sistemas, atitinkančias teisės aktų reikalavimus. Monitoringo duomenų kokybę užtikrinama diegiant duomenų kokybės vadybos sistemas, atitinkančias nustatytus teisės aktų reikalavimus.

Valstybinio aplinkos monitoringo duomenis ir informaciją remiantis nustatyta tvarka renka ir saugo Aplinkos ministerija arba jos įgaliotos institucijos bei kitos valstybinės aplinkos monitoringą vykdančios valstybės institucijos arba jų įgaliotos institucijos. Savivaldybių aplinkos monitoringo duomenys ir informacija renkama ir saugoma Bendrųjų

savivaldybių aplinkos monitoringo nuostatų nustatyta tvarka. *Ūkio subjektų aplinkos monitoringo* duomenys ir informacija renkama ir saugoma *Ūkio subjektų aplinkos monitoringo nuostatų* nustatyta tvarka.

2.2. Integruotas aplinkos vertinimas

Aplinka yra viena glaudžiai tarpusavyje susijusių komponentų sistema, todėl ir aplinkos monitoringas, nepaisant skirtingų analizuojamų temų ir problemų įvairovės, turi būti vykdomas integruotai ir vertinamas kompleksiskai. Tik tokiu būdu yra įmanoma atskleisti priežastinius ryšius tarp aplinkoje vykstančių procesų, kartu numatyti reikiamų tyrimų kryptis ir rengti aplinkosauginių veiksmų programas.

Dar 1989 metais tuometinis Lietuvos gamtos apsaugos komitetas buvo priėmęs nutarimą *Dėl kompleksinio ekologinio monitoringo organizavimo ir gamtinės aplinkos būklės faktografinės informacinės sistemos „Ekologija“ sukūrimo*. Tam tikslui buvo suburta speciali įvairių sričių specialistų darbo grupė, vadovaujama Vilniaus universiteto prof. V. Juodkazio, kuri 1989–1990 m. išanalizavo esamą padėtį ir pateikė pasiūlymus ekologinio monitoringo sistemai Lietuvoje sukurti. Reorganizavus Gamtos apsaugos komitetą į Aplinkos apsaugos departamentą šios grupės pasiūlymai buvo iš naujo peržiūrėti ir išanalizuoti, atsižvelgiant į realias jų įgyvendinimo galimybes. 1991–1992 m. LR Aplinkos apsaugos departamente prof. R. Juknio vadovaujama darbo grupė parengė *Lietuvos ekologinio monitoringo programą*, pagrįstą pakankamo minimumo principu. Jai vykdyti nuo 1993 m. skiriamos biudžeto lėšos.

Aplinkos oras. Aplinkosaugos politikos prioritetai aplinkos oro būklės stebėjimo srityje yra neatsiejami nuo Lietuvos darnios plėtos prioritetų – pagrindinių ūkio šakų

poveikio aplinkai ir pavojaus žmonių sveikatai mažinimo, Pasaulio klimato pokyčių ir jų padarinių švelninimo.

Nacionalinė darnios plėtros strategija numato tobulinti aplinkos oro kokybės vertinimo ir valdymo sistemą, kad užtikrintų nekenksmingą žmonių sveikatai ir ekosistemos oro kokybę visoje šalies teritorijoje. Pastaruoju metu Lietuvai aktualios šios oro kokybės problemos: vietinių oro taršos šaltinių – transporto ir energetikos pramonės – išmetami teršalai miestuose, ypač naujų gyvenamųjų namų kompleksuose ir pramonės centruose; galimas taršos iš šiluminių elektrinių padidėjimas pradėjus vykdyti valstybės įmonės Ignalinos atominės elektrinės eksploatavimo nutraukimo darbus; Lietuvos oro baseino tarša iš kitų regionų atnešamais teršalais. Kad būtų tinkamai reguliuojamas į aplinką patenkančių teršalų kiekis, svarbu turėti objektyvią informaciją apie sieros dioksido, azoto oksidų, lakiųjų organinių junginių, sunkiųjų metalų, patvarių organinių ir kitų teršalų, vad. šiltnamio dujų ir ozono sluoksnį ardančių medžiagų, išmetamų į atmosferą, kiekio ir koncentracijos dinamiką, apie kitus veiksnius, sąlygojančius klimato kaitą, aplinkos rūgštėjimą ir eutrofikaciją. Būtina stebėti radionuklidų tolimosios pernašos įtaką pažemio atmosferos būklei ir radiacinį foną Lietuvoje.

Aplinkos oro kokybei stebėti ir vertinti valstybinis aplinkos oro monitoringas Lietuvoje vykdomas nuo 1967 m. Didžiuosiuose miestuose ir pramonės centruose matuota pagrindinių ir kai kurių specifinių teršalų, būdingų tai vietai, koncentracija: bendrosios dulkės, sieros dioksidas, anglies monoksidas, sulfatai, formaldehidas, fenolas, sieros vandenilis, fluoro vandenilis, azoto oksidai, metalai ir benzpirenas. 1999–2004 m. laikotarpiu miestų aplinkos oro kokybės monitoringo tinklas buvo modernizuotas. 2004 m. jį jau sudarė 13 automatizuotų oro kokybės

tyrimo stočių, nepertraukiamai matuojančių azoto oksidų, sieros dioksido, anglies monoksido, kietųjų dalelių, ozono, benzeno, tolueno koncentraciją, meteorologinius parametrus. Pusiau automatinio būdu matuojama bendrųjų dulkių, policiklinių aromatinių angliavandenilių, metalų koncentracija pažemio oro sluoksnyje.

Igyvendinant Europos Bendrijos direktyvų reikalavimus, dabartinėje *Valstybinėje aplinkos monitoringo programoje* yra numatytas aplinkos oro kokybės vertinimas aglomeracijose ir zonose, kurios Lietuvos Respublikoje yra skirstomos atsižvelgiant į gyventojų skaičių ir užterštumo lygį, pagal tuos pačius kriterijus parenkant ir vertinimo būdus, stočių skaičių ir išdėstymą. Be to, taip nustatyto stebėjimo vietų tinklo patikslinimas turi būti atliekamas ne rečiau kaip kas 5 metus. Siekiant užtikrinti reikiamą duomenų kokybę, įdiegus automatizuotą stebėjimų sistemą, diskretiniai aplinkos oro kokybės tyrimai dabartiniu metu pakeisti nuolatiniais.

Iš kitų šalių atnešamus teršalus, bendrą – foninį – šalies oro baseino užterštumo lygį, jo pokyčius ir juos lemiančius veiksnius leidžia analizuoti foninio oro monitoringo stočių sistema. Pirmoji tokia stotis buvo įrengta dar 1980 metais Preiloje, o 1993–1994 m. įrengtos dar trys. 2004 metais veikė 3 stočių tinklas (2.3 pav.). Čia stebima ozono, sieros ir azoto dioksidų, sulfatų, sunkiųjų metalų, nitratų ir amonio, į Lietuvą intensyviausiai pakliūnančių su tolimosiomis oro pernašomis, koncentracija ore, taip pat kritulių cheminė sudėtis. Preiloje esanti stotis dirba pagal tarptautines *Tolimųjų pernašų Europoje monitoringo ir įvertinimo* (toliau vadinama – EMEP) ir *Baltijos jūros aplinkos apsaugos komisijos* (toliau vadinama – HELCOM) programas, kitos stotys – pagal *Tarptautinę bendradarbiavimo sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksinės monitoringo srityje programą* (toliau vadinama – ICP IM). Šios sto-

tys jau priklauso tarptautinių stočių sistemai, jų stebėjimai griežtai reglamentuoti ir bendri Europai, todėl šioje Programoje pakeitimų, susijusių su foninio oro būklės stebėjimais, nenumatyta.



2.3 pav. Foninio oro monitoringo bei miestų oro kokybės stebėjimų stočių išdėstymas (Aplinkos..., 2007)

△ – Foninio oro monitoringo stotys (integruoto monitoringo stotys)

■ – Iškritų surinkimo stotis agrostacionare

○ – Oro kokybės stebėjimų stotys miestuose

Teršalų kaupimasis ar išsisklaidymas ore labai priklauso nuo meteorologinių sąlygų. Meteorologiniai duomenys būtini, kai reikia įvertinti oro teršalų koncentracijos pasiskirstymą erdvėje, planuojamos ūkinės veiklos poveikį aplinkos orui ar modeliuoti įvairius scenarijus numatomų priemonių veiksmingumui nustatyti, ar įvertinti oro kokybę modeliavimo būdu ten, kur jos išmatuoti nėra galimybių. Šioje Programoje numatyta 18 stočių, kurios turi užtikrinti meteorologinių duomenų kiekį, būtiną klimato pokyčiams sekti, ir sudaryti tikslesnius teršalų sklaidos žemėlapius naudojant teršalų emisijos duomenų bazes ir matematinius modelius (2.4 pav).

Igyvendinant 1985 metų Vienos konvencijos dėl ozono sluoksnio apsaugos reikalavimus, numatyta tęsti ozono sluoksnio ir meteorologinių parametrų stratosferoje pokyčių

ankstesnės apimties stebėjimus. Naujojoje *Valstybinėje aplinkos monitoringo programoje* yra patikslintas aplinkos oro radiologinio monitoringo tinklas, kuris turi užtikrinti radioaktyviųjų aerozolinių priemaišų sudėties nustatymą Ignalinos AE eksploatavimo ir jo nutraukimo metu, sekti į Lietuvą patenkančius ir išnešamus radionuklidų srautus, įvertinti teritorijos, kur galima didžiausia kolektyvinė radionuklidų dozė gyventojams (Vilniaus miesto), radiologinę aplinką.



2.4 pav. Radiacinės situacijos informavimo sistemos stebėjimo stočių išdėstymas (Aplinkos..., 2007)

○ – AGIR stotys

▽ – ARGOS stotys

■ – RADIS stotys

◆ – Emituotų radionuklidų stebėjimo stotis

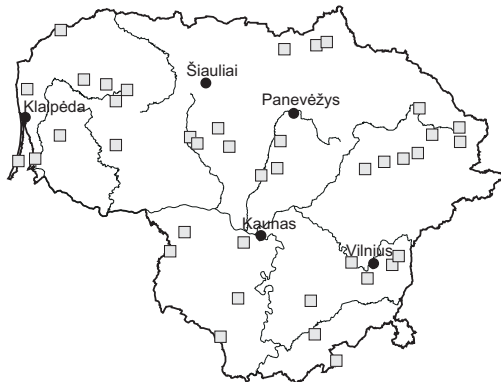
Vanduo. Vandens monitoringas sudarytas iš dviejų dalių – paviršinių vandens telkinių ir požeminio vandens monitoringo. Paviršinių vandenų monitoringas savo ruožtu yra skirtomas į upių, ežerų ir tvenkinių, Kuršių marių, Baltijos jūros monitoringą.

Dabartiniu metu požeminis vanduo yra pagrindinis geriamojo vandens šaltinis Lietuvoje, todėl jo apsauga yra svarbi tiek ekonominiu, tiek socialiniu požiūriu. Geriamojo vandens gavybai naudojami gilūs vandens telkinių horizontai apsaugoti geriau, tačiau gruntinis vanduo menkai apsaugotas nuo antropogeninio poveikio. Realiausi poten-

cialūs požeminių vandens telkinių teršėjai – pasklidieji taršos šaltiniai (pvz., intensyvio-sios gyvulininkystės išleidžiamos nuotekos), tačiau ir dėl intensyvaus telkinių naudojimo gali padidėti kai kurių cheminių medžiagų koncentracija tiek, kad vanduo taps netinkamas naudoti.

Reguliarus požeminio vandens monitoringas Lietuvoje pradėta vykdyti dar 1946 m. Monitoringo tinklą 1995 m. sudarė 86 valstybinio monitoringo vietos. Siekiant pritaikyti požeminio vandens monitoringo sistemą prie ES direktyvose keliamų reikalavimų, 2001 m. monitoringo tinklas buvo išplėstas iki 268 vietų. Dabartinėje Programoje monitoringo tinklą numatoma papildyti 12 naujų vietų, joje, atsižvelgiant į EB ir ES direktyvų reikalavimus, yra patikslintas parametų sąrašas ir stebėjimų dažnumas. Pažymėtina, kad įgyvendinant *direktyvos 91/676/EEB* ir *Požeminio vandens naudojimo ir apsaugos 2002–2010 metų strategijos* nuostatas, į šios Programos numatytą požeminio vandens monitoringo priemonę yra įtrauktas ir nitratų monitoringo tinklas. Dabartinis požeminio vandens monitoringo postų tinklas yra pateiktas 2.5 pav.

Paviršinio vandens telkinius antropogeninė tarša veikia labiausiai. Su nuotekomis išleidžiamos organinės ir biogeninės medžiagos skatina eutrofikaciją, jos pasižymi



2.5 pav. Požeminio vandens monitoringo stočių tinklas (Aplinkos..., 2007)

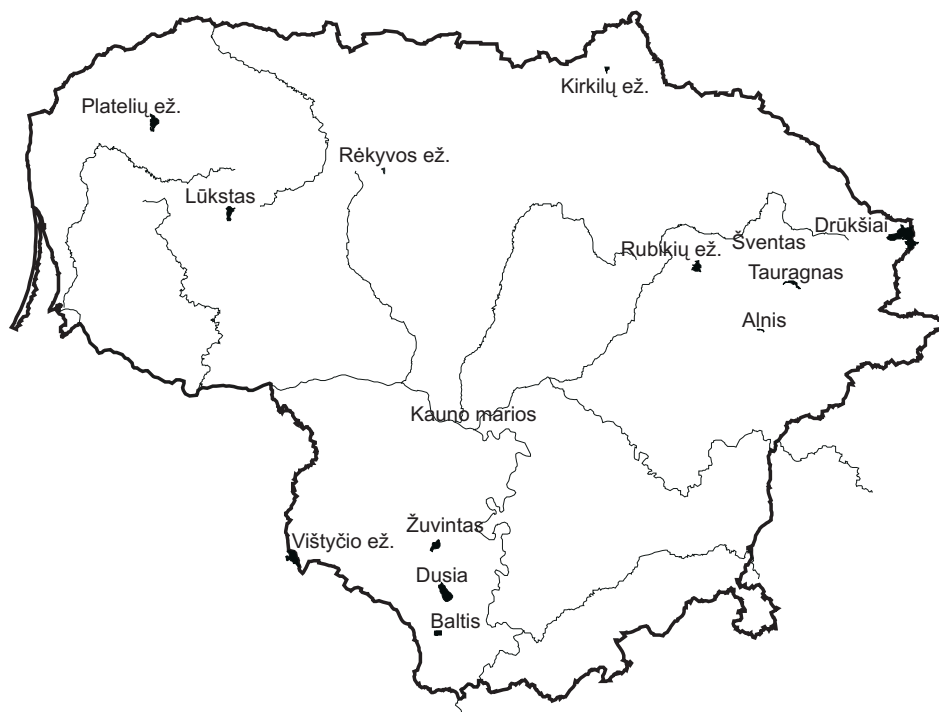
toksiškumu ir akumuliacija. Turimų duomenų nepakanka natūraliai vandens ekosistemų būklei įvertinti, todėl sunku numatyti priemones jai gerinti. Lėtai atnaujinama vandentvarkos infrastruktūra gyvenvietėse, didėja mažų upių ir upelių taršos grėsmė. Ne visi gyvulininkystės objektai laikosi pažangaus ūkininkavimo taisyklių, todėl dalis žemės ūkyje naudojamų trąšų ir augalų apsaugos priemonių išplaunama iš dirvožemio ir teršia vandens telkinius. Apie 70% Lietuvos upių yra sureguliuotos arba suskaidytos tvenkinių ir užtvankų, o tai trikdo hidrologinį režimą, silpnėja savaiminis apšalymas, sudaromos fizinės kliūtys, lemiančios biologinės įvairovės mažėjimą. Pastaraisiais dešimtmečiais šiltėjantis klimatas Lietuvoje skatina sausras, dėl jų senka upių vandens, kyla vandens temperatūra – tai taip pat kenkia ekosistemoms. Pagrindiniai veiksniai, bloginantys ežerų kokybę, yra žemės ūkio veikla, rekreacija ir natūralių oro pernašų sąlygų pokyčiai. Pirmosios 4 hidrometrinės upių monitoringo stotys Lietuvoje buvo įrengtos dar XIX a. pradžioje. Pirmieji upių vandens kokybės tyrimai pradėti 1951 m., o iki XX amžiaus devintojo dešimtmečio monitoringo tinklas buvo išplėstas iki 100 stebėjimo vietų (47 upėse). 2004 metais vandens kokybės tyrimai atlikti 107 vietose (50 upių) (2.6 pav.).

Reguliarūs ežerų stebėjimai pradėti 1993 m. Nuo 1999 m. stebėjimų tinklas apėmė 13 ežerų ir Kauno marios (2.7 pav.).

Deja, reikia konstatuoti, kad 1999–2004 metais upių ir ežerų monitoringo apimtys neatspindėjo antropogeninio poveikio įvairiuose Lietuvos regionuose ir nėra pakankamos upių ir ežerų būklei įvertinti pagal *direktyvos 2000/60/EB* reikalavimus. Tuometės monitoringo programos priemonės buvo skirtos daugiausia tarpvalstybinių vandens teršalų pernašų ir miestų įtakai upių vandens kokybei įvertinti, beveik netirta mažesnių upių būklė bei akcentuoti hidrocheminiai



2.6 pav. Upių vandens kokybės hidrocheminių stebėjimų stočių tinklas (Aplinkos..., 2007)



2.7 pav. Reguliaraus ežerų monitoringo tinklas (Aplinkos..., 2007)

būklės rodikliai. Šioje Programoje nurodyti naujieji monitoringo principai, jie nustatyti atsižvelgiant į direktyvų 2000/60/EB, 91/676/EEB, 80/68/EEB, 76/464/EEB, 86/280/EEB, 78/659/EEB ir sprendimo 77/795/EEB reikalavimus. Įgyvendinant direktyvą 2000/60/EB, reikalaujančią iki 2015 m. pasiekti gerą vandens telkinių būklę, daugiausia dėmesio skiriama biologiniams paviršinio vandens telkinių kokybės elementams. Būtina pasiekti visų vandens telkinių gerą ekologinę būklę, todėl šioje Programoje numatyta kur kas daugiau stebėjimo vietų, numatoma visur atlikti hidrobiologinius ir hidromorfologinius tyrimus, patikslintas hidrocheminių parametrų sąrašas ir matavimų dažnumas. Be to, vertinant tarpvalstybines vandens teršalų pernašas ir vandens telkinių apkrovas pagal direktyvos 2000/60/EB reikalavimus, būtina matuoti hidrometrinius ir hidrocheminius parametrus tame pačiame stebėjimo tinkle. Šioje Programoje numatyta monitoringo tikslams naudoti daugiau hidrometrinių matavimų stočių, be to, esamos stotys bus tobulinamos – bus automatizuojami matavimai.

Į Kuršių marias suteka vanduo iš 75% Lietuvos teritorijos. Tai labai eutrofiktuotas vandens telkinys. Baltija vis dar laikoma viena labiausiai užterštų jūrų. Be to, Kuršių marios ir Baltijos jūra Lietuvai yra pagrindinis žuvų išteklį šaltinis, kurio būklė taip pat tiesiogiai priklauso nuo taršos. Visi keturi Lietuvos upių baseinų rajonai yra tarptautiniai, todėl aktualios ir tarptautinių vandens teršalų pernašų problemos, ypač Nemuno baseine, kurio 50% yra Baltarusijos, Rusijos Federacijos Kaliningrado srities ir Lenkijos teritorijoje. Šiose valstybėse susidarę teršalai per Lietuvos teritoriją tekančiomis upėmis patenka į Kuršių marias ir Baltijos jūrą.

Hidrometeorologiniai stebėjimai 1954 metais pradėti Kuršių mariose, vėliau – Baltijos jūros pietrytinėje dalyje. Nuo 1959 metų Kuršių mariose vykdomi reguliarūs

vandens kokybės hidrocheminiai tyrimai (nuo 1977 m. – ir hidrobiologiniai), Baltijos jūroje – nuo 1964 m. Nuo 1979 metų Baltijos jūros būklės stebėjimai atliekami ir pagal HELCOM programą. 2004 metais Kuršių mariose buvo 12 monitoringo vietų, Baltijos jūroje – 22 monitoringo vietos.

Baltijos jūros ir Kuršių marių monitoringo tinklo struktūra šioje Programoje pataisyta atsižvelgiant į direktyvos 2000/60/EB reikalavimus – nurodytos naujos vandens telkinių kategorijos – pakrantės ir tarpiniai vandenys. Atsižvelgta ir į galimų grėsmių iš stambiųjų sutelktosios taršos šaltinių – naftos platformos D-6, Būtingės naftos terminalo, dampingo zonos ir cheminio ginklo sąvartyno – išsidėstymą. Baltijos jūros monitoringą sudarys atviros jūros ir pakrantės vandenų monitoringas. Tarpinių vandenų – Kuršių marių ir gėlojo bei jūros vandens susimaišymo zonos Baltijos jūros pakrantėje – būklės monitoringo tinklui sukurti papildomai skirtos 8 stebėjimo vietos.

Pagal *Lietuvos Respublikos vandens įstatymo* (Žin., 1997, Nr. 104-2615; 2003, Nr. 36-1544) reikalavimus vandens telkinių būklei įvertinti turi būti vykdoma telkinių priežiūros ir veiklos monitoringas, o prireikus – tiriamasis monitoringas. Atitinkamai suplanuotos ir šios Programos priemonės.

Priežiūros monitoringas vykdomas tam, kad būtų gauta informacijos apie bendrą šalies vandens telkinių būklę ir ilgalaikius pokyčius. Jos reikia formuojant pagrindines priemones, turinčias užtikrinti vandens telkinių apsaugą ateityje, papildant ir užtikrinant vandens telkinių suskirstymą pagal tipus, nustatant vandens telkinių tipų etalonines sąlygas. Įgyvendinant direktyvos 2000/60/EB reglamentuojamą vandens telkinių kokybės valdymą baseinų principu, priežiūros monitoringo tinklas parinktas taip, kad leistų įvertinti telkinių būklę kiekviename upių baseino rajone, baseine ar pabaseinyje. Inten-

syvios priežiūros monitoringo vietos parinktos taip: pagrindinių upių ir upių, įtekančių į Baltijos jūrą, žiotyse; vandens telkiniuose, kertančiuose Lietuvos Respublikos valstybės sieną; vandens telkinių vietose, nustatytose pagal sprendimo 77/795/EEB reikalavimus; svarbiausiuose ežeruose ir tvenkiniuose; žemės ūkio poveikio upėse; etaloniniuose (sąlygiškai antropogeniškai nepaveiktuose) vandens telkiniuose. Telkiniuose, atspindinčiuose bendrą vandens telkinių būklę, pakaks ekstensyvios priežiūros monitoringo. Priežiūros monitoringas bus vykdomas ir kiekviename požeminiame vandens telkinyje arba jų grupėje bei atviroje Baltijos jūroje – tam, kad būtų tenkinamos tarptautinės reikmės ir derinant su veiklos monitoringu būtų sudarytos sąlygos nustatyti naftos platformos D-6, Būtingės naftos terminalo ir cheminio ginklo sąvartyno galimą poveikį jūros aplinkai.

Per veiklos monitoringą bus ištirta vandens telkinių, kuriuose numatyti vandensaugos tikslai gali būti nepasiekti (rizikos vandens telkinių), būklė ir įvertinti jos pokyčiai dėl įgyvendintų priemonių. Šis monitoringas bus vykdomas ir Baltijos jūros pakrantėje, nes būtina užtikrinti naftos platformos D-6, Būtingės naftos terminalo ir dampingo vietų galimo poveikio Baltijos jūrai stebėjimą ir įvertinimą. Tarpinių vandenų veiklos monitoringas leis nepriklausomai vertinti ūkinės veiklos jūrų uoste poveikį Baltijos jūrai ir Kuršių marioms. Žemyninėje zonoje veiklos monitoringas bus vykdomas upėse, ežeruose ir tvenkiniuose, kuriems grės pavojus nepasiekti nustatytų vandensaugos tikslų.

Dirvožemio būklės stebėjimai. ES politika dirvožemio apsaugos atžvilgiu iki šiol nėra galutinai teisiškai sureguliuota. ES valstybėse dirvožemio apsauga buvo įgyvendinama netiesiogiai (per direktyvą 91/676/EEB ir kitas direktyvas, reglamentuojančias aplinkos

apsaugą nuo dumblo, atliekų ar integruotos taršos). 2003 metų Europos Komisijos pranešime dėl kompleksinės dirvožemio apsaugos strategijos formavimo akcentuojami ES valstybėms aktualūs pavojai dirvožemiui, o Lietuvai šiuo požiūriu aktualiausios organinės medžiagos praradimo, pasklidusios taršos, dirvožemio uždengimo ir erozijos grėsmės. Nacionalinė darnaus vystymosi strategija pabrėžia esamas ir tikėtinas grėsmes dirvožemio kokybei dėl natūralaus dirvožemio rūgštėjimo, taršos iš žemės ūkio ir didžiųjų stacionarių taršos šaltinių.

Nuolatiniai dirvožemio stebėjimai Lietuvoje pradėti 1992–1993 m. Miškų dirvožemio monitoringas – dedamoji *Tarptautinės bendradarbiavimo programos miškų būklei vertinti* (toliau vadinama – ICP Forests) dalis – vykdomas nuo 1992 m. 1993–2002 m. laikotarpiu buvo atlikti du 5 metų laukų dirvožemio kokybės pokyčių stebėjimų ciklai, kurių metu (kaip ir miškų dirvožemiams) įvertintos bendros dirvožemio savybės – reakcija, humuso, bendras ir judriųjų elementų – fosforo, kalio, kalcio, magnio, sieros, aliuminio – ir sunkiųjų metalų kiekiai, mainų katijonai skirtinguose dirvožemio sluoksniuose.

Naujojoje *Valstybinėje aplinkos monitoringo programoje* dirvožemio monitoringo srityje numatoma stebėti dirvožemio būklę ir poveikį jai, daugiausia dėmesio skirti rūgštėjimo, pasklidusios taršos, dirvožemio plotų užstatymo problemoms. Šioje Programoje numatyti dirvožemio organinės medžiagos stebėjimai, kurie įgalins surinkti informaciją apie organinės medžiagos mažėjimą viršutiniame derlingame dirvožemio sluoksnyje. Rūgštimumo parametrų grupė leis vertinti spartėjančią gamtinių priežasčių nulemtą dirvožemio (ypač dirbamų laukų) rūgštėjimo, kartu ir degradavimo procesą. Metalų, apibūdinančių pasklidąją taršą, matavimai sudarys galimybę iš esmės patikslinti

ir atnaujinti informaciją apie Lietuvos dirvožemių būklę (ypač apie sunkiųjų metalų kiekį dirvožemiuose) tarptautiniu lygiu. Be to, ši priemonė sudarys sąlygas vertinti galimą Ignalinos AE eksploatavimo nutraukimo poveikį dirvožemio būklei (jeigu pradėjus intensyviai eksploatuoti Elektrėnų šiluminę elektrinę regione padidėtų pasklidoji tarša sieros junginiais bei vanadžiu), taip pat reikšmingo taršos emitento – uždarnosios akcinės bendrovės „Mažeikių nafta“, skleidžiančio sieros junginius, vanadį, nikelį (tvarius teršalus, deponuojamus ir konservuojamus dirvožemyje), ūkinės veiklos poveikį dirvožemio kokybei regioniniu lygiu.

Programos įgyvendinimo metu būtina atlikti specialų tyrimą erozijos paplitimui įvertinti. Tai sudarytų sąlygas parengti nuotoliniais stebėjimo metodais ir matematiniu modeliavimu pagrįstą erozijos proceso plėtos ir intensyvumo vertinimo sistemą. Pagal šią sistemą, apimančią kraštovaizdžio, žemėnaudos ir kritulių kiekio dinamikos duomenis, gaunama informacija turėtų užtikrinti dirvožemių erozijos Lietuvoje žemėlapių aktualizavimą, erozijos raidos jautriausiose zonose prognozę ir erozijos valdymo priemonių identifikavimą.

Gyvosios gamtos būklės stebėjimai. Gyvosios gamtos tyrimai ir būklės vertinimas pasižymi didele įvairove ir yra itin sunkiai unifikuojami. Gyvosios gamtos komponentų sisteminė apsauga, paremta natūralių gamtinių buveinių išsaugojimu (tuo sudaromos sąlygos išsaugoti pačią biologinę įvairovę), – netradicinis aplinkosaugos požiūris, įtvirtintas direktyva 92/43/EEB. Ši direktyva numato Europos Bendrijos svarbos natūralių buveinių (beveik 200) ir augalų ir gyvūnų rūšių (maždaug 500) apsaugą suformuotame specialiaame teritorijų tinkle *Natura 2000*, kurio dalis yra ir specialios laukinių paukščių apsaugos teritorijos, reglamentuotos

direktyva 79/409/EEB. Šio tinklo užduotis – įgyvendinti sprendimu 1600/2002/EB patvirtintą pagrindinį artimiausio laikotarpio tikslą ir prioritetą gyvosios gamtos srityje: iki 2010 m. sustabdyti biologinės įvairovės nykimą ES teritorijoje. Opios išlieka ir gyvosios gamtos išteklių neracionalaus naudojimo, nevietinių invazinių rūšių, keliančių pavojų biologinės įvairovės kokybei ir žmonių sveikatai, plitimo problemos. Be kitų grėsmių, kylančių dėl ūkio subjektų veiklos, biologinę įvairovę reikia apsaugoti ir nuo genetiškai modifikuotų organizmų (toliau vadinama – GMO) plitimo aplinkoje. Tam tikslui būtina, atsižvelgiant į 2001 m. kovo 12 d. Europos Parlamento ir Tarybos direktyvos 2001/18/EB dėl genetiškai modifikuotų organizmų apgalvoto išleidimo į aplinką nuostatas, užtikrinti ūkio subjektų – GMO gamintojų ar importuotojų – aplinkos monitoringo vykdymą ir jo kontrolę, o prireikus atlikti nepriklausomą GMO grėsmės Lietuvos biologinei įvairovei įvertinimo tyrimą.

Lietuvoje nuo 1988 m. sistemingiau buvo vykdomi tik miškų būklės stebėjimai pagal *ICP Forests programą*, o kitų gyvosios gamtos komponentų būklės stebėjimai iki 1993 m. buvo fragmentiški. Nuo 1993 m. pagal pirmąją *Ekologinio monitoringo programą* pradėti vykdyti sistemingi atskirų gyvosios gamtos komponentų stebėjimai nebuvo reprezentatyvūs nacionaliniu lygiu, jie apėmė tik nedidelę dalį buveinių ir rūšių įvairovės, daugiausia dėmesio tradiciškai buvo skiriama miškams. Stebėjimų parametrai buvo orientuoti į taršos poveikį gyvajai gamtai, dalis gyvosios gamtos komponentų stebėti tik papildant fizinius ir cheminius kitų aplinkos sričių būklės rodiklius. *Valstybinėje aplinkos monitoringo 1999–2004 metų programoje* jau buvo paminėtos atskiros priemonės augalijos ir gyvūnijos būklei vertinti – miškų, pievų, pelkių, vandens, smėlynų, laukų ir retųjų augalų, žinduolių, paukščių,

žuvų, retųjų varliagyvių ir bestuburių būklės stebėjimai. Tačiau dėl lėšų stokos dalis sudėtingiausių stebėjimų – pvz., retųjų rūšių ir bendrųjų – taip ir nebuvo pradėta vykdyti, kai kurios priemonės įgyvendintos siauriau nei planuota. Šiuo laikotarpiu buvo sukaupta bazinė informacija apie svarbiausių gyvosios gamtos komponentų būklės pokyčius, tačiau įgyvendinant pagrindinį šiuo metu ES taikomą kompleksinio buveinių būklės vertinimo principą reikia iš esmės taisyti stebėjimų sąrašą ir struktūrą.

Daugelį priemonių, skirtų gyvosios gamtos būklei vertinti, sudaro stebėjimai, skirti Europos Bendrijai svarbių rūšių, buveinių ir migruojančių paukščių telkimosi vietų būklei vertinti. Šiose priemonėse nurodyti parametrai bus stebimi daugiau kaip 500 teritorijų (2.8 pav). Kaip tik ši Programos dalis turi užtikrinti, kad būtų sukaupta informacija, kuri sudarys sąlygas identifikuoti jau-

trausias Europos biologinės įvairovės sritis ir užkirsti kelią jos nykimui. Būdingųjų organizmų įvairovės, gausumo, buveinių ploto ir specifinių savybių, buveinių būklę sąlygojančių veiksnių pokyčių stebėjimų duomenys leis parinkti atitinkamas aplinkosaugos priemones, užtikrinančias tinkamą natūralių buveinių ir rūšių apsaugos būklę (tokią, kai buveinės plotas, rūšių ir populiacijų gausumas nekinta arba didėja, ir nėra pavojaus, jog išnyks buveinės struktūra ar funkcijos). Dar 68 teritorijos skirtos stebėti Europos Bendrijai svarbioms rūšims – upiniams bebrams ir vilkams, kurių medžioklei Lietuva yra gavusi išimtis, bet turi nuolat teikti informaciją apie jų būklę.

Paukščiai laikomi geru integruotu aplinkos kokybės indikatoriumi. Perinčių paukščių indikatorinių rūšių populiacijų gausos dinamika gali parodyti tiek palyginti staigius, tiek ir lėtus ilgalaikius aplinkos kokybės



2.8 pav. Preliminarus Natura 2000 teritorijų tinklas Lietuvoje (Aplinkos..., 2007)

pokyčius. Tokių pokyčių išaiškinimas, naudojant paukščius kaip biologinius objektus ir kaip ekosistemų komponentus, svarbus įvertinant tiriamų ekosistemų būklę ir jų kaitą, ūkininkavimo ekologiškumo laipsnį, aplinkos tinkamumą žmonėms bei aplinkosaugos būklę. Paukščių populiacijų foninis (ekologinis) monitoringas, naudojant taip vadinamą taškinių apskaitų metodą, vykdomas daugumoje Europos valstybių ir visose Europos Sąjungai priklausančiose šalyse. Lietuvoje vykdomas *Perinčių miškų ir laukų paukščių indikacinių rūšių gausumo monitoringas*, kurio tikslas įvertinti indikacinių miškų ir laukų paukščių rūšių populiacijų būklę bei jos kitimo priežastis.

Pagrindinis Lietuvos perinčių vandens paukščių monitoringo tikslas yra parengti ir realizuoti jo programą, objektyviai įvertinančią Lietuvos perinčių vandens paukščių populiacijų būklę ir jos raidą. Šis monitoringas pagal savo vietą europiniame kontekste priklauso gausiems nacionaliniams Europos monitoringams, kurie atliekami ne pagal unifikotą programą ir metodiką. Lietuvos perinčių vandens paukščių monitoringo programa ir metodika parengta laikotarpiu, kai dar tik ieškoma ornitologinių monitoringų unifikacijos į paneuropinį monitoringą. Tokį suvienodinimą sunkina taip pat didelė šlapumose perinčių vandens paukščių apskaitų sąlygų bei su jomis susijusių metodikų įvairovė. Nacionaliniai ir bendras europinis monitoringai turi savo privalumų ir trūkumų. Tarp pastarųjų ypač išskiriamas vietinių sąlygų ignoravimas, kai taikant standartines schemas prarandama dalis svarbios informacijos. Be to, nacionalinių monitoringų rezultatai yra pilnai lygintini. Sukūrus atitinkamus indeksus, galimas sėkmingas galutinių nacionalinių monitoringų rezultatų palyginimas, nesinaudojant pirminiais duomenimis, kurių analizė reikalauja griežtai unifikotos monitoringo schemos.

Lietuvos perinčių vandens paukščių monitoringo taškų skaičius jo vykdymo eigoje kito. Kai kuriais metais apskaitos buvo bent vienerius metus vykdytos 83 vietose, tarp jų 42 vietose pastoviai (2.9 pav). Kadangi dalyje vietų atskirais metais apskaitos buvo nevykdytos, taip pat prisidėdavo naujų vietų, tai jų skaičius atskirais metais svyruoja.

Didžiausia ekonominiu požiūriu vertinimų gamtinių išteklių būklės stebėjimo ir vertinimo sistemos dalis Programoje – miškų monitoringo priemonė, įgyvendinama pagal *Oro taršos poveikio Europos miškams monitoringo programos* ir 1994 m. balandžio 29 d. Komisijos reglamento (EB) Nr. 1091/94, nustatančio tam tikras išsamias Tarybos reglamento (EEB) Nr. 3528/86 dėl Bendrijos miškų apsaugos nuo oro taršos įgyvendinimo taisykles, nuostatas. Ši priemonė apims daugiau kaip 900 stebėjimo vietų tinklą. Tačiau jau 2007–2008 metais tikslinga iš naujo ją įvertinti, jeigu ir toliau didės miškų plotai. Ir toliau bus stebimi ekonominiu požiūriu svarbių rūšių gyvūnai (medžiojamieji kanišai, žvėrys ir žuvis), kurių gausumo pokyčius Europos aplinkos agentūra nurodė kaip vieną svarbiausių biologinės įvairovės būklės rodiklių. Pagal Tarptautinės jūrų tyrimų tarybos (ICES) ir HELCOM reikalavimus bei ES reglamentus nacionalinių kvotų nustatymui išplėstas žuvų monitoringas: įtraukti anksčiau pagal specialią programą vykdyti praeivių žuvų išteklių stebėjimai, taip pat žuvų migracijos per užtvankų pralaidas sėkmės stebėjimai. Įgyvendinant direktyvos 93/53/EEB nuostatas, nurodančias, jog būtina kontroliuoti žuvų užkrečiamąsias ligas natūraliuose vandens telkiniuose, numatyta vykdyti žuvų užkrečiamųjų ligų monitoringą. Pastaroji Programos priemonė leis sekti žuvų sergamumą vidaus vandenyse ir laiku užkirsti kelią ligų protrūkiams.

Iš buvusio ankstesnio augalijos monitoringo kaip savarankiška dalis Programoje



2.9 pav. Lietuvoje perinčių vandens paukščių monitoringo taškų tinklas 1999–2002 m. Apskritimai žymi visas vietas, kuriose bent vienerius metus buvo vykdytas monitoringas, pilni apskritimai išskiria tas vietas, kuriose monitoringas vykdytas pastoviai

išliko laukų augalijos monitoringas. Ši specifinė priemonė, derinama su ekosistemų būklės (šios Programos 6.5.4–6.5.6 punktai) stebėjimais, sudarys sąlygas vertinti agrarinio kraštovaizdžio, užimančio 2/3 Lietuvos teritorijos, augalinės dangos pokyčius ir suformuoti ekologinį pagrindimą ariamosios žemės konversijai (apsodinti miškais, atkurti pievas ir kt.).

Atsižvelgiant ir į Europos strategijos dėl invazinių nevietinių augalų ir gyvūnų rūšių projekto nuostatas, šioje Programoje patikslinta probleminėms rūšims skirta dalis; įtraukti svarbiausių invazinių augalų ir gyvūnų rūšių plitimo stebėjimai. Įvertinus šių rūšių plitimo vandens transportu veiksnio svarbą, jų stebėjimai suderinti su vandens būklės stebėjimo priemonėmis.

Kompleksinis gamtinių ekosistemų monitoringas. Šis monitoringas Lietuvoje or-

ganizuojamas pagal Lietuvos Respublikos Vyriausybės patvirtintą *Valstybinę aplinkos monitoringo programą*. Lietuvos integruoto monitoringo sistema yra Europos monitoringo sistemos, kuri funkcionuoja 22 Europos šalyse, dalis. Šios sistemos tikslas yra stebėti biotinių ir abiotinių komponentų pokyčius santykinai natūraliose ekosistemose.

Pagrindinis kompleksinio ekosistemų monitoringo tikslas – nustatyti, vertinti ir prognozuoti sąlygiškai natūralių ekosistemų būklę bei jos ilgalaikius pokyčius, įvertinus tolimų oro teršalų (ypač sieros ir azoto junginių) pernašų, ozono ir sunkiųjų metalų kaitą bei poveikį procesams, vykstantiems ekosistemose, atsižvelgiant į regioninius ypatumus ir klimato pokyčius.

Kompleksinio ekosistemų monitoringo programa yra viena iš tarptautinių aplinkos monitoringo programų, kurios buvo sukur-

tos siekiant užtikrinti *Tarptautinės tolimųjų užteršto oro pernašų konvencijos* įgyvendinimą. Kadangi stebint atskirus aplinkos komponentus yra pažeidžiamas aplinkos monitoringo kompleksiskumo principas ir sunku, o dažnai iš viso neįmanoma susieti stebėjimo rezultatų į vieną visumą ir nustatyti vykstančių antropogeninių pokyčių priežasčių bei numatyti tolesnių jų pasekmių, praeito amžiaus devintojo dešimtmečio pabaigoje buvo inicijuota nauja tarptautinė aplinkos monitoringo programa – kompleksinis ekosistemų monitoringas.

Planuojant *Valstybinės aplinkos monitoringo programas* apimtis pradinuose etapuose buvo planuota apimti įvairias – miško, vandens bei agroekosistemas, tačiau šiuo metu realiai funkcionuoja tik kompleksinė miško ekosistemų monitoringo programa, o kai kuriose šalyse, įskaitant Lietuvą, ir po 1–2 agroekosistemų kompleksinio monitoringo stotis.

Kompleksinis ekosistemų monitoringas yra pagrįstas mažų upelių baseinų koncepcija. Remiantis šia koncepcija, hidrogeologiniu požiūriu gana gerai izoliuoti mažų upelių baseinai iš esmės yra traktuojami kaip lauko laboratorijos, įgalinančios sekti teršiančių ir maistinių medžiagų srautus, kontroliuoti jų balansą ir stebėti, vertinti bei prognozuoti vykstančius antropogeninius ekosistemų pokyčius.

Pati mažo upelio baseino kaip elementaraus aplinkos monitoringo objekto idėja gimė Švedijoje. Atsižvelgiant į ryškų reljefą, seklių dirvožemį bei vandeniui nelaidžią (dažniausiai granitinę) dirvoderinę uolieną, šiaurinėje Skandinavijos dalyje atsiranda galimybė gana tiksliai nustatyti nedidelių upelių baseinų ribas ir į baseiną patenkančių bei iš jo išplaunamų medžiagų kieki. Bandant šią koncepciją perkelti į vidutines platumas, susiduriama su rimtais metodiniais sunkumais, nes lygumų kraštuose, kur dirvoderinės uo-

lienos vandeniui dažniausiai gana laidžios, baseinų hidroizoliacija ir medžiagų balanso įvertinimas yra gana problemiškas.

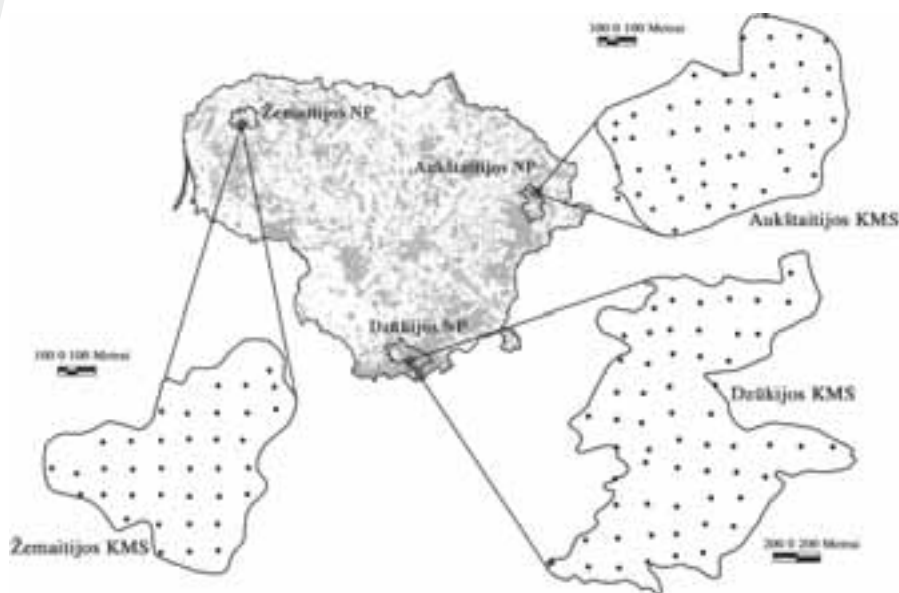
Nepaisant šių sunkumų, mažų upelių baseinų koncepcija įgauna vis platesnį pripažinimą ir taikymą. Dabartiniu metu *Tarptautinėje kompleksinio ekosistemų monitoringo programoje* dalyvauja ir duomenis programos duomenų centrui Helsinkyje teikia 22 Europos šalys ir Kanada. Lietuvoje ir kitose Baltijos šalyse kompleksinio aplinkos monitoringo stotys, padedant Šiaurės šalių ministrų tarybai, buvo įsteigtos 1992–1993 metais. Lietuvos kompleksinio ekosistemų monitoringo stotys įsteigtos miškingose Aukštaitijos, Dzūkijos ir Žemaitijos nacionalinių parkų teritorijose (2.10 pav.) ir gerai reprezentuoja pagrindinius Lietuvos kraštovaizdžio tipus.

Pagal *Kompleksinio ekosistemų monitoringo programą* stebimi aplinkos ir ekosistemų rodikliai parinkti taip, kad leistų įvertinti teršiančių ir maistinių medžiagų balansą bei nustatyti vykstančių antropogeninių pokyčių priežastinius ryšius.

Kadangi stebimose ekosistemose vyksta sudėtingi teršiančių ir maistinių medžiagų pasisavinimo, transformacijos ir pernešimo procesai pagal *Kompleksinio ekosistemų monitoringo programą* tenka stebėti ir vertinti ne tik medžiagų patekimo ir išplovimo iš baseino, bet ir vidinius medžiagų srautus. Be to, siekiant įvertinti vykstančių antropogeninių aplinkos pokyčių poveikį gyvajai gamtai, turi būti stebimi ir įvairūs biologiniai rodikliai.

Pagal *Kompleksinio ekosistemų monitoringo programą* stebimi šie rodikliai:

- Meteorologiniai rodikliai;
- Oro priemaišų cheminė sudėtis;
- Kritulių atviroje vietoje kiekis ir cheminė sudėtis;
- Polajinių kritulių kiekis ir cheminė sudėtis;
- Dirvožemio cheminė sudėtis;



2.10 pav. Lietuvos kompleksinio ekosistemų monitoringo stočių išsidėstymas

- Dirvožemio vandens cheminė sudėtis;
- Požeminio vandens cheminė sudėtis;
- Upelių tekančio vandens kiekis (debitas) ir cheminė sudėtis;
- Organinių nuokritų cheminė sudėtis;
- Sumedėjusios augmenijos kiekybiniai rodikliai ir rūšių įvairovė;
- Žolinės augmenijos gausa ir rūšių įvairovė;
- Upelių hidrobiologiniai rodikliai;
- Epifitinių kerpių gausa ir rūšių įvairovė;
- Sausumos žaliadumblių gausa;
- Mikrobiologinis dirvožemio aktyvumas ir dirvožemio faunos gausa.

Vykdam kompleksinę ekosistemų monitoringą dalyvauja daugelio Lietuvos universitetų ir tyrimo institutų specialistai bei kompleksinio monitoringo stotys yra vienas geriausių mokslinių aplinkos tyrimų ir aplinkos monitoringo racionalaus derinimo pavyzdžių.

Ekosistemų būklės stebėjimai. Europos Bendrijos valstybės 1979 metais pasirašė

Tolimųjų tarpvalstybinių oro teršalų pernašų konvenciją – vieną iš pagrindinių dokumentų, užtikrinančių ekosistemų apsaugą nuo oro teršalų Europoje ir Šiaurės Amerikoje. Konvencijos pagrindu 1988 metais inicijuotos 6 tarptautinio bendradarbiavimo programos, iš jų ir ICP IM programa, skirta nustatyti, įvertinti ir prognozuoti sąlygiškai natūralių ekosistemų būklę ir ilgalaikius jos pokyčius, atsižvelgiant į tolimųjų oro teršalų (ypač sieros ir azoto junginių) pernašų bei ozono ir sunkiųjų metalų poveikio regioninius ypatumus ir klimato pokyčius. ICP IM programos rezultatai taip pat sudarė sąlygas įgyvendinti *Tarpvalstybinių vandentėmių ir ežerų apsaugos bei naudojimo, Jungtinių Tautų klimato kaitos, Biologinės įvairovės konvencijų, Vienos konvencijos dėl ozono sluoksnio apsaugos* ir *Kioto protokolo* reikalavimus. Dabar ICP IM programoje dalyvauja ir duomenis Aplinkos duomenų centrui Helsinkyje reguliariai teikia 22 Europos valstybės ir Kanada (2.11 pav.).

Lietuva su kitomis Baltijos valstybėmis dalyvauja ICP IM programoje nuo 1993 m.



2.11 pav. ICP-IM programos stočių tinklas (Finland's ..., 2007)

Igyvendinant ICP IM programą, pagrindiniuose Lietuvos kraštovaizdžiuose, minimalaus antropogeninio poveikio vietose, nacionalinių parkų rezervacinėse zonose įsteigtos sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksinio monitoringo stotys. Per pastaruosius 10 metų šiame globalaus foninio monitoringo tinkle daugiausia dėmesio buvo skirta atmosferos teršalų ir iškritų, dirvožemio, gruntinio ir paviršinio vandens, dirvožemio cheminės sudėties, taip pat elementų akumuliacijos biotoje ir išplovimo stebėjimams. Taikoma baseino koncepcija leido kiekybiškai vertinti cheminių junginių srautus per ekosistemą, jų masės balansus ir poveikį biotai, gauti informacijos apie skirtingų ekosistemos kom-

ponentų pokyčius, jų priežastinius ryšius ir sąlygojančius veiksnius. Iš gautų rezultatų galima prognozuoti, kaip paveiktų ekosistemos būklę kintantys krūviai, susiformavęs kitoks medžiagų balansas, padidėjusi apkrova atskiruose ekosistemos komponentuose. Per minėtąjį 10 metų laikotarpį nustatytas sieros junginių koncentracijos ore sumažėjimas, lėmęs šių junginių kaupimąsi dirvožemyje, bendro sieros ir sulfatų kiekio dirvožemio, gruntiniame ir paviršiniame vandenyje sinchronišką kaitą. Tačiau nitratų koncentracija ore, dirvožemio, gruntiniame ir paviršiniame vandenyje išlieka stabili. Tai gi sąlygiškai natūralių ekosistemų būklės stebėjimai nacionaliniu lygiu suteikia duomenų

apie teršalų, kuriuos tolimosios oro pernašos atneša iš Vakarų ir Vidurio Europos valstybių į Lietuvą, ir klimato pokyčių įtaką silpnai antropogenizuotų teritorijų vandenų ir dirvožemio kokybei, biologinei įvairovei ir miško būklei. Be to, šie duomenys sudaro sąlygas fiksuoti galimą nacionalinių taršos šaltinių poveikio aplinkai pokytį.

Valstybinės aplinkos monitoringo programos sąlygiškai natūralių ekosistemų būklės stebėjimų priemonė yra viena pastoviausių, kadangi ši priemonė yra globalaus tinklo dalis, todėl čia pakeitimai griežtai ribojami. Dėl pastaruoju metu pakitusių sunkiųjų metalų kiekio biotoje normų šią priemonę numatyta papildyti sunkiųjų metalų poveikio aplinkai vertinimu, pradėti vykdyti sunkiųjų metalų iškritų atviroje vietovėje, koncentracijos lapijoje ir samanose paprogrames, taip pat ištirti rūgščiųjų iškritų poveikį augalams per dirvožemį ir tiesiogiai (vykdant lapijos cheminius matavimus).

Daugiau kaip pusę Lietuvos teritorijos sudaro žemės ūkio naudmenos, todėl agroekosistemų kompleksinių stebėjimų svarba neabejotina: beveik pusę upių vandens taršos maistinėmis medžiagomis sudaro pasklidoji tarša iš žemės ūkio plotų. Vandens kokybės stebėjimai daugelio upių aukštupiuose rodo, jog tarša nitratais didėja. Taigi pastaruoju metu vis aktualesnė tampa paviršinio vandens telkinių tarša maistinėmis medžiagomis iš pasklidosios taršos šaltinių. Be to, ji lemia didėjančią Baltijos jūros taršą, biologinės įvairovės ir agroekosistemų produktyvumo mažėjimą, šachtinių šulinių užterštumą pavojingais žmonių sveikatai nitratais. Sąlygas įvertinti pasklidąją taršą sudaro tik kompleksinis agroekosistemų monitoringas, sudarantis galimybes apskaičiuoti išplaunamų maistinių medžiagų kiekius, nustatyti, kokio masto poveikį vandens telkiniams lemia ūkininkavimas baseino teritorijoje, o dirvožemio savybių, žemės naudojimo ir maistinių

medžiagų balanso duomenys, sugretinti su šių medžiagų išplovimo duomenimis, leidžia nustatyti taršos šaltinius ir parinkti veiksmingiausias priemones žemės ūkio taršai mažinti.

Ekosistemų monitoringo dalis yra agroekosistemų monitoringas. Lietuvoje jis pradėtas 1994–1995 m. Daugiausia dėmesio buvo skiriama hidrologinių, cheminių vandens ir makrozoobentos parametrų stebėjimams, jie buvo derinami su žemės ūkio veiklos, sėtinių pievų bendrųjų struktūros, produktyvumo ir dirvožemio savybių pokyčių monitoringu. Ši lygiagrečių stebėjimų visuma įgalino vertinti visus agroekosistemų sąlygų pokyčius per ilgą laikotarpį.

Šios Programos priemonėje, skirtoje agroekosistemų būklei vertinti, akcentuojami maistinių medžiagų išplovų į upes, šachtinių šulinių būklės, makrozoobentos rūšių gausumo, sėtinių pievų produktyvumo stebėjimai. Šis monitoringas, vykdomas neatšiejamai nuo vandens būklės stebėjimo priemonių, sudarys sąlygas įgyvendinti direktyvą 2000/60/EB ir 91/676/EEB reikalavimus, *HELCOM 1988 metų Ministrų deklaracijos*, reikalaujančios iki 2010 metų sumažinti azoto ir fosforo išmetimą į Baltijos jūrą 50% (nuo 1990 m. lygio), nuostatas ir *Valstybinę vandenų taršos iš žemės ūkio šaltinių mažinimo programą*, patvirtintą Lietuvos Respublikos Vyriausybės 2003 m. rugpjūčio 26 d. nutarimu Nr. 1076 (Žin., 2003, Nr. 83-3792).

Agroekosistemų monitoringas. Optimalus agrokraštovaizdžio funkcionavimas socialiniu, ekonominiu ir ekologiniu aspektais įmanomas suderinus ir harmonizavus natūralios gamtinių procesų pusiausvyros ir antropogeninių veiksmų sąveikos sąlygas. Svarbu suderinti prieštarigus uždavinius: sumažinti ekologinę riziką antropogenizuotame kraštovaizdyje ir palaikyti produktyvumą dirbamoje žemės neprieštaraujant gamtosauginiams

interesams. Agroekosistema yra savita ekosistema, įtakojama mažiau ar daugiau intensyvos žemės ūkio veiklos. Lietuvoje žemės ūkio naudmenos sudaro virš 30 tūkst. kv. km., tad su šalia žemės ūkio naudmenų esančiais upeliais, pelkėmis ir miškeliais agroekosistemos apima daugiau nei pusė viso Lietuvos ploto, todėl agroekosistemų kompleksinių stebėjimų svarba neabejotina: beveik pusę upių vandens taršos maistinėmis medžiagomis sudaro pasklidoji tarša iš žemės ūkio plotų. Vandens kokybės stebėjimai daugelio upių aukštupiuose rodo, jog tarša nitratais didėja. Taigi pastaruoju metu vis aktualesnė tampa paviršinio vandens telkinių tarša iš pasklidosios taršos šaltinių maistinėmis medžiagomis. Be to, ji lemia didėjančią Baltijos jūros taršą, biologinės įvairovės ir agroekosistemų produktyvumo mažėjimą, šachtinių šulinių užterštumą pavojingais žmonių sveikatai nitratais. Sąlygas įvertinti pasklidąją taršą sudaro tik kompleksinis agroekosistemų monitoringas, leidžiantis apskaičiuoti išplaunamų maisto medžiagų kiekį, nustatyti, kokio masto poveikį vandens telkiniams lemia ūkininkavimas baseino teritorijoje, o dirvožemio savybių, žemės naudojimo ir maistinių medžiagų balanso duomenys, sugretinti su šių medžiagų išplovimo duomenimis, leidžia nustatyti taršos šaltinius ir parinkti veiksmingiausias priemones žemės ūkio taršai mažinti.

Lietuvoje agroekosistemų monitoringas vykdomas tik vienoje – Graisupio upelio – agroekosistemoje, kuri dažnai vadinama tiesiog agrostacionaru. LŽŪU Vandens ūkio institutas Graisupio upelio baseine nuolatinis vandens kokybės ir ūkinės veiklos stebėjimus pradėjo 1995–1996 metais. Ekologijos institutas Graisupio upelio bentofaunos monitoringą vykdė 1993 metais ir nuo 1998 metų vykdė iki šiol. Botanikos institutas sėtinų pievų žolyno monitoringo darbus nenutrūksta vykdo nuo 2001 metų. Čia monitoringo sistema įrengta ir darbai vykdomi

pagal *Tarptautinės integruoto monitoringo programos ir Valstybinės aplinkos monitoringo programos* reikalavimus bei remiantis mūsų ir kitų šalių patirtimi.

Agroekosistemų monitoringas yra svarbi aplinkos monitoringo dalis, nes jis padeda įvertinti agroekosistemų būklę, kaitą. Tai padeda nustatyti žemės ūkio veiklos poveikį aplinkai ir žemės ūkio vystymosi tendencijas žvelgiant iš aplinkosauginės pusės. Be to, agroekomonioringo vykdytojai tikisi, kad jų darbas padės priimti teisingus sprendinius aplinkos bei žemės ūkio politikos srityse, kad vystantis žemės ūkiui gerėtų ir gamtinė aplinka.

Agroekosistemų monitoringe daugiausia dėmesio yra skiriama hidrologinių, cheminių vandens ir makrozoobentos parametų stebėjimams, jie buvo derinami su žemės ūkio veiklos, sėtinų pievų bendrųjų struktūros, produktyvumo ir dirvožemio savybių pokyčių stebėsena. Ši lygiagrečių stebėjimų visuma leidžia vertinti visus agroekosistemų sąlygų pokyčius ekosistemai nuolat patiriant vienokę ar kitokią antropogeninę apkrovą. *Valstybinio aplinkos monitoringo programos* priemonėje, skirtoje agroekosistemų būklei vertinti, akcentuojami maisto medžiagų išplovų į upes, šachtinių šulinių būklės, makrozoobentos rūšių gausumo, sėtinų pievų produktyvumo stebėjimai.

Kraštovaizdžio būklės monitoringas. Po 1990 metų didelę įtaką kraštovaizdžiui daro žemės reforma: privačios žemės nuosavybės atkūrimas, sklypų dydžių, paskirties kaita. 1990–2004 m. sparčiai smulkėjo žemėvalda ir žemėnauda. Didėjant apleistos žemės plotams, pradėjo irti reikiamai neprižiūrimos melioracijos sistemos, krūmyti pievos ir ganyklos, prasidėjo savaiminė kraštovaizdžio renatūralizacija. Buvę žemdirbystės plotai, ekologinėms reikmėms anksčiau rezervuotos teritorijos vis intensyviau naudojama re-

kreacijai ir gyvenamosios paskirties pastatų statybai. Šie procesai keičia ekologiškai ir esetiškai vertingiausių teritorijų kraštovaizdį, kartu ir bendrą šalies kraštovaizdžio būklę.

Rinkos ekonomikos plėtra ir pagaliau atsiradusi galimybė turėti nuosavą būstą lėmė miestų žemės administravimo pokyčius. 1990–1995 m. plėtėsi didieji miestai. Nuolat didėja užstatyta teritorija. Klaipėdos valstybinio jūrų uosto rekonstravimas, Būtingės naftos terminalo statyba, rekreacinės infrastruktūros plėtra, gyvenamųjų namų statyba, sutapusi su ekstremaliais klimato reiškiniais, paskatino jūros krantų abraziją, ir per pastaruosius 5 metus prarasta apie 60 ha kranto.

Ant mažųjų upių atstatant buvusias užtvankas, kinta šių vandens telkinių hidrografinė struktūra ir hidrologinis režimas, užliejami sausumos plotai. Didėja durpių gavybos reikmės, todėl vėl imta aktyviau eksploatuoti durpynus. Be to, ūkinė veikla, žemės reformos procesai ir intensyvėjanti rekreacinė apkrova saugomose teritorijose apsunkino šių kompleksinei kraštovaizdžio apsaugai skirtų vietų tvarkymą ir apsaugą. Išlieka aktuali specifinė Šiaurės Lietuvos regiono problema: 1994–2003 metais dėl klimato kaitos ir antropogeninės veiklos čia suintensyvėjo karstiniai procesai, didėjo kraštovaizdžio sukarstėjimo laipsnis, blogėjo teritorijos naudojimo sąlygos ir požeminės hidrosferos gamtinė sauga.

Lietuvos kraštovaizdžio monitoringo metmenys buvo pateikti 1998 m. *Valstybinėje aplinkos monitoringo programoje*. Joje kraštovaizdžio monitoringą buvo numatoma orientuoti į žemės dangos analizę – pagrindinis Lietuvos kraštovaizdžio monitoringo objektas apibrėžtas kaip žemėnaudos kaita atskiruose žemėvaizdžių tipuose. Etaloninėse teritorijose, be žemėnaudos kaitos, numatoma stebėti, vertinti ir prognozuoti reljefo morfodinamiką bei erozijos procesus.

Tačiau iki šiol Lietuvoje dar nėra sis-

temingų kraštovaizdžio būklės stebėjimų, įgalinančių kaupti naujausią informaciją, įvertinti aplinkosaugos veikslių tikslumą ir efektyvumą. Nuo 1999 m. žemės dangos duomenys sistemingai kaupiami tik valstybės lygiu, vykdam *Tarptautinę Žemės dangos (CORINE Land Cover) programą*. Vietiniu lygiu yra kaupiama informacija apie vidinius ekosistemų kaitos aspektus, tačiau jos nepakanka kraštovaizdžio pokyčiams analizuoti ir prognozuoti. Duomenis apie Lietuvos žemės dangą turi pateikti kas 5 metai vykdomi europiniai *CORINE žemės dangos (CORINE Land Cover, CLC) projektai*. Kadangi antrasis projektas „Lietuvos CORINE žemės danga 2000“ užbaigtas tik 2004 m. pavasarį, kraštovaizdžio monitoringas yra dar tik užuomazgos būsenos. Yra daug neišspręstų klausimų (pvz., etaloninių teritorijų išskyrimas), todėl akivaizdu, kad Lietuvos kraštovaizdžio monitoringo struktūra dar nėra galutinai apibrėžta ir turėtų būti tobulinama. Regioniniu lygiu informacija apie kraštovaizdį, Žemės dangą ir žemėnaudą nebuvo kaupiama. Buvusi kraštovaizdžio monitoringo sistema (VAMP 1998) nesudarė sąlygų tiksliai formuluoti valstybines kraštovaizdžio apsaugos ir tvarkymo kryptis, nesuteikė išsamios informacijos, būtinos skirtingo lygio teritorijų planavimo dokumentams rengti, šios informacijos nepakanka kraštovaizdžio formavimo, tvarkymo, apsaugos ir atkūrimo darbams pagrįsti. Todėl 2005 VAMP priemonės iš esmės skiriasi nuo ankstesnės programos.

Kraštovaizdžio monitoringas yra glaudžiai susijęs su kita VAMP tema – kompleksiniu sąlygiškai natūralių ir agrarinių ekosistemų monitoringu. Tačiau minėtų ekosistemų monitoringas vykdomas palyginti nedidelėse teritorijose ir nėra orientuotas stebėti kraštovaizdžio struktūros pokyčius. Kraštovaizdžio ir ekosistemų monitoringo programas numatoma derinti taip, kad jos papildytų viena kitą.

Kraštovaizdžio būklės vertinimo priemonės šioje Programoje parinktos taip, kad būtų įvertinti kraštovaizdžio regioniniai ypatumai skirtinguose žemėvaizdžiuose, ekologinis jautrumas, tipas, problemiškas ir teritorinės aplinkosaugos priemonės. Nacionalinio lygio kraštovaizdžio būklės pokyčiai bus fiksuojami kaip ir anksčiau – naudojant Žemės dangos duomenų bazę ir nustatant kraštovaizdžio poliarizacijos laipsnį. Šios priemonės suteiks galimybę palyginti Lietuvos ir kaimyninių valstybių kraštovaizdžio struktūros pokyčių kryptis ir apimtį, sudarys sąlygas tarpvalstybiniu mastu derinti aplinkosaugos priemones. Regioninio lygio kraštovaizdžio būklės pokyčiai, galima kraštovaizdžio poliarizacijos ir Žemės dangos klasių teritorinio pasiskirstymo kaita bus fiksuojami regioninio rango monitoringo arealuose, atrinktuose kraštovaizdžio tipologinių vienetų, atitinkančių žemėvaizdžius, pagrindu, išanalizavus žemėvaizdžių žemėlapi, Žemės dangos duomenis ir geosistemų jautrumo poveikiui žemėlapių tarpusavio sąsajas. Vietiniu lygiu kraštovaizdžio monitoringas fiksuos naudmenų kaitą atrinktose teritorijose – etalonuose, atrinktuose geosistemų geofizinio–geocheminio jautrumo ir technogenizacijos pagrindu, tam papildomai naudojant technotopų žemėlapi. Atrenkant etalonus, pirmenybė bus suteikta jautriausio geopotencialo teritorijoms. Šioms priemonėms įgyvendinti turi būti parinkta bent 10 teritorijų, atsižvelgiant į kraštovaizdžio tipą, žemėnaudos intensyvumą ir struktūrą, melioracinę būklę, kokybinius žemės parametrus. Šios priemonės bus derinamos su dirvožemio būklės stebėjimais.

Speciali šios Programos priemonių grupė, skirta ypatingos svarbos teritorijų būklei stebėti ir vertinti, turėtų teikti esminę informaciją, leidžiančią užtikrinti pajūrio juostos, karstinio regiono ir saugomų vertingiausių kraštovaizdžio kompleksų darnią plėtotę ir

racionalų naudojimą, laiku parinkti jiems aplinkosaugos priemones.

2.3. Buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringas

Europinės svarbos saugomų teritorijų tinklas *Natura 2000* yra skirtas visos Europos mastu retų ar nykstančių gyvūnų ir augalų rūšių bei gamtinių buveinių apsaugai.

Buveinių apsaugai svarbios teritorijos – saugomos teritorijos, skirtos apsaugoti ir atkurti Europos Bendrijos svarbos natūralių buveinių tipus, saugomų gyvūnų ir augalų rūšių buveines dėl jų svarbos gyvūnų ir augalų rūšių išsaugojimui.

Paukščių apsaugai svarbios teritorijos – saugomos teritorijos, skirtos Europos Bendrijos svarbos laukinių paukščių rūšių natūralioms populiacijoms jų paplitimo arealuose išsaugoti, taip pat migruojančių paukščių perėjimo, šėrimosi, mitybos, poilsio ir migracijos susitelkimo vietoms išsaugoti, atsižvelgiant į reikmes konkrečiame jūros ar sausumos areale.

Už buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų apsaugos ir naudojimo režimą saugomose teritorijose, tinkamai organizuoti saugomų teritorijų valdymą ir tvarkymą, o taipogi už tinkamą rūšių ir buveinių būklę *Natura 2000* teritorijose yra atsakinga Valstybinė saugomų teritorijų tarnyba prie Aplinkos ministerijos (VSTT). Šios saugomos teritorijos yra identifikuojamos ir išskiriamos visuose Lietuvos regionuose.

Buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringo programa buvo parengta remiantis Lietuvos Respublikos aplinkos monitoringo, Lietuvos Respublikos saugomų teritorijų įstatymais bei kitais teisiniais aktais. Pagal šią programą monitoringas atliekamas visose Lietuvos Respublikoje įsteigtose Europos Bendrijos svarbos buveinių ir paukščių

apsaugai svarbiose teritorijose, įgyvendinant Europos Bendrijos direktyvas 92/43/EEB „Dėl natūralių buveinių ir laukinės faunos bei floros“ bei 79/409/EEB „Dėl laukinių paukščių apsaugos“.

Buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringo programa yra skirta buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringo uždaviniams, vykdymo tvarkai, ją organizuojančioms ir vykdančioms institucijoms bei surenkamų duomenų tvarkymui nustatyti. Iš esmės ši programa yra sudėtinė *Valstybinės aplinkos monitoringo programos* dalis, papildanti augmenijos ir gyvūnijos monitoringo dalį.

Buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringo tikslas – užtikrinti informacijos apie buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų bei jose saugomų rūšių ir natūralių buveinių būklę bei jos pokyčius surinkimą ir pateikimą atsakingoms nacionalinėms ir tarptautinėms institucijoms, kad būtų laiku ir tinkamai parengiami bei priimami būtini sprendimai, reikalingi saugomoms natūralioms buveinėms ir gyvūnų ar augalų rūšims išsaugoti, taip pat visuomenei informuoti apie šių buveinių ir rūšių būklę.

Šio tipo monitoringui yra keliami tokie pagrindiniai uždaviniai:

1. Sistemingai stebėti, analizuoti ir prognozuoti buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų bei jose saugomų rūšių ir natūralių buveinių būklę ir jos pokyčius;
2. Vertinti buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų apsaugos ir tvarkymo priemonių efektyvumą;
3. Vertinti natūralių ir antropogeninių veiksnių poveikį saugomoms rūšims ir natūralioms buveinėms buveinių ir paukščių apsaugai svarbiose teritorijose;
4. Teikti informaciją Europos Komisijai, atsakingoms nacionalinėms institucijoms, suinteresuotoms organizacijoms ir visuomenei.

Pagrindinė institucija, atsakinga už buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringą, yra Valstybinė saugomų teritorijų tarnyba prie Aplinkos ministerijos. Ji atsako už monitoringo įgyvendinimą ir koordinuoja jos vykdymą; tvirtina valstybinių rezervatų, valstybinių parkų ir biosferos rezervatų direktorių metinius veiklos planus, kuriuose numatomi metiniai monitoringo darbai, dalyvauja rengiant monitoringo ataskaitų formas ir monitoringo metodinius reikalavimus, kuriuose nustatomos stebėjimo vietos, apskaitų maršrutai, stebėjimo ir matavimo metodai, kiti detalūs reikalavimai atliekamiems stebėjimams, esant reikalui, organizuoja monitoringo struktūros pakeitimus arba teikia pasiūlymus dėl monitoringo struktūros pakeitimų bei tvarko šio monitoringo duomenis. Buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringo vykdytojai yra saugomų teritorijų direktijos ir Jūrinių tyrimų centras, vykstantis jūros buveinių monitoringą. Buveinių ar paukščių apsaugai svarbios konkrečios teritorijos monitoringą (išskyrus jūros buveinių) vykdo tam tikra saugomos teritorijos direkcija, įgaliota Saugomų teritorijų tarnybos.

Buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringo vykdytojai atlieka stebėjimus ir renka pirminius duomenis, atsaako už informacijos kokybę per visus darbų etapus (atliekant stebėjimus, matavimus, jei reikia, surenkant ėminius ir juos transportuojant, darant pirminę duomenų analizę). Projekto vykdytojai, jei reikia, monitoringo darbų vykdymui gali pasitelkti mokslo įstaigų ir organizacijų bei kitų juridinių asmenų specialistus ir kvalifikuotus darbuotojus.

Kai kurie natūralių buveinių ar saugomų rūšių monitoringo parametrai, pvz., vandens fizinės, cheminės, dinaminės savybės, vykstant buveinių ir paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringą, atskirai nenustatinėjami, jei reikalingi ir patikimi duomenys yra gaunami vykstant šiose vietovėse stebėjimus

pagal kitas *Valstybinės aplinkos monitoringo programos* dalis.

Buveinių ir paukščių apsaugai svarbiose teritorijose stebima šių objektų būklė ir jos pokyčiai:

1. Natūralių buveinių;
2. Saugomų rūšių.

Buveinių ir paukščių apsaugai svarbiose teritorijose saugomų natūralių buveinių būklė ir jos pokyčiai stebimi pagal 2.1 lentelėje pateiktą veiksmų planą. Tinkama natūralios buveinės apsaugos būkle jos apsaugai svarbioje teritorijoje laikoma tokia būklė, kai natūralios buveinės plotas nekinta arba didėja, kai egzistuoja ir tikėtina, kad neišnyks jos il-

galaikiam palaikymui būtina specifinė struktūra ir funkcijos, kai šiai buveinei būdingų rūšių apsaugos būklė yra tinkama.

Buveinių ir paukščių apsaugai svarbiose teritorijose saugomų rūšių būklė ir jos pokyčiai stebimi pagal 2.2 lentelėje pateiktą veiksmų planą. Tinkama rūšies apsaugos būkle jos apsaugai svarbioje teritorijoje laikoma tokia būklė, kai rūšies populiacijos pokyčiai rodo, kad populiacija pajėgi ilgą laiką išlikti kaip gyvybingas savo natūralios buveinės komponentas, ir kai rūšies individų gausa arba jų užimamas plotas saugomoje teritorijoje nemažėja ir nėra tikėtina, kad mažės, ir buveinė, kurioje populiacija galės išlikti ilgą laiką, yra ir, tikėtina, bus pakankamai didelė.

2.1 lentelė. Buveinių ir paukščių apsaugai svarbiose teritorijose saugomų natūralių buveinių stebėsenos veiksmų planas (Buveinių..., 2003)

Buveinės	Buveinių tipų kodai	Parametrai	Periodiškumas
Jūros buveinės	1110, 1170	Vandens fizinės ir cheminės savybės; dugno morfologija; charakteringų organizmų įvairovė ir gausumas	Ne rečiau kaip kas 3 metai
Upių žiotys ir lagūnos	1130, *1150	Vandens fizinės ir cheminės savybės; charakteringų organizmų įvairovė ir gausumas; augalų bendrijų struktūra ir išsidėstymas	Ne rečiau kaip kas 3 metai
Pajūrio ir žemyninių smėlynų buveinės	2110, 2120, *2130, *2140, 2170, 2190, 2320, 2330	Charakteringų organizmų įvairovė ir gausumas; buveinių užimamas plotas; fizinę aplinką formuojantys gamtiniai veiksniai	Ne rečiau kaip kas 3 metai
Ežerų buveinės	3130, 3140, 3150, 3160, 3190	Vandens fizinės ir cheminės savybės; charakteringų organizmų įvairovė ir gausumas; augalų bendrijų struktūra ir išsidėstymas	Ne rečiau kaip kas 3 metai
Upių buveinės	3260, 3270	Vandens fizinės, cheminės ir dinaminės savybės; charakteringų organizmų įvairovė ir gausumas; augalų bendrijų struktūra ir išsidėstymas	Ne rečiau kaip kas 3 metai
Viržynų ir krūmynų buveinės	4030, 5130	Charakteringų augalų įvairovė ir gausumas; augalų bendrijų struktūra; buveinių užimamas plotas	Ne rečiau kaip kas 3 metai
Pievų buveinės	*6120, 6210, *6230, 6410, 6430, 6450, 6510	Charakteringų augalų įvairovė ir gausumas; augalų bendrijų struktūra; buveinių užimamas plotas; 6430 ir 6450 buveinių papildomai stebimi fizinę aplinką formuojantys gamtiniai veiksniai	Ne rečiau kaip kas 3 metai
Pelkių buveinės	*7110, 7120, 7140, 7150, 7160, *7210, *7220, 7230	Hidrologinis režimas; charakteringų augalų įvairovė ir gausumas; augalų bendrijų struktūra ir išsidėstymas; buveinių užimamas plotas	Ne rečiau kaip kas 3 metai
Atodangų ir olų buveinės	8210, 8220, 8310	Buveinių užimamas plotas; paviršiaus morfologija	Ne rečiau kaip kas 3 metai
Miškų buveinės	2180, *6530, *9010, *9020, 9050, 9070, *9080, 9160, *9180, 9190, *91D0, *91E0, 91F0	Charakteringų augalų įvairovė ir gausumas; bendrijų struktūra ir išsidėstymas; buveinių užimamas plotas; *9080, 91D0, *91E0 ir 91F0 buveinių papildomai stebimas hidrologinis režimas	Ne rečiau kaip kas 3 metai

2.2 lentelė. Buveinių ir paukščių apsaugai svarbiose teritorijose saugomų rūšių stebėsenos veiksmų planas (Buveinių..., 2003)

Klasė arba tipas	Rūšių skaičius	Parametrai	Periodiškumas
1. Žinduoliai	8	Pėdsakų gausos indeksai; minimalus žvėrių skaičius; minimalus patelių su jaunikliais skaičius; gyvybinės veiklos žymių fiksavimas; bendras individų skaičius	1, 3 arba 5 metai priklausomai nuo rūšies
2. Ropliai ir varliagyviai	3	Veisimosi vietų skaičius; individų skaičius; buveinės savybių, kurios yra svarbios nagrinėjamai rūšiai, išsaugojimo laipsnis ir atkūrimo galimybės	Kasmet
3. Žuvis ir nėgės	11	Vandens fizinės ir cheminės savybės; nerštiečių skaičius; augalijos kiekis (%) ir užaugimo tipas jauniklių buveinėse; sedimentų kiekis; buveinės savybių, kurios yra svarbios nagrinėjamai rūšiai, išsaugojimo laipsnis ir atkūrimo galimybės	Kasmet
4. Bestuburiai	18	Buveinės savybių, kurios yra svarbios nagrinėjamai rūšiai, išsaugojimo laipsnis ir atkūrimo galimybės	Kasmet
5. Augalai	12	Individų gausumas, gyvybingumas ir fertilumas; populiacijos užimamas plotas; augavietės charakteristikos; buveinės savybių, kurios yra svarbios nagrinėjamai rūšiai, išsaugojimo laipsnis ir atkūrimo galimybės	Ne rečiau kaip kas 3 metai
6. Samanos	2	Individų gausumas, gyvybingumas ir fertilumas; populiacijos užimamas plotas; augavietės charakteristikos	Ne rečiau kaip kas 3 metai
7. Paukščiai:	112		
7.1. Globaliai nykstančių paukščių rūšių apsaugai svarbiose teritorijose	8	Porų skaičius; perinčių porų skaičius; vadų skaičius; maksimalus per vieną apskaitą užregistruotų paukščių skaičius; užimtų teritorijų skaičius; maksimalus giedančių patinų skaičius; buveinės savybių, kurios yra svarbios nagrinėjamai rūšiai, išsaugojimo laipsnis ir atkūrimo galimybės	Kasmet
7.2. Vandens paukščių telkimosi vietose	53	Maksimalus per vieną apskaitą užregistruotų paukščių skaičius; buveinės savybių, kurios yra svarbios nagrinėjamai rūšiai, išsaugojimo laipsnis ir atkūrimo galimybės	2, 3, 4 arba 5 metai priklausomai nuo rūšies
7.3. Vandens ir pelkių paukščių telkimosi vietose	62	Maksimalus per vieną apskaitą užregistruotų paukščių skaičius; buveinės savybių, kurios yra svarbios nagrinėjamai rūšiai, išsaugojimo laipsnis ir atkūrimo galimybės	Kas 5 metai
7.4. Paukščių migracijos srautų susiliejimo vietose	Migruojantys plėšrieji, gerviniai ir žvirbliniai paukščiai	Per sezoną užregistruotų paukščių skaičius; buveinės savybių, kurios yra svarbios nagrinėjamai rūšiai, išsaugojimo laipsnis ir atkūrimo galimybės	Kas 5 metai
7.5. Perinčių paukščių populiacijų apsaugai svarbiose vietose	46	Porų skaičius; lizdinių teritorijų skaičius; maksimalus giedančių patinų skaičius; perinčių porų skaičius; vadų skaičius; lizdų su jaunikliais skaičius; paukščių skaičius; didžiausias visas kolonijas kartu lankančių paukščių skaičius; buveinės savybių, kurios yra svarbios nagrinėjamai rūšiai, išsaugojimo laipsnis ir atkūrimo galimybės	1, 2, 3 arba 5 metai priklausomai nuo rūšies

Literatūra

- Aplinkos apsaugos agentūra (2007). *www.aaa.am.lt*
- Augustaitis A. ir kt. (2006). *Sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksiškas monitoringas: dešimtmečio rezultatai*. Vilnius.
- Buveinių ir Paukščių apsaugai svarbių teritorijų monitoringo programa (2003). Valstybės žinios, 2003 01 15, Nr. 4-161.
- Finland's Environmental Administration (2007). *http://www.environment.fi/*
- Gaigalis K. ir kt. (2005). Žemėnaudos, žemės ūkio veiklos, grunto bei paviršinio vandens ir kritulių cheminės sudėties monitoringas pagal agroekosistemų monitoringo programą. Tyrimų ataskaita. Kaunas.
- Girgždys A. (2000). *Aplinkos monitoringas*. Vilnius.
- Juknys R. (2005). *Aplinkotyra: bendrasis vadovėlis*. Kaunas.
- Kurlavičius P. ir kt. (2003). Perinčių miškų ir laukų paukščių indikacinių rūšių gausumo monitoringas: Mokslinio darbo ataskaita. Vilnius.
- Lietuvos Respublikos aplinkos monitoringo įstatymas (1997). Valstybės žinios, 1997 12 10, Nr. 112-2824.
- Mierauskas P. ir kt. (2000). Lietuvos ekologinio tinklo koncepcija ir jo sudarymo principai, *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 1(11), 3-13.
- Monitoring Ecosystems: Interdisciplinary Approaches For Evaluating Ecoregional Initiatives*. (2003). Bush D. E. and Trexler J. C. (eds.). Washington.
- Morgan R. K. (1999). *Environmental Impact Assessment: A Methodological Approach*. London.
- Naruševičius V. (2004). The Pilot Areas of Lithuania - Kretuona Lakeside Meadows and Svyla-Birvėta River Valley Junction Meadows. *Fair is the Blooming Meadow: a Study of Traditional Nordic and Baltic Rural Landscapes and Biotopes and their Survival in Modern Times*, 103-120.
- Pileckas M. (2004). Aplinkosauginių indikatorių taikymas Lietuvos kraštovaizdžio monitoringui: būklė, problemos, perspektyvos, *Geografijos metraštis* 37(1-2), 112-123.
- Raudonikis L. (2004). *Europos Sąjungos reikšmės paukščiams svarbios teritorijos Lietuvoje*. Vilnius.
- Sinkevičius S., Naruševičius V., Patapavičius R. (2001). Esamo mutabilumo lygio didėjimas Lietuvoje perinčių kolonijinių paukščių populiacijose Vakarų Europos ekosistemų taršos kontekste, *Aplinkos tyrimai, inžinerija ir vadyba* 3(17), 74-75.
- Stanevičius V. ir kt. (2003). Lietuvos perinčių vandens paukščių monitoringas: Mokslinio darbo ataskaita. Vilnius.
- Švažas S. ir kt. (2003). *Important Transboundary Belarusian-Lithuanian and Lithuanian-Russian Wetlands*. Vilnius.
- Valstybinė aplinkos monitoringo 2005-2010 metų programa* (2005). Valstybės žinios, 2005 02 10, Nr. 19-608.

3. Atmosferos ir hidrosferos monitoringas

Dabartiniai Žemės išteklių skaičiavimo ir valdymo centrai (klimato, kosminės erdvės, vandenyno, biosferos, Žemės gelmių ir kiti tyrimo centrai) kasdien sukaupia 10^5 – 10^8 vnt. duomenų, kurie vėliau apdorojami, tarpusavyje interpretuojami, „pririšami“ prie įvairių koordinačių tinklelių, perduodami į prognozavimo ir archyvavimo (kaupimo) padalinius, galiausiai patenka į elektronines duomenų bazes – ir pirminių, ir baigtinių (iki galo apdoroti, tinkami naudojimui net ir ne specialistams) duomenų pavidalu.

Tiek globalaus, tiek regioninio masto atmosferos ir hidrosferos monitoringo (stebėsenos) pagrindiniai uždaviniai yra šie:

- 1) aprūpinti visuomenę bei suinteresuotas žinybas (pavyzdžiui, karinę pramonę, priešgaisrinę tarnybą, transporto valdymo sistemas ir kt.) tiksliais aplinkos būsenos duomenimis;
- 2) užtikrinti visuomenės saugumą tiriant oro ar vandens kokybę ir perspėjant visuomenę apie galimus pavojingus ar katastrofinius reiškinius;
- 3) nuolat tiekti aplinkos duomenis skaitmeniniam aplinkos modeliavimui (įvesties ir (arba) išeities sąlygos);
- 4) gilinti žinias apie globalios atmosferos ir hidrosferos (kartu su biosfera) sandarą, kaitą ir galimą poveikį joms.

Iš keturių paminėtų uždavinių vis dėlto svarbiausi yra antrasis ir trečiasis, kadangi skaitmeninių modelių rezultatai pastaraisiais metais yra pagrindinis atmosferos ir hidrosferos parametrų prognozavimo įrankis. Dėl to nuo pradinių duomenų kokybės bei jų operatyvumo priklauso įvairių rūšių aplinkos sąlygų prognozių tikslumas ir savalaikis visuomenės informavimas.

Atmosferos ir hidrosferos monitoringą sudaro visų rūšių trimačiai meteorologiniai ir vandenyno paviršiaus bei gilesnių sluoksnių hidrofiziniai matavimai ir stebėjimai (kartu su distanciniais metodais), sausumos hidrologiniai, oro ir vandens kokybės stebėjimai, sausumos ir jūrinių ledynų parametrų nustatymas ir periodiniai tyrimai, požeminio vandens stebėjimai, aukštųjų atmosferos sluoksnių (mezosferos ir jonosferos) zonavimas, vandenyno priedugnio sluoksnio stebėjimai. Daugiau apie paskutines tris stebėjimo sistemas nebus rašoma, kadangi jos tiesiogiai susijusios su siaura geologijos ar fizikos mokslų šakų specifika.

Atskirai globalaus monitoringo daliai galima priskirti tik specialioms hidrosferos ir atmosferos parametrų ar reiškiniams skirtus tarptautinius monitoringo projektus, pavyzdžiui: Stratosferinis ozonas, Anglies apytaka tarp vandenyno ir atmosferos, El Ninjas ir kt.

3.1. Meteorologijos informacijos rūšys

Meteorologijoje informacijai keliami reikalavimai:

- a) duomenys surinkti iš ne mažesnės kaip 3000 x 3000 km teritorijos;
- b) stebėjimo punktai (stotys, postai, laivai ir kt. stebėjimo rūšys) vienas nuo kito ne daugiau kaip per 150–200 km;
- c) duomenų perdavimas į orų prognozavimo padalinius ne rečiau kaip 4–6 valandų intervalu.

Duomenys turi būti kompleksiniai, trimačiai, globalaus masto, reguliarūs ir operatyvūs bei vienalaikiai:

kompleksiniai – informacija turi aprėpti visus stebėtus elementus;
 trimačiai – duomenys turi apimti visus įmanomus atmosferos sluoksnius, įskaitant paribio sluoksnį ir laisvąją atmosferą iki maksimaliai galimo aukščio;
 globalūs – duomenys turi būti surinkti iš gerokai didesnės teritorijos negu regionas, kuriam sudaroma prognozė;
 reguliarūs – meteorologiniai stebėjimai turi būti atliekami nustatytais terminais;
 operatyvūs – duomenų perdavimo laikas iš stebėjimo punktų turi būti minimalus;
 vienalaikiai – visame sinoptinių stebėjimų tinkle stebėjimai turi būti atliekami vienu metu.

Meteorologijos informacijos sistemos:

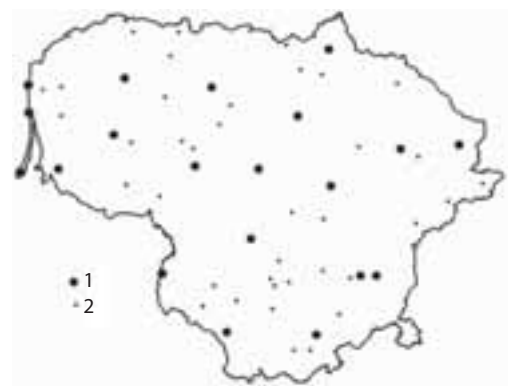
- 1) sausumos meteorologijos ir aerologijos stočių tinklas;
- 2) laivų ir plūdurių hidrometeorologinių stebėjimų tinklas;
- 3) meteorologinių radarų (radiolokatorių) stočių tinklas;
- 4) kosminė meteorologijos sistema;
- 5) aviacinė orų žvalgybos sistema.

Sausumos meteorologijos stotys, priklausančios sinoptinei stebėjimų (tarptautinei) sistemai, sinchroniškai vykdo stebėjimus 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 ir 21 val. Grinvičo laiku. Pagrindiniai stebėjimo terminai yra 0, 6, 12, 18 val. ir vadinami pagrindiniais sinoptiniais terminais. Kiti yra tarpiniai. Atmosferos reiškiniai stebimi nuolatos (nepertraukiamai).

2005 metais Lietuvoje veikė 67 meteorologinių matavimų stotys (3.1 pav.), iš jų 14 meteorologijos stočių (Biržų, Dotnuvos, Dūkšto, Kauno, Kybartų, Laukuvos, Lazdijų, Raseinių, Šiaulių, Telšių, Ukmergės, Utenos, Varėnos, Vilniaus), 2 kranto meteorologijos (Klaipėdos ir Nidos), 2 hidrometeorologijos (Panevėžio ir Šilutės) ir 2 aviacinės meteorolo-

logijos (Palangos, Vilniaus). Taip pat meteorologinius matavimus atlieka 10 paprastųjų klimatologijos stočių ir 37 vandens matavimo stotys (3.1 pav.).

Vienai meteorologinių matavimų stotiai tenka 973 km² (panašiai kaip XX a. penkto dešimtmečio viduryje). Pasaulinės meteorologijos organizacijos (PMO) rekomendacijomis, Lietuvoje turėtų veikti apie 650 kritulių matavimo stočių ir 26 meteorologijos stotys. Tuomet vidutinis vieno matavimo punkto reprezentuojamas plotas būtų apie 96 km². Lietuvos meteorologijos stočių ir postų tinklas yra rečiausias tarp Pabaltijo valstybių. Latvijoje veikia 22 meteorologijos stotys ir 60 postų (vienam punktui tenka 788 km²), Estijoje meteorologiniai matavimai vykdomi 58 punktuose (vienam tenka 780 km²).



3.1 pav. Meteorologinių matavimų tinklas Lietuvoje 2002 metais: 1 – stotys; 2 – stotys, veikiančios sutrumpinta matavimų programa

Aerologijos stotys atlieka vertikalųjų atmosferos zondavimą distanciniais prietaisais – radiozondais. Jie laisvosios atmosferos sluoksniuose fiksuoja atmosferos slėgį, temperatūrą, drėgnumą, vėjo greitį ir kryptį (iki 15–20 km aukščio, kartais ir aukščiau). Kadangi laisvojoje atmosferoje meteorologinių elementų kaita kur kas lėtesnė, tai aerologinis zondavimas atliekamas 0 ir 12 val.

Grinvičo laiku (pagrindiniai stebėjimai) ir 6 bei 18 val. (tarpiniai).

Labai svarbu meteorologijos stočių reprezentatyvumas. Reprezentatyvios būtų tos, kurios įsikūrusios būdingame tam regionui kraštovaizdyje. Dideliuose Žemės plotuose stočių tinklas yra labai retas – tai dykumos, poliarinės tundros, aukštikalnių regionai. Todėl vis daugiau įdiegiama automatinių ar pusiau automatinių stočių. Dar retesnis jų tinklas vandenynų akvatorijose. Šias akvatorijas reprezentuojančios stotys, esančios salose, nevisiškai tiksliai atspindi atmosferos virš gretimo vandenyno būvį. Be to, stebėjimus čia vykdo vadinamieji orų laivai, tačiau jų nėra labai daug. Jų duomenis papildo prekybiniai bei žvejybiniai laivai. Jų perduodamų duomenų trūkumas tas, kad šie laivai plaukioja tarptautinėmis trasomis arba bazuojasi žuvinguose rajonuose. Dreifuojančiųjų stočių (plūdūrų) teikiamų duomenų spraga ta, kad jos dažnai susitelkia seklumose, užtakiuose, sąsiauriuose, o perkėlinėti jas ekonomiškai neapsimoka.

Meteorologinių radarų stotyse nepertraukiamai stebima debesų ir kritulių zonos bei vėjo kryptis ir greitis (Doplerio radaras). Taigi galima nustatyti kamuolinių lietaus debesų, perkūnijos ir kritulių zonų koordinates ir intensyvumą, kadangi meteorologijos stotys jų nefiksuoja. Be to, radarais nustatoma debesų mikrostruktūra, vandeningumas, nulinės izotermos aukštis, kritulių tipas. Efektyvusis radarų stebėjimo spindulys siekia 150–200 km. Jie visiškai padengia visą Vakarų Europos teritoriją ir gelbsti sudarant ypač trumpos trukmės prognozes.

Meteorologinę kosminę sistemą sudaro meteorologiniai dirbtiniai Žemės palydovai (DŽP), kurie skrieja aplink Žemę įvairiomis orbitomis, bei jų antžeminiai valdymo ir kontrolės kompleksai, kuriuose, be kontrolės,

interpretuojami iš palydovų gauti duomenys. Meteorologiniuose DŽP yra specialios sistema daviklių, kurie priima Žemės ir debesų dangos vaizdus įvairiose elektromagnetinio spektro dalyse. Be to, šie palydoviniai instrumentai atlieka vertikalųjį atmosferos zondavimą. Ypač vertinga palydovinė informacija ten, kur meteorologijos ir aerologijos stočių tinklas retas. Keli palydovai gali teikti meteorologinę informaciją apie visą Žemės rutulį ir tuomet nereikia interpoliuoti duomenų. Geostacionarios orbitos palydovai perduoda informaciją beveik be perstojo (bent jau to siekiama), bet jų daviklių skiriamoji geba yra mažesnė negu poliarinėje orbitoje esančių palydovų. Tačiau virš konkretaus Žemės regiono kiekvienas jų būna tik du kartus per parą (išskyrus poliarines platumas).

Papildomas informacijos šaltinis pirminei meteorologinei informacijai – aviacinei orų žvalgybos sistema. Orų žvalgyba atliekama sraigtasparniais arba lėktuvais. Jų davikliai fiksuoja įvairius meteorologinius parametrus nustatytuose aukščiuose, taip pat atliekamas vizualus orų būklės įvertinimas, kurį sudaro įkypojo matomumo nustatymas, apledėjimo, blauskos, fazinės debesų struktūros, debesų apatinės ir viršutinės ribos aukščio įvertinimas ir kt.

3.2 Meteorologijos informacija skaitmeniniams modeliams

Skaitmeninėms prognozėms svarbiausia yra Žemės rutulio padengimo meteorologiniais stebėjimais laipsnis, dažnis, tikslumas ir operatyvumas. Orų prognozavimą lemia reguliarūs meteorologiniai stebėjimai. Kiekvienu matavimo terminu, kurie yra unifikuoti pagal Pasaulinės meteorologijos organizacijos (PMO) nuostatus, gauti duomenys yra apdorojami, koreguojami ir tikrinami.

Meteorologinių stebėjimų rūšys:

1) reguliarūs stebėjimai prie paklotinio paviršiaus;

A	Pagrindinių sausumos meteorologijos stočių duomenys (LND SYN – taip vadinamos sinoptinės stotys, kurių duomenys operatyviai naudojami prognozėse) bei kitų (klimato) stočių duomenys, kurie reikalingi vietinėms orų ir klimato ypatybėms nustatyti (jų duomenys bent trumpalaikėms prognozėms ir duomenų suderinimui nenaudojami). Ypač svarbūs duomenys iš automatinių stočių oro ir jūriniuose uostuose (3.2 pav.).
B	Jūrinės kranto automatinės stotys (CMAN – Coastal Marine Automated Network) papildo sausumos stočių meteorologinių stebėjimų tinklą bei reprezentuoja pajūrio (ežero pakrantės) mikroklimatą, teikia duomenų apie priežemio oro sluoksnio struktūrą. Veikia tik JAV.
C	Stebėjimai iš laivų bei fiksuotos padėties (įgręžtų) plūdurių (SHPSYN). Pirmuosius vykdo: savanoriškų stebėjimų laivai (VOS – Volunteer Observing Ships), turintys galimybę vykdyti stebėjimus laivai (SOOP – Ship-of-Opportunity Programme) bei specializuotų tyrimų laivai. Antrajai grupei taip pat priklauso prekybiniai laivai, kurie reguliariai plaukioja strateginiais maršrutais ir savanoriškai vykdo stebėjimus. Jie dažniausiai nesustoja stebėjimų metu, o plaukia iki 25 mazgų greičiu. Be meteorologinių, šie laivai atlieka ir hidrologinius stebėjimus. Stacionarus plūdurai dažniausiai įrengiami probleminiuose rajonuose (naftos gavybos vietos, jūrinių srovių, galimų cunamių ir kitos vietos) bei pagal specialias klimato tyrimo programas – El Ninjo, Tropinio Atlanto, Šiaurinėje Indijos vandenyno dalyje ir kituose rajonuose.
D	Automatiniai stebėjimai iš dreifuojančių kartu su jūrų srovėmis plūdurių (BUOY). Didžiausias jų trūkumas – tai, kad jie po tam tikro laiko telkiasi seklių arba silpnų vėjų rajonuose ir juos tenka perkelti (3.3 pav.).

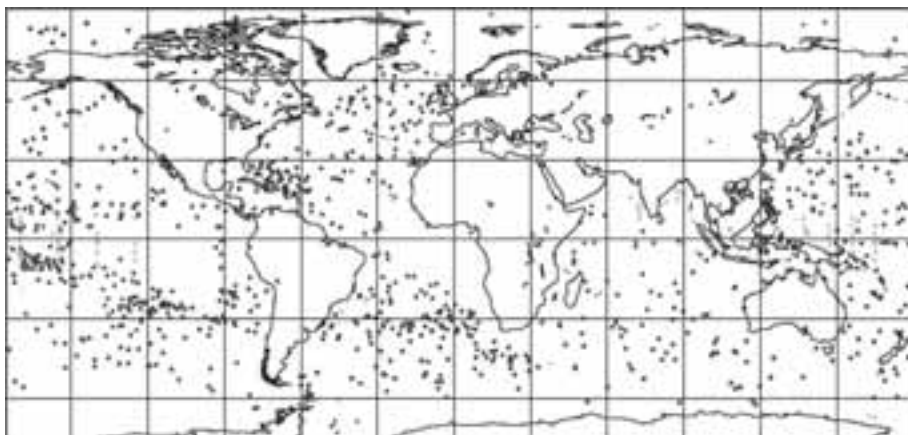
2) reguliarūs aukštesniųjų atmosferos sluoksnių stebėjimai;

A	Oro temperatūros, drėgnumo ir vėjo profilių matavimai radiozondavimu iš sausumos aerologijos stočių (TEMP LAND) (3.4 pav.).
B	Oro temperatūros, drėgnumo ir vėjo profilių matavimai radiozondavimu iš laivų (TEMP SHIP).
C	Oro temperatūros, drėgnumo ir vėjo profilių matavimai radiozondavimu iš mobiliųjų zondavimo stočių (TEMP MOBILE). Jos dažniausiai naudojamos mezomasto procesams tirti (ypač JAV).
D	Vėjo profilių matavimai radiozondavimu iš sausumos stočių (PILOT LAND).
E	Vėjo profilių matavimai radiozondavimu iš laivų (PILOT SHIP).
F	Vėjo profilių matavimai iš mobiliųjų zondavimo stočių (PILOT MOBILE). Jos dažniausiai naudojamos mezomasto procesams tirti (ypač karinėje ir sportinėje aviacijoje).
G	Temperatūros, drėgnumo, slėgio ir ypač vėjo matavimo zondai, paleidžiami iš lėktuvų (DROPSOND). Jie registruoja minėtus parametrus tarp skrydžio lygio ir paklotinio paviršiaus, vėjo vektorius nustatymui naudoja Globaliąją koordinacijų nustatymo sistemą (GPS) pagal Doplerio poslinkį. Zondo judėjimą lemia horizontalaus vėjo greitis ir kryptis atskiruose sluoksniuose, kai jis leidžiasi 10 m/s greičiu. Vertikalioji parametrų registravimo skiriamoji geba – 5 m. Dažniausiai naudojami mezomasto sinoptinių procesų atogrąžų ir galingų vidutinių platumų ciklonų bei viesulų tyrimui.
H	NOAA vėjo profiliuokliai (WINPRO) – tai vertikaliųjų horizontalaus vėjo profilių (greičio ir krypties) nuo paviršiaus iki tropopauzės matavimo įranga. Šia įranga iš stebėjimų tinklo visoje JAV teritorijoje teikiama informacija JAV valstybės institucijoms ir universitetams, privatiems meteorologams, NCEP1 (šios ir kt. santrumpų paaiškinimai pateikti skyriaus pabaigoje), SPC2 ir NWS3 centrams JAV bei pagal sutartis užsienio prognozavimo tarnyboms. Ši sistema įdiegta 1990–1992 metais ir kol kas operatyviai veikia tik JAV.

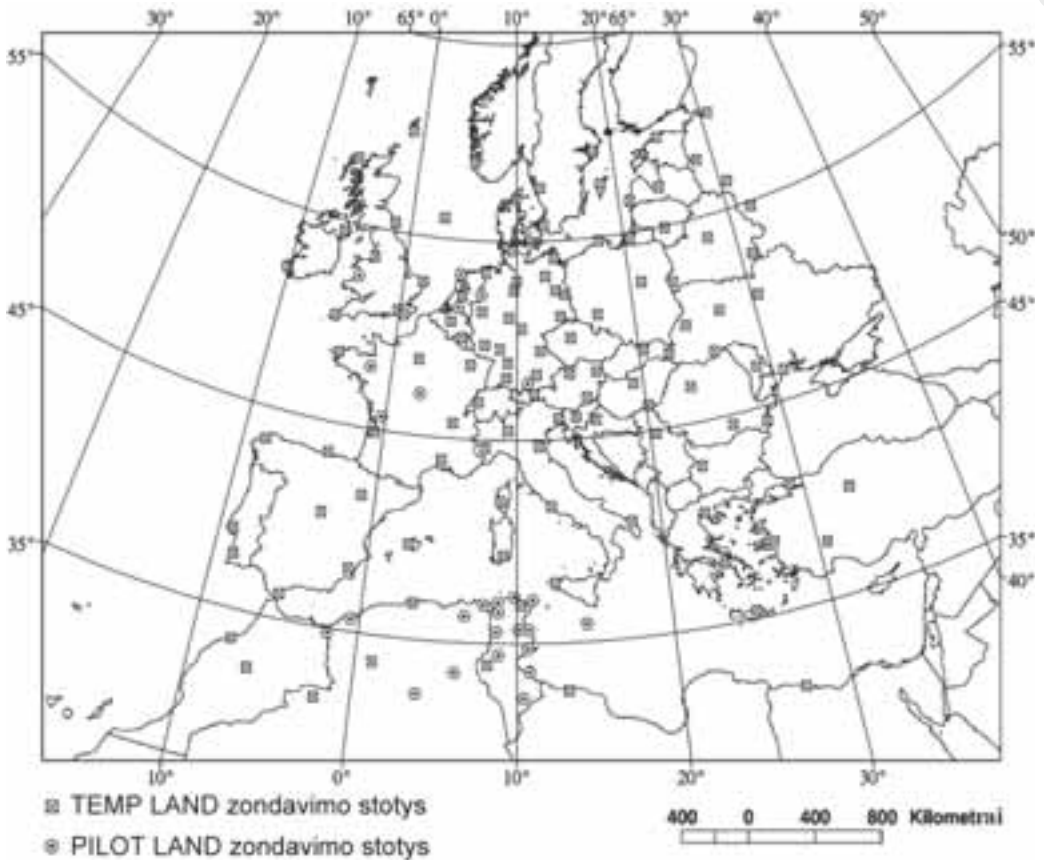
3) reguliarūs aukštesniųjų atmosferos sluoksnių zondavimas iš patobulintų TIROS4 tipo palydovų (ATOVS5). Atmosferos zondavimas mikrobangų ir infraraudonųjų (taip pat artimų infraraudonosios bangų diapazone iš NOAA ir METOP palydovų AMSU, HIRS/36 zondavimo sistemomis išgaunant temperatūros ir drėgnumo profilius nuo paribio sluoksnio iki vidurinės stratosferos sluoksnių;



3.2 pav. Sausumos stočių (SYNOP), tarp jūr oro uostų (METAR) ir laivų, perdavusių matavimo duomenis 2005 m. vasario 28 d. 00 GL, padėtis (ECMWF Newsletter..., 2006).



3.3 pav. Perduodančių matavimo duomenis plūdurių (viršuje) ir reisinių bei karinių lėktuvų (apačioje) 2005 m. vasario 28 d. 00 GL padėtis (ECMWF Newsletter..., 2006).



3.4 pav. Veikiančios aerologijos stotys Europoje, 2001 metų duomenys (Acquisition of GTS..., 2004)

4) matavimai iš lėktuvų;

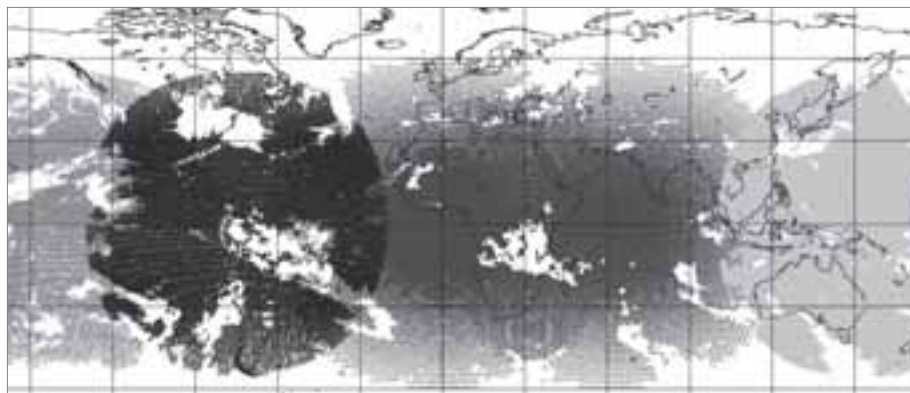
A	Duomenys, perduodami iš lėktuvų, kuriuose įrengtos ASDAR7 ar ACARS8 duomenų registravimo ir kaupimo sistemos. Tai lėktuvo borto davikliai, skrydžio metu automatiškai registruojantys meteorologinius bei navigacinius parametrus, kurie automatizuotai telegramomis perduodami geostacionarių palydovų, esančių lėktuvo radijo bangų matymo lauke, sistema (METEOSAT, GOES, GMS). Duomenys renkami kas 7 minutės, t.y. nuskrudus maždaug 110 km. Kylant ir leidžiantis rodiklių registravimas dažnesnis – maždaug 10 stebėjimų kas 10 hPa iki 1000 m aukščio, žemiau – kas 50 hPa.
B	Fiksuoto skrydžio lygio meteorologiniai pranešimai – automatiniai ir vizualūs (AIREP9). Šie duomenys (dažniausiai vėjo, temperatūros ir turbulencijos intensyvumo) registruojami fiksuotuose ilgumos ir platumos kirtimosi taškuose (pavyzdžiui kas 10° ilgumos) aukščiau 400 arba 300 hPa lygio.

5) vėjo matavimai iš geostacionarių palydovų (3.5 pav.) atmosferos judėjimo vektorių (AMV) metodu pagal debesų (pavienių, gardelių, sistemų) dreifą;

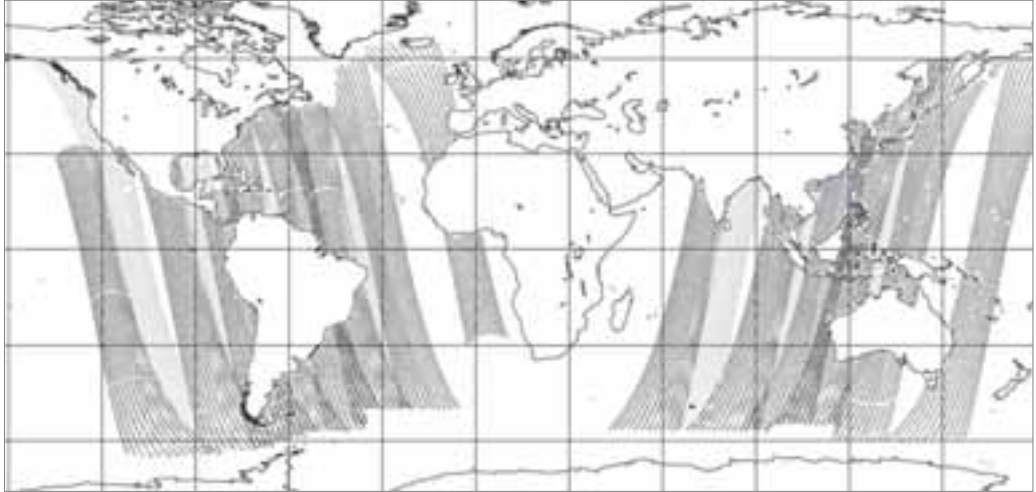
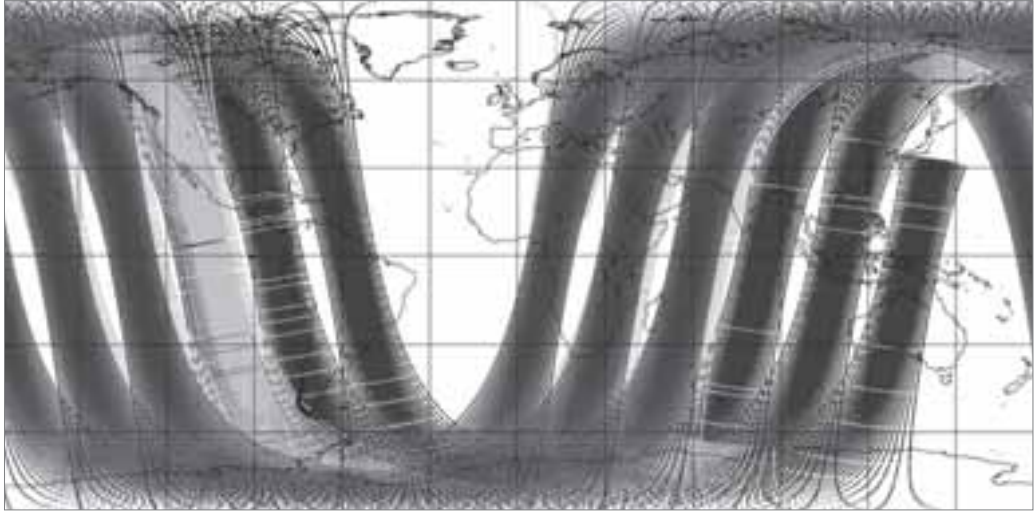
A	SATOB10; tai bendrinis visų stebėjimų AWW metodu pavadinimas, tačiau pagal PMO nuostatus priskirtas tik Japonijos geostacionariam palydovui GMS.
---	--

B	GOESAMW11; GOES serijos palydovų (GOES-10, GOES-12) debesų dreifo stebėjimai Amerikos–Ramiojo vandenyno sektoriuje (JAV NOAA).
C	METEOSAT palydovų davikliais gaunami vėjo duomenys regimųjų (ESAHRVW), infraraudonųjų (ESACMW) ir vandens garų sugėrimo diapazonuose (ESAHRVWV), koduojami BUFR12 programine įranga ir perduodami per EUMETSAT ryšio tinklus.

- 6) ryškio temperatūros duomenys gaunami nuo atmosferos sluoksnių, vandenyno ir debesų paviršių mikrobangų diapazone iš DMSP13 programos palydovų SSMI/I14 daviklių. Specialiais algoritmais ryškio temperatūros konvertuojamos į paviršiaus vėjo greitį, vandens garų koncentraciją oro stulpe, debesų skystosios fazės (vandeningumo) ir kritulių intensyvumą (3.6 pav);
- 7) vėjo virš vandens paviršiaus vektorių nustatymas skaterometro skenavimo duomenimis (Sea winds scat) ne arčiau kaip 50 km nuo krantų. Matuojama iš NSCAT (JAV), ERS (Europos Sąjunga) ir ADEOS (Japonija) tipo palydovų. Vėjo vektorius gaunamas siunčiant palydovinio radaro spindulį skirtingais azimuto kampais į sklindančias paviršiaus bangas ir skaičiuojant siūsto signalo sklaidos atgal intensyvumą, kartu taikant ir geofizinį modelį. Duomenys gaunami iš vandenynų (jūrų) sektoriaus, virš kurio praskriejo palydovas ir jeigu tame sektoriuje nėra kritulių.



3.5 pav. Žemės paviršiaus temperatūros iš geostacionarių Žemės palydovų (viršuje) ir vėjo virš jūrų duomenų, išmatuotų skaterometrais, įrengtais QuickScat ir ERS22 tipo palydovuose (apačioje), priskirtų 2005 m. vasario 28 d. 00 GL momentui, padėtis (ECMWF Newsletter..., 2006)



3.6 pav. Palydovų AMSU21 radiometrais (viršuje) ir SSM/I davikliais (apačioje) mikrobangų diapazone vykdytų stebėjimų, priskirtų 2005 m. vasario 28 d. 00 GL momentui, padėtis (ECMWF Newsletter..., 2006).

Daugiausiai duomenų gaunama iš sausumos meteorologijos stočių, nes jų tinklas yra tankiausias. Duomenų erdvinė sklaida ir dažnis laike priklauso nuo daugelio veiksnių:

- didžiausias duomenų kiekis gaunamas iš sausumos meteorologijos stočių ir aerologijos stočių tankiausiai gyvenamuose regionuose – Vakarų ir Centrinės Europos, rytinės ir vakarinės JAV pakrantės, Didžiųjų ežerų, Pietryčių Kanados, Japo-

nijos, Rytų ir Pietryčių Kinijos. Tą patį galima pasakyti ir apie radiozondavimo stotis. Duomenys į pasaulinius ir regioninius paskirstymo centrus patenka iš automatinių stočių, įrengtų dažniausiai aerouostuose (tačiau pastarųjų duomenų kokybė yra prastesnė už aptarnaujamųjų),

- matavimai iš laivų tankiausi pagrindiniuose jūrų prekybos keliuose, intensyvios žvejybos rajonuose,

- c) matavimų iš lėktuvų didžiausias tankis ten, kur eina pagrindiniai tarptautiniai ir kontinentiniai aviacijos maršrutai,
- d) viena pažangesnių stebėjimų sistemų – WINPRO¹⁵, kol kas įdiegta tik JAV, tačiau ji teikia dažnų ir geros skiriamosios gebos matavimų duomenų,
- e) temperatūros, drėgnumo ir vėjo profilių iš poliarine orbita skriejančių palydovų matavimo laikas priklauso nuo palydovų orbitos parametru ir skrydžio virš tam tikro rajono laiko momento,
- f) geostacionarių palydovų AMV¹⁶ vėjo duomenys dabar gaunami kas 15 minučių, tačiau tiksliausiai rodikliai matuojami arčiau pusiaujo ir ten, kur nuolatos juda įvairių aukštų debesys (pasatų sistemos, TKZ¹⁷, vidutinių platumų ciklonai virš jūrų ir pan.) ir nėra foninių trukdžių (pvz., sniego dangos).

Milžiniška apimtis meteorologijos informacijos, kuri surenkama tam tikrais stebėjimo terminais arba laiko momentais, valdoma sudėtinga duomenų kaupimo ir saugojimo įranga bei programine įranga. Pigiausia perduoti užkoduotus duomenis. Dabar naudojama keliolika skaitmeninių kodų rūšių – antžeminiams stebėjimams, zondavimo stotims, matavimams iš laivų ir plūdurių bei kitų šaltinių. Visi šie kodai yra unifikuoti ir PMO¹⁸ patvirtinti. Dalis duomenų, tokių kaip pirminio apdorojimo sinoptiniai žemėlapiai, faksogramos formatu perduodami iš specializuotų centrų į regioninius prognozių centrus ar nacionalines meteorologijos tarnybas.

Reguliarūs stebėjimai iš palydovų gali būti saugojami įvairiais formatais, tarp jų kaip apdoroti ar neapdoroti vaizdai, dvejetainių kodų pavidalu ar unifikuotų kompiuterinių bylų (pavyzdžiui, HDF¹⁹) formatu. Labiausiai paplitęs ir prieinamas meteorologinių duomenų gavimo būdas – tai įvairios

skiriamosios gebos atmosferos cirkuliacijos modelių išeities duomenys, saugojami ir perduodami kaip žemėlapiai, specializuoti koordinačių tinklelio duomenys (GRIB²⁰) ar dvejetainės sistemos bylos.

Kasdien daugiau kaip 5000 sinoptinių stebėjimų (sinoptiniais terminais vykdomi stebėjimai meteorologijos stotyse, laivuose, informacija iš dreifuojančių ir stacionarių plūdurių), taip pat įvairūs nesinoptiniai stebėjimai (stebėjimai, nesutampantys su sinoptiniais terminais: lėktuvų pranešimai, radarų ir automatinų meteorologijos stočių bei iš palydovų atliekamų stebėjimų duomenys) patenka į regioninius prognozavimo centrus, pvz., Vokietijos orų tarnybą (DWD) ar Jungtinės Karalystės meteorologijos tarnybą (UKMO).

Operatyvus stebėjimų duomenų panaudojimas orų prognozėms visuomet priklauso nuo laikotarpio technologijos pažangos. XIX a. pabaigoje–XX a. pradžioje kai kuriose tų laikų išsivysčiusiose šalyse, pvz., JK, JAV, Vokietija, PAR, matavimų duomenys patekdavo į žemėlapius tik po kelių parų. Dabar per kelias valandas gauti iš skirtingų šaltinių, skirtingu laiku ir skirtingo tikslumo stebėjimų duomenys yra ne tik ištaisomi, bet ir suderinami tarpusavyje bei su vadinamuoju pradinio bendrosios atmosferos cirkuliacijos modelio (GCM) ar modelių lauku ir parengiami prognozavimui. Dabartinėmis technologijomis įmanoma ne tik pagal stebėjimo duomenis prognozuoti, bet ir tikrinti stebėtojų darbą ar stebėjimo kokybę naudojantis GCM ankstesnio termino prognozinais laukais bei kai kurių ryšių palydovine informacija. Ryšio technologijų panaudojimo stebėjimų duomenų apdorojimui ir perdavimui atvejai pateikti 3.1 lentelėje.

3.2 lentelėje pateikiamas tokių duomenų srauto ir tipų pavyzdys. Visi šie duomenys perduodami per globalią telekomunikacijų sistemą (GTS), kurios viena dedamųjų dalių

yra METEOSAT geostacionarus palydovas. Visos parengiamosios duomenų procedūros, būtent, duomenų priėmimas, kokybės kontrolė ir dekodavimas, yra visiškai automatizuotos.

Globalių duomenų analizė prognozių centruose vykdoma nuolat, kas 6 valandos papildžius ją naujais duomenimis (3.2 lentelė). Pirmiausia analizuojama teritorija padengima vėliausia trumpalaikiu globaliu (tam tikro meteorologinio parametro) prognozinio lauku. Šis yra tarsi „pirmojo spėjimo“ laukas kitai analizei. Pavyzdžiui, jeigu

tropinis ciklonas susidarė vakarinėje Šiaurės Atlanto dalyje, pirmiausia skaičiuojamas fiktyvus tokio ciklono profilis, ir šis profilis vėliau asimiliuojamas 3DVAR²³ metodu kaip eilinis stebėjimas kartu su stebėjimo paklaida, kuri nustatoma statistiniais metodais. Vėliau geriausio atitikimo „pirmojo spėjimo“ laukui variantas ir asimiliacija 3DVAR pagrindu leidžia sudaryti naują analizę, kurioje egzistuoja jau „subalansuoti“ vėliausios prognozės ir naujausių stebėjimų duomenys su ištaisytais stebėtojo paklaidomis.

Sunkiausia į naują analizę įtraukti ne-

3.1 lentelė. Meteorologinių stebėjimų sistemų vystymosi schema (Houghton, 2001)

Orų stebėjimo sistema	Pirminė technologija duomenų gavimui, perdavimui ir (arba) apdorojimui	Data	Išvystyta mokslo šaka, galutinis rezultatas
Sausumos meteorologijos stočių tinklas	Telegrafas	1870	Sinoptinė meteorologija
Oro balionai – zondai	Radio bangos	1939	3 dimensijų atmosferos struktūra
Radarai	Magnetron, radijo bangos	1942	Audrų, galingų konvekcinių debesų, apledėjimo židinių debesyse ir kritulių laukų dinamika bei vystymasis
Skaitmeniniai orų modeliai (NWP)	Pirmieji kompiuteriai	1948	Automatizuotas prognozių sudarymas ir valdymas
Meteorologiniai (dirbtiniai Žemės) palydovai	Raketinė pramonė	1960	Regioninio ir globalaus masto atmosferos, vandenyno ir sausumos struktūrų nuotolinis monitoringas

3.2 lentelė. Vidutinis stebėjimų duomenų srautas ir tipas, 2005 metais persiunčiamas globalia telekomunikacijų sistema (GTS) per 24 val. į globalius prognozavimo centrus (sudaryta pagal ECMWF 2005 metų ataskaitos duomenis)

Eil. Nr.	Duomenų tipas		Duomenų srautas vnt./dieną	% duomenų, panaudotų skaitmeninėse prognozėse
	Tarptautinis žymėjimas	Stebėjimų pavadinimas		
1	SYNOP/ SHIP	Meteorol. stotys, laivai	42 500	49
2	BUOY	Plūdurai	7782	84
3	TEMP/ PILOT	Radiozondai	1759	91
4	AIREP/ AMDAR/ACARS	Stebėjimai iš lėktuvų	219 102	8
5	SATEM24	Temperatūros profiliai iš palydovų	29 289	39
6	SATOB	Vėjo vektoriai iš palydovų	20 341	87
7	ATOVS	Atmosferos zondavimas iš palydovų	108 347	18
8	AWS25	Automatinės meteorologijos stotys	5518	57
9	PAOB26	Palydoviniai+antžeminiai stebėjimai	400	100
10	WINPRO	Palydoviniai vėjo profiliuokliai	332	36

sinoptinių terminų stebėjimo duomenis ir juos įtraukti į rengiamos prognozės lauką. Dar vienas didelis skirtingų stebėjimo tipų trūkumas yra tas, kad jie yra skirtingos skiriamosios gebos. Pavyzdžiui, antžeminiai stebėjimai meteorologijos stotyse ar informacija, gaunama iš plūdurių, teikia informaciją taškui, kurio koordinatės yra konkreti meteorologijos stotis arba plūduras. Kuo daugiau teritorijoje tokių taškų, tuo geresnis analizės laukas. Tuo tarpu daugelio dirbtinių Žemės (meteorologinių) palydovų teikiama meteorologijos informacija priskiriama ne taškui, o kelių dešimčių ar šimtų kvadratinį kilometrų teritorijai. Be to, tokių duomenų skiriamoji geba mažėja einant nuo taško, esančio tiesiai po palydovu, link stebėjimo lauko periferijos. Dar sudėtingiau įtraukti meteorologiniais radarais gautus duomenis, kurių vertė nustatant perkūnijos debesis, jų judėjimą ir būsimą kritulių kiekį yra labai didelė.

3.3. Atmosferos radiozondavimo sistemos

Radiozondai kol kas yra vieni tiksliausių vidurinės ir viršutinės troposferos bei apatinės stratosferos stebėjimo įrankių. Tokių stebėjimų preciziškumas vis dar lenkia distanciniais būdais (radarai, palydovų davikliai, lidarai ir kt.) gautų meteorologinių elementų skiriamąją gebą.

Dabar pasaulyje yra daugiau kaip 750 aerologijos stočių, perduodančių informaciją į tarptautinius meteorologijos centrus ar prognozavimo padalinius. Rečiausias tokių stočių tinklas yra besivystančiose šalyse bei vandenynuose, ašigalių srityse ir dykumose. Vidutinis atstumas tarp stočių yra mažesnis nei 300 km Europoje ir apie 330 km JAV bei pietryčių Kanadoje.

Pradžioje, apie 1930 metus, aukštesniųjų atmosferos sluoksnių zondavimas buvo

vykdomas naudojant karšto oro balionus, o jų padėtį erdvėje fiksuojant teodolitais. Maždaug nuo 1950-ųjų iki XX amžiaus 9-o dešimtmečio pradžios oro balionų padėtis buvo fiksuojama specialiomis antenomis (radioteodolitais). Per paskutinį XX a. dešimtmetį beveik visose Europos šalyse, JAV, Kanadoje, Australijoje, Naujojoje Zelandijoje bei PAR buvo įdiegta automatinio sekimo sistema, kuri net tik meteorologinius parametrus fiksuoja standartiniuose lygiuose ir ypatinguose taškuose, bet skaičiuoja ir atmosferos nepastovumo kriterijus bei kitus parametrus. Taip pat ji užkoduoja visą aerologinę informaciją.

Radiozondavimo sistemose (RAOBS) naudojami davikliai, kuriuos į viršų pakelia specialus oro balionas, ir jie matuoja vertikaliosios atmosferos slėgio, temperatūros ir drėgnumo (santykinio drėgnumo arba vilgomojo termometro temperatūros) profilis. Visa ši daviklių sistema, pritvirtinta prie baliono, vadinama radiozondų, arba tiesiog zondų. Balionai paprastai užpildomi lengvosiomis dujomis – vandeniliu arba heliu. Radiozondo aukštis nustatomas naudojant termodinaminius kintamuosius arba palydovuose įrengtą globalią paieškos sistemą (GPS).

Radiozonde yra elektroninis blokelis, kuris užtikrina duomenų registravimą vienodais laiko intervalais (pvz., kas 2–5 sekundės) bei perduoda duomenis į priėmimo stotį ar duomenų kaupimo sistemą. Radiozondą energija aprūpina vienas (gali būti keli) sausas arba drėgnasis elementas. Naujos kartos radiozondai ryšiui naudoja 404 MHz arba 1680 MHz dažnį. Kai duomenų priėmimas baigtas, priėmimo stotyje jie automatiškai konvertuojami į suprantamus vienetų taikant kalibracinius perskaičiavimo koeficientus ir lygtis. Duomenų kaupiklis pritvirtina registruotų parametrų reikšmes prie konkretaus laiko žymų, skaičiuoja zondo pakilimo

aukštį, vėjo kryptį ir greitį atsižvelgdamas į zondo judėjimo greitį ir padėtį erdvėje. Šiuolaikiniai radiozondai daug kompaktiškesni už senesnės modifikacijos ir sveria tik keletą šimtų gramų. Duomenų apdorojimo sistema gali būti paprastas personalinis kompiuteris arba savarankiška komunikacinė sistema, turinti vartotojo sąsajas kaip ir personalinis kompiuteris.

Zondavimu ne visada pasiekiami vidurinės stratosferos sluoksniai. Dabartiniai zondai gali pakilti iki 5–10 hPa lygio, tačiau tik apie pusę paleistų radiozondų pasiekia 20 hPa lygį. 3.3 lentelėje pateikta informacija apie vidutinį radiozondų pakilimo aukštį Šiaurės pusrutulyje per 1975–2004 metus, o pakilimo aukščio kaita nuo 1940 iki 2000 metų parodyta 3.7 paveiksle. Iš šių pavyzdžių matyti, kad sparčiai didėjant bendram radiozondavimų skaičiui, informacijos iš aukštesnių atmosferos sluoksnių padidėjo nežymiai.

Ši informacija itin reikalinga orų prognozėms ir klimato tyrimo programoms. Oro kokybės tyrimams zondas turi pakilti nors iki 300 hPa lygio, dažniausiai – iki 400 hPa. Kai kuriems tyrimams pakanka ir 500 hPa lygio duomenų. Tokiais atvejais naudojamas 3–6 kartus mažesnis oro balionas negu įprastai. Tokio zondavimo metu zondo kilimo greitis svyruoja tarp 2–3 m s⁻¹, tuo tarpu standartiniai zondai kyla 5–6 m s⁻¹ greičiu. Vertikalioji vėjo duomenų skiriamoji geba apytiksliai svyruoja nuo 45 m iki 200 m ir dažniausiai priklauso nuo zondavimo sistemos. Radiozondo duomenų vidurkinimo intervalas yra



3.7 pav. Vidutinis radiozondais pasiektų izobarinių lygių skaičius 1940–2000 metais Šiaurės pusrutulyje (pagal WMO Catalogue of Radiosondes and Upper-air wind Systems (2006) duomenis)

1–2 minutės apatiniuose, iki 3000 m, sluoksniuose ir padidėja iki 3–4 minučių viršutiniuose zonduojamuose sluoksniuose.

Aukštesniųjų atmosferos sluoksnių stebėjimo sistemose matuojami (registruojami) šie meteorologiniai duomenys: vėjo kryptis ir greitis, atmosferos slėgis, temperatūra ir drėgnumas. Radiozondo daviklių registruojami parametrai matuojami netiesiogiai, t.y. reikiamas kintamasis sužinomas iš kitų kintamųjų, kurie matuojami tiesiogiai. Todėl radiozondo daviklių kalibravimas bei duomenų patikra atliekami skirtingai nei meteorologijos stočių, laivų ar iš meteorologinių bokštų atliekamų matavimų.

Vėjo, atmosferos slėgio, temperatūros ir drėgnumo stebėjimai aukštesniuose atmosferos sluoksniuose reikalingi ne tik šių parametrų vertikaliojo pasiskirstymo profiliams (vertikaliesiems gradientams) išskirti, bet ir

3.3 lentelė. Atitinkamus stratosferos izobarinius lygius pasiekę Šiaurės pusrutulyje paleisti radiozondai (proc. dalis) (Hertzog ir kt., 2004)

Paleistų radiozondų dalis (%)	Stratosferos izobariniai lygiai (hPa)	Apytikslis aukštis nuo jūros lygio (m)
50	20	26 500
25	10	31 100
5	7	33 400
2	5	35 800
<1	3	39 400

sąmaišos aukščio, atmosferos stabilumo indeksams skaičiuoti. Pastarieji reikalingi teršalų (aerozolių) sklaidos modeliavimui bei konvekcijos ir prognozuojamų kritulių intensyvumui nustatyti. Sąmaišos aukštis, arba kitaip – sąmaišos sluoksnio storis, svarbus ne tiek visoje troposferoje, kiek paribio sluoksnyje, kur yra stipriausia turbulencija, judesio kiekio, šilumos ir drėgmės mainai bei didžiausi vertikalieji temperatūros gradientai (išskyrus tropopauzę). Stabilumo parametrai taip pat glaudžiai susiję su paribio sluoksniu, ir kartais gali visiškai nepriklausyti nuo meteorologinių kintamųjų pasiskirstymo aukščiau esančiuose sluoksniuose.

Radiozondais gaunamos vėjo reikšmės vidurkinamos iš konkretaus atmosferos sluoksnio, kurio storis paribio sluoksnyje ir apatinėje troposferoje svyruoja nuo 45 iki 75 metrų. Sodarais²⁷ gaunami vėjo parametrai reprezentuoja nuo 5 m iki 100 m storio oro sluoksnius, o meteorologiniais radarais nustatyti vėjo duomenys – 60–100 m storio sluoksnius. Todėl vėjo reikšmė, priskirta tam tikrai altitudai, yra tik tam tikro sluoksnio, kurį atspindi vėjo vektorius, vidurio taškas. Vidurkinimo intervalai labai priklauso nuo pasirinkto matavimo instrumento. Individualūs vėjo duomenys iš radiozondų paprastai vidurkinami kas 30–120 sekundžių intervalais ir atitinkamai reprezentuoja 60–700 m storio oro sluoksnius. Vidurkinimo laikotarpis matuojant sodarais ir radarais kinta nuo 15 iki 60 minučių.

3.4. Pasaulinės ir regioninės monitoringo sistemos

Atmosferos monitoringas. Pasaulinės meteorologijos organizacijos Globalios atmosferos stebėjimo programa (GAW²⁸), be kitų uždavinių, vykdo didelio oro užterštumo atvejų (teritorijų) monitoringą naudodamasi

atokiau nuo teršalų šaltinių esančių vietovių sąlygų matavimo rezultatais (3.8 pav.). Pagrindiniai matuojamieji elementai yra šie: šiltnamio efektą sukeliančios dujos (CO₂, metanas ir kt.), ozonas, priemaišos kritulių vandenyje, reaktyviosios dujos, radionuklidai ir kiti toli pernešami oro masių teršalai (žr. tekste toliau), kurie gali veikti trumpabangės ir ilgabangės spinduliuotės sklaidimą, vėliau – ir bendrąją atmosferos cirkuliaciją. Pirmiausia, tai miškų ir krūmynų gaisrai, ypač semiaridinio klimato tropikų regionuose bei visžaliuose miškuose, taip pat didelių pramonės rajonų teršalų emisijos Kinijoje ir Indijoje bei jų patekimas į klimatiškai ir ekologiškai jautrius regionus, pavyzdžiui, į poliarines sritis, aukštikalnių masyvus.

Be jau minėtos programos, dar vykdoma *Tolimųjų pernašų Europoje monitoringo ir įvertinimo (EMEP) programa*, *Integruoto monitoringo (IM) programa*, kurią kuruoja Jungtinės Tautos, *Arkties monitoringo ir įvertinimo programa (AMAP)*, kuriojama Arkties Tarybos, ir Baltijos jūros aplinkos apsaugos komisijos (HELCOM) programa.

Ozono monitoringas vykdomas keturiais būdais:

- matavimai ozono zondais;
- priežemio ozono koncentracijos matavimai ultravioletiniais (UV) fotometrais;
- bendrojo ozono kiekio atmosferos stulpelį matavimai spektrofotometrais;
- bendrojo ozono kiekio atmosferos stulpelį nustatymas distanciniu būdu naudojant SBUV²⁹ SAGE³⁰, TOMS³¹ ir GOME³² palydovinę instrumentuotę.

Ozono zondai teikia informaciją apie ozono koncentraciją atmosferoje nuo Žemės paviršiaus iki arti 32 km aukščio. Pats zondas tvirtinamas prie oro baliono ir paleistas sekamas navigacinėmis priemonėmis. Paleidimo dažnis – kartas per savaitę ir rečiau.

Ozono fotometrai veikia UV spinduliuo-



3.8 pav. Globalus GAW stočių tinklas (Strategy..., 2001)

tės absorbcijos principu ir teikia informaciją apie ozono koncentraciją priežemio sluoksnyje urbanizuotose teritorijose.

Dobsono spektrofotometrų tinklas yra pakankamai tankus, vidutinis atstumas tarp stočių – 300 km. Lietuvoje tokia matavimo stotis yra Kaune.

SBUV ir TOMS instrumentuotė nuo 1978 metų buvo sudėtinė NIMBUS-7 palydovo dalis – atitinkamai iki 1991 ir 1994 metų; vėliau šie prietaisai buvo sumontuoti NOAA (12, 14, 16, 17 serijos) palydovuose, ADEOS³³ (Japonijos nacionalinė erdvės tyrimų vystymo agentūra – NASDA) palydove ir naujausiame AURA palydove OMI³⁴. Šiais instrumentais nepertraukiamai vykdomas ir vadinamasis Ozono skylės monitoringas tiek Pietų, tiek Šiaurės pusrutuliuose.

SAGE instrumentuotė buvo sumontuota Žemės spinduliuotės balanso eksperimento (ERBE) palydove. Apatinės stratosferos ozono duomenys kaupiti nuo 1979 iki 1996

metų. GOME instrumentuotė iki dabar veikia Europos erdvės tyrimų agentūros (ESA) palydove ERS-2, kuris paleistas 1995 metais ir perduoda duomenis į kelias antžemines stotis – Kirunoje (Švedija), Gatineau ir Prince Alberto (Kanadoje) bei Maspalomoje (Ispanija). Šis instrumentas, be bendro ozono kiekio atmosferos stulpe, dar teikia ozono koncentracijos vertikaliojo pasiskirstymo rodiklius, naudojant antžeminius ir nuotolinius matavimus, vykdomas ozono kartografavimas bei nustatomas UV spinduliuotės intensyvumas giedro dangaus sąlygomis.

Pasaulio vandenyno monitoringas. Okeanologiniai stebėjimai skirstomi į paviršinius, giluminius ir integruotuosius. Vandenynų ir jūrų paviršiniame sluoksnyje stebimi vandens temperatūra, druskingumas, srovės, kiti papildomi parametrai, kurių kiekis priklauso nuo stebėjimo sistemos tipo ir vykdomos tarptautinės ar regioninės programos

(projekto). Dabar ypač daug dėmesio skiriama tropinėms vandenynų akvatorijoms, kadangi jos yra pagrindiniai Saulės energijos akumuliuotojai ir čia mezgasi galingiausios šiltosios vandenyno srovės. Taip pat šioje juostoje vystosi ir pavojingiausi atmosferos sukūriai – tropiniai ciklonai.

TAO/TRITON³⁵ stebėjimo sistema sukurta stebėti vieną unikaliausių globalių procesų – El Ninją (El Niño) – Pietų osciliaciją, kurios besikeičiančios fazės didesnėje Žemės rutulio dalyje sukelia dideles termines ir kritulių anomalijas bei ekologines katastrofas. Šią sistemą sudaro apie 70 į dugną įgręžtų vandenyno plūdūrų. Šių plūdūrų teikiama informacija paskutiniaisiais metais yra tiesiogiai diegiama į skaitmeninius orų prognozių ir klimato modelius bei ekonominius modelius, kurie prognozuoja fondų biržos kainų dinamiką žuvų (daugiausia ančiuvių ir tuno) pramonėje. Plūdūrų davikliai fiksuoja paviršines ir popaviršines vandenyno charakteristikas (temperatūrą, elektros laidumą, slėgį, srovių greitį ir kryptį) iki beveik 0,5 km gylio bei atmosferos parametrus, tokius kaip vėjas, oro temperatūra ir drėgnumas, trumpabangę Saulės spinduliuotė. Kai kurie plūdurai taip pat fiksuoja vandenyje ištirpusio ir atmosferos anglies dioksido koncentraciją.

PIRATA³⁶ stebėjimo sistema sukurta stebėti vandenyno ir atmosferos sąveiką tropinėje Atlanto dalyje (nuo 15° š. pl. iki 19° p. pl.), kuri yra neatsiejama sezoninių ir ilgalaikių globalių klimato pokyčių dedamoji dalis. PIRATA sistemą sudaro į dugną įgręžti plūdurai, fiksuojantys vandens temperatūrą iki 0,5 km gylio, paviršiaus temperatūrą, oro temperatūrą ir drėgnumą, vėjo greitį. Papildomai teikiama informacija apie vandens druskingumą, tankį iki 200 m gylio bei trumpabangę Saulės spinduliuotę ir kritulių kieki.

ARGO profiliuojantys plūdurai skirti stebėti Pasaulio vandenyno paviršiaus ir gi-

lesnių sluoksnių temperatūrą, druskingumą, vandenyno paviršiaus aukštį bei jūrines sroves. Šie plūdurai ne tikai keičia savo koordinates, bet ir gylį, sudarydami uždarus leidimosi link dugno (iki 2,0 km gylio) ir iškilimo 10 dienų ciklus. 2005 metų pabaigoje iš viso veikė apie 3000 tokių plūdūrų. Vienas didžiausių šių plūdūrų „nuopelnų“ – tai gebėjimas kartu su TOPEX/Poseidon³⁷ palydovine sistema tiksliai nustatyti vandenyno paviršiaus lygį. Dėl matavimo taškų tolydaus pasiskirstymo ARGO duomenys automatiškai įtraukiami į skaitmeninius vandenyno bei jungtinius atmosferos–vandenyno modelius, taip pat į duomenų sistemas per GDAC³⁸ centrus.

Pati paprasčiausia vandenyno būklės stebėjimo sistema – laisvai dreifuojantys plūdurai. 2006 metais vidutiniškai veikė apie 1250 plūdūrų visuose vandenynuose. Jie išilgai savo trajektorijos fiksuoja paviršiaus temperatūrą ir slėgį jūros lygyje, o kai kurie ir vėjo parametrus.

Gilesnių vandenyno sluoksnių judėjimą fiksuoja akustinis Doplerio srovių profiliuoklis (ADCP³⁹), kuris geba matuoti vandenyno srovių greitį ir kryptį nuo paviršiaus iki dugno. Dažniausiai jis komplektuojamas mokslinio tyrimo laivuose, kartais laivuose „savanoriuose“. Įdiegus šią technologiją buvo gauta pagrindinių vandenyno srovių trimatis vaizdas (Golfo, Kuro Šio, Šiaurės pasatinės ir kt.). Taip pat padidėjo globalios cirkuliacijos modelių efektyvumas, nes tiksliau imta nustatyti šilumos pernašą tarp platumų įvairiame gylyje bei vandenyno ir atmosferos sąveiką.

Distanciniais metodais gaunama tokia okeanologinė informacija:

- 1) jūrinio ledo koncentracija (tikslumas – 5%, skiriamoji geba – 12 km); nustatoma naudojant regimųjų ir mikrobangų diapazonais veikiančius daviklius; taip pat geba įvertinti ledo storį bei amžių. Dabar

- 2) jūros (vandenyno) lygis (tikslumas – 1 cm, skiriamaoji geba – 25 km); nustatoma naudojant palydovinius radarus bei altimetrus; davikliai veikia TOPEX bei JASON tipo dirbtiniuose Žemės palydovuose. Duomenų tikslumas sumažėja prie kranto linijos;
- 3) vandenyno paviršiaus temperatūra (tikslumas – 0,25°C, skiriamaoji geba – 1 km); informacija gaunama infraraudonųjų bangų ir mikrobangų diapazonais; davikliai veikia NOAA ir ENVISAT tipo dirbtiniuose Žemės palydovuose;
- 4) vandenyno paviršiaus spalva, kuri rodo chlorofilo koncentraciją vandenyje; tikslumas – 5%, skiriamaoji geba – 1 km; duomenys naudojami anglies apytakos ciklo skaičiavimams; informacija gaunama derinant įvairių ilgių regimąsias bangas; davikliai veikia AQUA, SEA SAAT ir ENVISAT tipo dirbtiniuose Žemės palydovuose;
- 5) vandenyno paviršiaus būklė – bangų aukštis, jų sklidimo kryptis ir greitis, taip pat papildomi duomenys (fazinis greitis ir kt.) (tikslumas – 10 cm, skiriamaoji geba – 25 km); informacija gaunama iš palydovinių altimetrų, kurie veikia ERS-1, ERS-2, TOPEX/POSEIDON, JASON ir ENVISAT tipo dirbtiniuose Žemės palydovuose; duomenų kokybė sumažėja prie kranto linijos;
- 6) vandenyno paviršiaus druskingumas; informacija gaunama mikrobangų ruože L-juostoje (tikslumas – 0,05 psu⁴⁰, skiriamaoji geba – 100 km); davikliai veikia SMOS⁴¹ ir AQUARIUS/ SAC-D dirbtiniuose Žemės palydovuose.

Distanciniais metodais gauti vandenyno paviršiaus ir gilesnių sluoksnių parametrai kartu su *in situ* matavimais leidžia susidary-

ti keturmatį vandenyno vaizdą. Šis vaizdas jungia operatyviąją okeanografiją, kurios teikiamų duomenų erdvinė (laiko) skiriamaoji geba yra atitinkamai keli kilometrai ir kelios valandos, ir vadinamąją „vandenyno būklę“ – jos skiriamaoji geba sudaro atitinkamai 100 km ir kelias paras. Fizikinius parametrus derinant su cheminiais ir biologiniais gaunami kompleksiniai vandenyno monitoringo duomenys, tokie kaip CO₂ srautas tarp vandenyno ir atmosferos. Šie vandenyno duomenys tiesiogiai naudojami duomenų jungimui (asimiliacijai) – GODAE⁴². Tokie jungtiniai duomenys jau tinkami kaip įvesties duomenys arba ribinės sąlygos skaitmeniniams bendrosios cirkuliacijos modeliams. Vienas naujausių ir aprobuotų šios jungimo sistemos produktų yra aukšto tikslumo vandenyno paviršiaus temperatūra (GHRST⁴³). Šie duomenys jau padengia ne tik atviro vandenyno (jūrų) akvatorijas, bet ir vidinių jūrų, įlankų ir estuarijų rajonus.

Be okeanografinių ir okeanologinių tyrimų bei stebėjimų, tam tikrose vietose vykdomas biologinis ir cheminis vandenyno monitoringas. Tokios vietos dažniausiai yra priekrantės arba šelfo zonoje, kur didžiausia antropogeninė apkrova ir biologinis mikroorganizmų aktyvumas. Iš pastovių monitoringo elementų dažniausiai aptinkami nitratai, fluoras, bromidai, rūgštieji sulfidai.

Lygiagrečiai vykdomi biogeocheminiai, dugno geocheminiai, seisminiai, krantų dinamikos, bentoso ekologijos ir mikrobiologiniai stebėjimai.

Ledynų monitoringas. Ledynas yra pastovaus, sezoniškai neištirpstančio, ledo masė, kuri susidaro sausumoje transformuojantis (persikristalizuojant) sniegui ar kito tipo kietiesiems krituliams. Ledynas, kuris užima didžiulius sausumos plotus ir palaipsniui slenka nuo centro link periferijos, vadinamas ledo skydu. Ledynai susidaro sniego

dangai akumuliuojantis sausumoje ilgą laikotarpį (nuo kelių dešimtmečių iki tūkstančių metų).

Tarptautiniai ilgalaikiai ledynų stebėjimai pradėti 1894 metais, po to, kai įsikūrė Tarptautinė ledynų komisija Ciuriche (Šveicarija). Šių stebėjimų pagrindinis tikslas buvo vykdyti sausumos ledynų monitoringą siejant ledynų dinamiką su klimato svyravimais. Dabar ledynų parametrai (storis, išplitimo ribos ir kt.) naudojami kaip klimato kaitos indikatoriai. Stebėjimais taip pat galima atskirti natūralų ledyno parametrų svyravimą nuo antropogeninio. Dabar gana tiksliai nustatyta, kad kalnų ledynai per praėjusį šimtmetį vidutiniškai atsitraukia kelis decimetrus per metus, o tai atitinka ledyno masės sumažėjimą dėl antropogeninės klimatinės šiltnamio efektą sukeliančių dujų papildomo poveikio (keli W/m^2). Globali klimato stebėjimo sistema (GCOS⁴⁴) rekomendavo matuoti tokius ledynų parametrus: firno temperatūrą, ledyno storio pokyčius, ledo dengiamos teritorijos plotą, ledyno ilgį ir, kaip išvestinį dydį, energijos srautą į ledyno

paviršių ir nuo jo. Pasaulinė ledynų monitoringo sistema (WGMS⁴⁵) koordinuoja 60 didžiausių ledynų monitoringą. Papildomai kas 5 ar 10 metų nustatomi 800 ledynų matmenys. 11-kos ledynų vykdomi labai intensyvūs moksliniai tyrimai ir stebėjimai, dar 49-ties skaičiuojamas metinis masės balansas ir 800 ledynų nustatomi tik matmenys, daugiausia ilgis. Be to, dalis matavimų vykdoma distanciniais metodais. Šie matavimai apima beveik visas kalnų grandines. Standartiniai matavimų vienetai yra šie: ledo storio pokytis – m per metus, ledo dangos teritoriniai pokyčiai – km^2 per metus, ledyno ilgio pokytis – m per metus. Be tiesioginių matavimų, ledynų stotyse dabar imta taikyti įvairių spektrų kombinacijas bei mikrobangų ar lazerio altimetriją iš palydovų.

Dabartinių stebėjimų tankumas taip pat leidžia pakankamai gerai vykdyti ledo skydų, tokių kaip Antarktidos ir Grenlandijos, monitoringą naudojant automatines masės balanso stebėjimo stotis. Matavimo vienetai – kg per metus, arba kg/m^2 per metus, matavimų dažnis – dešimtmetis, horizonta-



3.9 pav. 85-ios sausumos ledynų monitoringo vietos kartu su papildomomis 23 ledynų masės balanso stebėjimo vietomis, kuriose stebėjimai nenutrūko 15 metų. Apskritimai ir šviesūs rutuliukai žemėlapyje žymi vietas, iš kurių gaunama išsami informacija, tamsūs rutuliukai – tik pagrindinė informacija, o kryžiuikai – 23 papildomos stebėjimo vietos. Perdaryta iš *Ledynų masės balanso biuletenio* (2002–2003), PMO.

lioji skiriamoji geba – 100 km², tikslumas – 5×10^3 kg per metus. Tokio dažnumo matavimų (dešimtmetis) tikslumas yra pakankamas centrinėse skydų dalyse, tačiau mažesnio dažnumo bei pakraščiuose jo nepakanka dėl didelių gradientų pakrančių zonose. Distanciniu būdu atliekamuose matavimuose naudoti SEA SAT ir GEO SAT (iki 1989 m.) tipo palydovai bei ENVISAT (1998–2003) palydovai. Papildomi duomenys gaunami iš lauko tyrimų – gręžimo įrenginiais ir GPS matavimų. Matavimų paklaidos gali labai pakeisti Pasaulio vandenyno lygio kilimo prognozes, kadangi šie abu ledo skydai turi didžiausią įnašą. Be to, didėjanti Antarktidos skydo ir mažėjanti Grenlandijos skydo masė mažina jų bendro poveikio vandenyno lygiui nustatymo tikslumą. Be to, šių skydų masės pokyčiai gali veikti tokių parametrų, kaip Žemės sukimosi kampinio greičio pokyčio bei jos gravitacijos lauko, nustatymo tikslumą. Be balansinių matavimų, vykdomi taip pat ir šių skydų geometriniai matavimai. Tokie matavimai reikalingi pirmiausia dėl dažnų ledo luitų atsiskyrimo nuo pagrindinio skydo atvejų. Kartais tokie ploto pokyčiai gali būti labai dideli (tūkstančiai km² per sezoną). Matavimų dažnis – dešimtmetis, horizontalioji skiriamoji geba – 100 m², tikslumas – ± 10 m. Kol kas pakankamas matavimų tikslumas tik mažų gradientų zonose – sausumos ledynas palaipsniui virsta šelfiniu. Pagrindiniai palydovai, naudoti šio parametro matavimui, yra RADARSAT ir ERS-1. Tiksliausiai ledo judėjimo greitis nustatomas LANDSAT⁴⁶ duomenimis. 2004 metais lazeriniu altimetru gana tiksliai (100 m horizontalėje ir 10 cm vertikalėje) buvo nustatyti naujausi ledo dangos pokyčiai. Papildomai gaunami duomenys: pakraštinio ledo amžius bei susidarančių ledkalnių skaičius per sezoną.

Jūrinio ledo stebėjimų duomenys pastaraisiais metais plačiai naudojami klimato modeliuose. Pagrindinis nustatomas para-

metras – ledo storis (m), stebėjimų dažnis – savaitė, horizontalioji skiriamoji geba – 200 km, tikslumas – $\pm 15\%$. Ledo dangos storio matavimai vykdomi pasyviuoju ir aktyviuoju mikrobangų metodu iš palydovų bei povandeninių laivų tiesioginiais matavimais bei stacionariųjų plūdurių. Naujausi duomenų apdorojimo metodai dabar jau leidžia sujungti distanciniais būdais gautus parametrus su tiesioginių matavimų rezultatais. Papildomi iš ledo dangos storio matavimų gaunami duomenys yra šie: ledo paviršiaus temperatūra, trumpabangės ir ilgabangės spinduliuotės srautai, sniego storis ant ledo bei telkšančių tirpsmo vandens tvenkinių ant ledo ploto santykis su bendru ledo plotu tam tikrame regione.

3.5. Sausumos vandenų ir oro kokybės monitoringas

Pasaulinė aplinkos monitoringo sistemos (GEMS) Vandenų programa buvo įkurta 1978 m. ir yra pirminis globalių vandens kokybės duomenų šaltinis. Tai mokslinio tyrimo centras, kurio pagrindinės veiklos sritys yra šios: vandens monitoringo vykdymas, vertinimo sistemų kūrimas, vandens kokybės gerinimas šalyse narėse. Vandens kokybės duomenys į šį centrą patenka iš 100 šalių upių, ežerų, tvenkinių ir požeminio vandens sistemų. Programa taip pat išipareigojusi kurti ir tobulinti vandens kokybės monitoringo ir vertinimo metodikas pasauliniu ir regioniniu lygiu.

Lietuvoje vandens telkinių būklės monitoringas yra vienas svarbiausių jų būklės valdymo įrankių. Remiantis monitoringo duomenimis įvertinama ar nustatoma:

1. Esama vandens telkinių būklė;
2. Ilgalaikiai vandens telkinių būklės pokyčiai;
3. Antropogeninis poveikis vandens telkinių būklei;

4. Vandensaugos tikslai vandens telkiniams;
5. Įvertinamas parinktų priemonių efektyvumas, taip pat parenkamos priemonės vandens telkinių būklei gerinti ir informuojama visuomenė apie vandens telkinių būklę.

Vadovaujantis naujaisiais, nuo 2005 metų vykdomos valstybinės vandens monitoringo programos rezultatais:

- 1) rengiama bei peržiūrima vandens telkinių tipologija;
- 2) nustatomos vandens telkinių tipų etaloninės sąlygos;
- 3) atliekamas konkrečių vandens telkinių valdymo tikslų koregavimas;
- 4) teikiama informacija Europos aplinkosaugos informacijos centrams ir Europos Komisijai apie Lietuvos teritorijoje esančių vandens telkinių būklę;

Taip pat vykdomi tarpvalstybiniai įsipareigojimai kaimynėms šalims dėl informacijos teikimo apie tarpvalstybinių vandens telkinių būklę. Naujoji vandens telkinių monitoringo programa parengta vadovaujantis Bendrąja vandens politikos direktyva (2000/60/EB) ir kitų direktyvų, tarptautinių konvencijų ir nacionalinių teisės aktų reikalavimais.

Kasmet vandens kokybė bus tiriama apie 360 upių vietų ir apie 80 ežerų (2005 m. ežerų monitoringas vykdomas 29 ežeruose ir tvenkiniuose). Nustatant paviršinių vandens telkinių būklę, vertinama jų ekologinė ir cheminė būklė. Pagal prastesnę iš jų nustatoma bendroji vandens telkinių būklė. Ekologinė būklė vertinama vandens telkinio biologinių, hidromorfologinių ir fizikocheminių kokybės elementų pagrindu. Ši būklė nustatoma pagal prasčiausią būklę rodantį kokybės elementą.

Tiriami parametrai, kurie geriausiai at-

spindi vandens telkinių būklę. Skirtingų tipų monitoringo vietose atliekami skirtingo tipo cheminių parametrų matavimai – daugiausiai parametrų tiriama upių, įtekančių į Baltijos jūrą, tekančių šalies pasienyje, didžiųjų upių žiotyse. Specifinių teršalų tyrimai vykdomi tose vietose, kur yra jų patekimo į upės vandenį tikimybė.

Monitoringo vietose matuojami hidrofizikiniai parametrai (tėkmės greitis, debitas, vandens lygis, temperatūra ir kt.), cheminių medžiagų koncentracijos, chlorofilas- α , koli bakterijų kiekis ir kiti parametrai (3.10 pav.).

Šiuo metu Lietuvoje veikia 10 automatinų vandens matavimo stočių, o iš viso 52 vandens matavimo stotys (VMS), 3 sezoninės, 3 prie Kauno marių. 50-tyje jų skaičiuojamas vandens nuotėkis. Stotčių tinklas nėra tankus: 1300 km² tenka viena VMS. Vidurio Europoje matavimų tinklas 3–4 kartus tankesnis. Trūksta vandens matavimo stočių prie mažųjų upių, nors jų hidrologiniai duomenys – labai reikalingi. Hidrometriniai duomenys apibendrinami ir skelbiami leidiniuose.



3.10 pav. Upių vandens kokybės tyrimų vietos (Upių..., 2005)

Ekspedicinius tyrimus Baltijos jūroje vykdo Jūrinių tyrimų centras. Ekspedicijose buvo atliekami meteorologiniai ir hidrologiniai matavimai bei stebėjimai. Nuo 1964

metų pradėti ir hidrocheminiai tyrimai, kiek vėliau – teršiančių medžiagų (naftos angliavandenilių, detergentų, fenolių, gyvsidabrio) tyrimai vandenyje bei dugno nuosėdose; nuo 1979 m. tyrimai jūroje atliekami ne tik pagal nacionalinę, bet ir pagal tarptautinę HELCOM Baltijos jūros monitoringo programą. Nuo 1997 metų vykdomi cheminių teršalų (chlororganinių pesticidų, sunkiųjų metalų) tyrimai žuvyse (upinėse plešnėse, menkėse, strimelėse, ešeriuose) ir dvigeldžiuose moliuskuose (midijose, makomose, dreisenose). Atliekami ir Lietuvos krantų dinamikos tyrimai: matuojamas paplūdimių plotis, kopagūbrio šlaito nuolydis ir aukštis, paplūdimių granulimetrinė sudėtis, vizualiai įvertinamas paplūdimių užterštumas natūraliomis (dumbliai, kriauklės ir kt.) ir antropogeninėmis medžiagomis (pvz., naftos produktais), taip pat aprašoma pakrantėse vyraujanti augalija, nustatomos pagrindinės vyraujančios augalų rūšys ir kt.

Aplinkos oro kokybei stebėti ir vertinti atliekamas nuolatinis aplinkos oro monitoringas. Lietuvoje jis vykdomas nuo 1967 metų. Didžiausiuose miestuose ir pramonės centruose matuojama pagrindinių ir kai kurių specifinių teršalų, būdingų tai vietai, koncentracija: bendroji dulkių, sieros dioksido, anglies monoksido, sulfatų, formaldehido, fenolio, sieros vandenilio, fluoro vandenilio, azoto oksidų, metalų ir benzpireno. Lietuvoje 1999–2004 metais miestų aplinkos oro kokybės monitoringo tinklas buvo modernizuotas, ir 2004 m. jį sudarė 13 automatizuotų oro kokybės tyrimo stočių, nepertraukiamai matuojančių azoto oksidų, sieros dioksido, anglies monoksido, kietųjų dalelių, ozono, benzeno, tolueno koncentraciją, teikiančių meteorologinius parametrus. Pusiaus automatiniu būdu matuojama bendroji dulkių, policiklinių aromatinių angliavandenilių, metalų koncentracija pažemio oro sluoksnyje.

Iš kitų šalių atnešamus oro teršalus bei bendrą – foninį – šalies oro baseino užterštumo lygį, jo pokyčius bei juos lemiančius veiksnius įmanoma analizuoti foninio oro monitoringo stočių sistema. Pirmoji stotis buvo įrengta 1980 m. Preiloje, 1993–1994 m. įrengtos dar trys. 2004 metais funkcionavo 3 stočių tinklas. Šiose stotyse stebima ozono, sieros ir azoto dioksidų, sulfatų, sunkiųjų metalų, nitratų ir amonio, į Lietuvą intensyviausiai iš toli su oro masėmis pernešamų teršalų koncentracija ore, taip pat tiriami kritulių cheminė sudėtis. Preiloje veikianti stotis dirba pagal tarptautines HELCOM ir EMEP programas, kitos stotys – pagal tarptautinę bendradarbiavimo Sąlygiškai natūralių ekosistemų kompleksiško monitoringo srityje programą (ICP IM). Kadangi šios stotys jau priklauso tarptautinių stočių tinklų sistemai, jų atliekami stebėjimai griežtai reglamentuoti ir vienodi Europos mastu, todėl programoje foninio oro būklės stebėjimų pakeitimų nenumatyta.

3.6. Pasauliniai monitoringo duomenų centrai

Vienas didžiausių pasaulinių hidrometeorologinių duomenų centrų yra Nacionalinis klimato duomenų centras (NCDC, JAV). Jo pagrindinė užduotis – kaupti, jungti, perskaiciuoti meteorologinius antžeminių, aerologinių ir palydovinių stebėjimų duomenis. Tačiau didžiausia tarptautinė organizacija, kuri reguliuoja duomenų rinkimą, kaupimą, galutinę analizę ir pateikimą vartotojui, yra NOAA⁴⁷. NOAA teikia savo klientams informaciją apie esamą ir istorinę vandenynų ir atmosferos būklę, apibendrina atmosferos ir vandenynų fizikinių rodiklių prognozę, kuri yra patikslinama Šiaurės Amerikai per Nacionalinę orų tarnybą (NWS), be to, NOAA produktai apima klimato, ekosistemų ir Pa-

saulio ekonomikos prognozes bei esamą jų būklę.

Nacionalinis atmosferos tyrimų centras (NCAR) yra federalinis tyrimų ir vystymosi centras, kuris su savo partneriais įvairiuose universitetuose ir tyrimo centruose tiria atmosferos, jos savybių ir poveikio sąryšius su Saulės aktyvumu, vandenynu, biosfera ir žmogaus ūkine veikla.

Nacionaliniai aplinkos prognozių centrai (NCEP) atlieka vadybininko vaidmenį sudarant globalaus ir nacionalinio lygmens prognozes, perspėjimus, analizes. Jų sukurti produktai: esamos atmosferos ir vandenyno būklės bei prognozuojami rodikliai susiję su bendro nacionalinio produkto didinimu, aplinkos kokybe, nacionaline ir Pasaulio ekonomika.

Europinis vidutinės trukmės prognozių centras (ECMWF) – tai nepriklausoma tarptautinė organizacija, kuri jungia 26 Europos valstybes ir jos pagrindiniai tikslai yra šie:

- a) skaitmeninių vidutinės trukmės orų prognozių (MRF) vystymas;
- b) kvalifikuotos MRF rezultatų platinimo bazės šalis narėms parengimas;
- c) moksliniai ir techniniai tyrimai, skirti gerinti MRF prognozes;
- d) reikalingų meteorologinių duomenų rinkimas ir kaupimas.

Papildomai šis centras yra atsakingas už šią veiklą:

- 1) teikti skaičiavimo įrangą šalis narėms, atliekančioms tyrimus savo teritorijoje;
- 2) padėti įgyvendinti PMO programas;
- 3) apmokyti mokslo darbuotojus skaitmeninių orų prognozių srityje;
- 4) archyvinis duomenis pritaikyti plačiam vartotojų ratui.

Jungtinės Karalystės karališkoji meteorologijos tarnyba (UKMO) – tai nacionalinis hidrometeorologijos centras, kuris teikia

kasdienes orų ir aplinkos sąlygų prognozes, perspėja apie nepalankias orų sąlygas, vykdo prognozių tobulinimo programą, teikia visą įmanomą informaciją apie orus, klimatą ir aplinkos sąlygas JK karinėms struktūroms, palaiko nacionalinės transporto sistemos efektyvumą ir saugumą, remia pasaulinio masto orų ir klimato prognozavimo pajėgas, vykdo meteorologinių ir klimato duomenų archyvavimo ir apdorojimo politiką bei atlieka kitas funkcijas. Ši organizacija yra pagrindinis Britanijos atmosferos duomenų centro (BADC), kuris priklauso Gamtinės aplinkos tyrimo tarybai (NERC), tiekėjas. BADC yra ne tik specializuotų duomenų bazė, tačiau teikia įvairiausias nuorodas į giminingus duomenų centrus su duomenų bazių aprašymais. Čia yra saugomi dvejopi duomenys:

- a) prioritetiniai duomenys ar duomenų bazės, sudarytos remiantis NERC finansuojamų projektų rezultatais (iš viso 130 tarptautinių projektų);
- b) trečiųjų šalių duomenų bazės, kurios reikalingos JK atmosferos tyrimų bendruomenei.

Vienas didžiausių Pasaulio vandenyno fizinių-cheminių ir biologinių duomenų centras yra Pasaulinis okeaninių duomenų jungimo eksperimentas (GODAE). Pagrindiniai šio centro tikslai yra šie:

- 1) pritaikyti naujausius atviro Pasaulio vandenyno skaitmeninius ir jungtinius metodus trumpalaikėms vandenyno parametrų prognozėms, formuluojant paribio sluoksnį, kad prognozes būtų galima pritaikyti priekrantinei zonai bei sudaryti išeities klimato modeliavimo sąlygas;
- 2) aprūpinti Pasaulio vandenyno analizės produktais, gerinant vykstančių jame procesų supratimą ir vandenyno kintamumo prognozavimą bei Pasaulio vandenyno stebėjimo sistemą.

Dabar išleisti trys elektroniniai Pasaulio vandenyno atlasai, sudaryti 1982, 1994 ir 2001 metais. Vandenyno duomenys taip pat kaupiami Goddardo erdvės skrydžių centro (GSFC) Duomenų jungimo tarnyboje, Japonijos meteorologijos agentūroje, NOAA/NCDC COADS⁴⁸ projekto duomenų bazėje bei daugelio universitetų duomenų bazėse (pavyzdžiui, Oregono, Floridos, Kolumbijos, Merilendo, Niu Hempšyro ir kituose).

Santrumpos

1. NCEP (National Centers for Environmental Predictions) – nacionaliniai aplinkos sąlygų prognozės centrai (JAV).
2. SPC (Storm prediction Center) – Audrų prognozių centras (JAV).
3. NWS (National Weather Service) – Nacionalinė hidrometeorologijos tarnyba (JAV).
4. TIROS (Television InfraRed Observation Satellite) program – Stebėjimo regimųjų ir infraraudonųjų bangų diapazonu iš palydovų programa (JAV).
5. ATOVS (Advanced TIROS Operational Vertical Sounder) – patobulintas TIROS operatyvusis vertikaliojo zondavimo įrenginys (JAV).
6. HIRS (High Resolution Infrared Radiation Sounder) – didelės skiriamosios gebos infraraudonųjų bangų zondavimo įrenginys; daviklis pritaikytas NOAA tipo palydovams.
7. ASDAR (Aircraft to Satellite Data Relay) – duomenų perdavimo iš lėktuvų į palydovus tipas.
8. ACARS (Aircraft Communication Addressing and Reporting System) – Pranešimų, perduodamų iš lėktuvų, ryšio sistema.
9. AIR (AIR REPort) – pranešimai iš oro (reisinių lėktuvų).
10. SATOB (SATellite Observations) – meteorologiniai stebėjimai iš palydovų.
11. GOESAMW (GOES atmospheric motion winds) – GOES (JAV) palydovo davikliams išmatuoti vėjo parametrai pagal dabesų bei vandens garų dreifą.
12. BUFR (Binary Universal Form for the Representation of Meteorological Data) – universalusis dvejetainis meteorologinių duomenų formatas.
13. DMSP (Defense Meteorological Satellite Program) – Gynybinių meteorologinių palydovų programa (JAV).
14. SSM/I (Special Sensor Microwave/Imager) – specialus mikrobangų daviklis (vaizdo priėmimo daviklis).
15. WINPRO (Upper-air wind reports from NOAA wind profilers) – aukštesniųjų troposferos sluoksnių vėjo

- profiliai, gaunami iš NOAA palydovų atliktų matavimų.
16. AMW (Air motion vectors) – vėjo arba oro judesių vektoriai.
 17. TKZ – Tarpotropikinė konvergencijos zona (terminis pusiaujas).
 18. PMO – Pasaulinė meteorologijos organizacija (WMO – angl.).
 19. HDF (Hierarchical data format) – hierarchinė duomenų formatų sistema.
 20. GRIB (GRIdded Binary) – dvejetainės sistemos duomenys, pritaikyti reguliariam koordinacių tinklui.
 21. AMSU (Advanced Microwave Sounding Unit) – tai mikrobangų ruože veikiantis radiometras, NOAA – meteorologiniuose, o MODIS – aplinkos tyrimams skirtuose palydovų tipuose.
 22. ERS (European Remote Sensing satellite) – Europos distancinių tyrimų palydovas; priklauso Europos erdvės tyrimų agentūrai (ESA).
 23. 3DVAR (3 dimensional variation) – trijų matmenų kitimo laukas.
 24. SATEM (SATellite TEMperature) – atmosferos temperatūros profilis.
 25. AWS (Automatic Weather Stations) – automatinė meteorologijos stotis.
 26. PAOB (pseudo-observations) – tai palydovinių ir antžeminių stebėjimų derinys, naudojamas Australijos orų biure sudarant slėgio jūros lygyje žemėlapius virš Pietų vandenyno.
 27. Sodar (sonic detection and ranging) – sistema, skirta turbulencijos ir vėjo matavimams naudojant garso bangų atspindį.
 28. GAW (Global Atmosphere Watch) – Globali atmosferos stebėjimo sistema.
 29. SBUV (Solar Backscatter UltraViolet) – Saulės ultravioletinės spinduliuotės atgalinės sklaidos matavimo įrenginys.
 30. SAGE (Stratospheric Aerosol and Gas Experiment) – Stratosferos aerolių ir dujų eksperimentas.
 31. TOMS (Total Ozone Mapping Spectrometer) – Bendrojo ozono kiekio stebėjimo eksperimentas.
 32. GOME (Global Ozone Monitoring Experiment) – Globalus ozono monitoringo eksperimentas.
 33. ADEOS (Advanced Earth Observing Satellite) – patobulintas Žemės stebėjimo palydovas (Japonija).
 34. OMI (Ozon Monitoring Instrument) – ozono stebėjimo instrumentuotė.
 35. TAO/TRITON (Tropical Atmospheric-Ocean/ TRITON) – vandenyno plūdurų sistema atogrąžų juostoje.
 36. PIRATA (Pilot Research moored Array in the Tropical Atlantic) – bandomasis stacionariųjų plūdurų atogrąžų Atlanto dalyje tyrimas.
 37. TOPEX/Poseidon (ocean TOPography EXperiment) – Vandenyno topografijos eksperimentas.
 38. GDAC (Global Data Assembly Centers) – Globalių duomenų surinkimo centras.

39. ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) – akustinis doplerio principu paremtas srovių matavimo įrenginys.
40. PSU (Practical Salinity Unit) – praktinis druskingumo matavimo vienetas, apytiksliai lygus promilei.
41. SMOS (Soil Moisture and Ocean Salinity) – dirvožemio drėgmės ir vandenyno druskingumo matavimo įranga.
42. GODAE (Global Ocean Data Assimilation Experiment) – Globalus vandenyno duomenų jungimo eksperimentas.
43. GHRST (GODAE High Resolution Sea Surface Temperature) – GODAE didelės skiriamosios gebos vandenyno paviršiaus temperatūra.
44. GCOS (Global Climate Observing System) – Pasaulinė klimato stebėjimo sistema.
45. WGMS (World Glacier Monitoring Service) – Pasaulinė ledynų monitoringo tarnyba.
46. LAND SATellite – palydovo, skirto sausumos monitoringui, pavadinimas.
47. NOAA (National Ocean Atmosphere Administration) – Nacionalinė vandenyno ir atmosferos valdyba (JAV).
48. COADS (Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set) – visapusiškas vandenyno ir atmosferos duomenų rinkinys (JAV).

Literatūra

Acquisition of GTS and Routine Non-GTS Meteorological Data During MAP: Part II Upper Air Stations (2001). <http://www.univie.ac.at/IMG-Wien/daquamap>

Analysis and Forecast Impact of Humidity Observations (2006). *ECMWF Newsletter Nr. 109*. <http://www.ecmwf.int/publications/newsletters/>

Bluestein H. B. (1992). *Synoptic-Dynamic Meteorology in Midlatitudes: Observations and Theory of Weather Systems (Part 2)*. Oxford University Press.

Braithwaite, R.J. 2002. Glacier Mass Balance: the First 50 Years of International Monitoring. *Progress in Physical Geography* 26(1), 76-95.

Hertzog A., Basdevant C., Vial F., Mechoso C. R. (2004). The Accuracy of Stratospheric Analyses in the Northern Hemisphere Inferred from Long-duration Balloon Flights. *The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 130, 607–626.

Houghton J. (2001). *The Physics of Atmospheres*. Cambridge University Press.

Jacobson M. Z. (2002). *Atmospheric Pollution: History, Science and Regulation*. Cambridge University Press.

James I. N. (1995). *Introduction to Circulating Atmospheres*. Cambridge University Press.

Stankūnavičius G. (2005). *Sinoptinės meteorologijos pagrindai* (1 dalis). Vilnius.

Strategy for the Implementation of the Global Atmosphere Watch Programme (2001-2007) (2001). World Meteorological Organization. Report 142.

Upių ir ežerų monitoringo sistema (2005). Aplinkos ministerija. Aplinkos apsaugos agentūra <http://aaa.am.lt>

WMO Catalogue of Radiosondes and Upper-air wind Systems (2006). <http://www.wmo.ch/web/www/ois/>

Zverev A. S. (1977). *Sinoptičeskaja meteorologija*. Leningrad (rusiškai).

4. Klimato kaitos indikacija ir priežastys

4.1. Klimato sistemos struktūra

Pasaulinės meteorologijos organizacijos klimato tyrimo programoje formuluojama, jog *klimatas* – statistinių savybių visuma tokios sistemos, kuri susideda iš sąveikaujančių geosferų (atmosferos, hidrosferos, kriosferos, sausumos paviršiaus ir biomasės), turinčių ilgus, bet baigtinius kitimo ciklus. Žemės klimato sistema – tai labai sudėtinga ir teritoriškai marga, dinamiška fizinių ir cheminių procesų visuma. Žemės klimato sistemą (dar kitaip vadinamą Žemės klimatosferą) sudaro penkių vidinių elementų – atmosferos, hidrosferos, litosferos, kriosferos ir biosferos – tarpusavyje sąveikaujančios dalys. Šios dalys turi skirtingas fizines savybes, turi ir masę (4.1 lentelė).

Atmosfera ir hidrosfera yra klimato sistemos judriosios terpės, turinčios savą cirkuliaciją. Ypač svarbus fizinis rodiklis yra savitoji šiluma. Vandens ji yra daugiau kaip 4 kartus didesnė negu oro ar sausumos, todėl vandenynas, turėdamas pačią didžiausią iš visų klimato sistemos elementų masę, gali akumuliuoti daugiausiai šilumos. Be to, vandenynas yra pats inertiškiausias klimato elementas: pavyzdžiui, gavus tą patį šilumos kiekį ($5,3 \times 10^{21}$ J), atmosferos temperatūra

pakiltų 1, o paviršinio vandenyno (iki 240 m gylio) – tik 0,015 K. Mažiausiu inertiškumu pasižymi jūrų ledas, nes jis jautriausias papildomo šilumos kiekio poveikiui (4.1 lentelės paskutinė ir priešpaskutinė eilutės).

Tarp klimato sistemos elementų vyksta intensyvi medžiagų, judesio kiekio ir energijos apykaita. Pavyzdžiui, atmosferos cirkuliacija didžia dalimi nulemia Pasaulinio vandenyno cirkuliaciją, užtikrina drėgmės mainus hidrologiniame cikle; augalija lemia paklotinio paviršiaus albedą ir Saulės spinduliuotės sugėrimą, vykdo fotosintezę ir tuo pačiu dalyvauja anglies dioksido apykaitoje; dėl antropogeninės veiklos keičiasi atmosferos dujinė sudėtis ir paklotinio paviršiaus struktūra ir t.t.

4.2. Klimato kaitos tyrimų kryptys ir metodai

Mokslas, tiriantis klimatą ir jo kintamumą praeityje, vadinamas *paleoklimatologija*. Pagal tyrimų objektą paleoklimatologija – geologinis mokslas, o pagal tyrimo metodus – geografinis. Pagrindinis paleoklimatologijos uždavinys – atrasti praeities klimato indikatorius ir remiantis jais rekonstruoti klimato rai-

4.1 lentelė. Kiekybiniai klimato sistemos elementų rodikliai (pagal Bradley, 1999)

Rodiklis	Atmosfera	Sausuma (10 m sluoksnis)	Vandenynas		Kriosfera	
			paviršinis iki 240 m	giluminis	žemynų ledas	jūrų ledas
Masė $\times 10^{18}$ kg	5,3	3	79	1260	29	0,046
Masė, lyg. su atmosferos mase	1	0,55	15	238	5,4	0,009
Savitoji šiluma J/(kgxK)	1000	800	4200	4200	2100	2100
Įšilimas, gavus $5,3 \times 10^{21}$ J šilumos (K)	1	2,2	0,015	0,01	0,089	2,85
Santykinis šilumos kiekis*	1	0,45	68,5	99,7	11,3	0,019

*Rodiklis, parodantis kiek kartų skiriasi šilumos kiekis, kurio reikėtų klimato sistemos elementams, kad jų temperatūra pakiltų 1 K.

dą Žemėje. Klimato kaitą ir jos priežastis taip pat tyrinėja *dinaminė klimatologija*.

Klimato istorijos studijavimo prasmė: praeities klimato pažinimas, svyravimo priežasčių išaiškinimas – tai kelias į klimato prognozavimą. Be to, praeities klimato tyrimai įgalina tiksliau įvertinti dabartinius klimato pokyčius ir suteikia galimybę atskirti klimato sistemos būklės pokyčius, kylančius dėl žmogaus veiklos, nuo natūralaus klimato sąlygų svyravimo.

Dabartinės klimato kaitos tyrimų kryptys:

- pastarųjų 18 000 m. globalūs ir regioniniai klimato svyravimai
- poledynmečio klimato erdvinės rekonstrukcijos
- paskutinio tarpledynmečio (prieš 125 000 m.) ir neogeno optimumo (prieš 4-3 mln. m.) klimatas
- praeities ir dabarties klimato modeliavimas remiantis bendrosios atmosferos cirkuliacijos modeliais
- paleoklimatinių rekonstrukcijų (analogų) taikymas kuriant klimato scenarijus XXI a.
- dabartinių globalių ir regioninių klimato svyravimų diagnozė
- antropogeninių veiksnių poveikis klimatui
- klimato modelių tobulinimas didinant jų skiriamąją gebą bei tiksliau aprašant klimato sistemos mechanizmus
- globalių ir regioninių klimato kaitos scenarijų kūrimas XXI a.
- klimato kaitos poveikis ekosistemoms bei socialinei ekonominei sferai
- poveikio klimatui švelninimas
- prisitaikymas prie kintančio klimato

Klimato kaitos tyrimo metodai, priklausomai nuo informacijos ir duomenų apie klimatą pobūdžio, skirstomi į dvi grupes: 1) metodai, paremti instrumentinių meteorologinių matavimų rezultatais (pradedant

XVIII a.); 2) metodai, paremti netiesiogine informacija (iki XVIII a.).

Netiesioginiai praeities klimato informacijos šaltiniai ir indikatoriai:

- nuosėdinės uolienos (litogenetinės formacijos) ir dūlėjimo produktai;
- hidrologinių ir geomorfologinių procesų pėdsakai;
- iškastinių augalų ir gyvūnų liekanos (žiedadulkės, medžių rievės ir t.t.);
- ledynai;
- izotopinės paleotermijos tyrimų duomenys;
- paleomagnetiniai duomenys;
- archeologiniai duomenys, istorinės kronikos ir literatūros veikalai.

Šie indikatoriai padeda apibūdinti įvairias praeities klimato savybes: oro ir vandens telkinių temperatūrą, klimato humidiškumą, ekstremumą ir t.t. Remiantis netiesioginiais informacijos šaltiniais laikomasi prielaidos, jog ryšiai tarp klimato ir kitų gamtos procesų buvo tokio pat pobūdžio kaip ir dabar. Pavyzdžiui, geologinės praeities senųjų dūlėjimo produktų ir nuosėdų informatyvumas vertinamas pagal dabartinį šių objektų ryšį su klimato sąlygomis, o augalijos facijoms ir gyvūnų kompleksams reikėjo analogiško klimato kaip ir jų atitikmenims šiandien. Taigi dabartinis klimato poveikis organiniam pasauliui ir egzogeniniams procesams sutapatinamas su poveikiu praityje. Tai pagrindinis paleoklimatinių rekonstrukcijų kūrimo metodologinis aspektas.

Pirmiausia apžvelgsime netiesioginius praeities klimato informacijos šaltinius ir indikatorius.

4.3. Netiesioginiai klimato indikatoriai

Litologiniai ir mineraloginiai klimato indikatoriai. Gamtos procesų visuma, dėl kurios susidaro ir vėliau kinta nuosėdinės

uolienos, vadinama litogeneze. Klimato poveikis litogenezei stipriausias ten, kur silpni tektoniniai judesiai (platformose), plokščias paviršius, reljefas mažai raižytas. Labiausiai klimato poveikis litogenezei pasireiškia dūlėjimo stadijoje, nes dūlėjimas tiesiogiai priklauso nuo temperatūros ir kritulių. Kaip žinia, dūlėjimas – geologinis procesas, kurio metu suyra uolienos, gruntai ar mineralai, veikiami fizinių, cheminių ar biologinių veiksnių. Dūlėjimo produktai, susimaišę su organinėmis medžiagomis, sudaro medžiagą, vadinama dirvožemiu.

Paleoklimatinėse rekonstrukcijose dažniausiai remiamasi *litogenetinėmis formacijomis* (nuosėdinių uolienų kompleksais). Litogenetinėse formacijose priklausomai nuo klimato savybių skiriasi uolienų suirimas dūlėjimo metu, dūlėjimo produktų diferenciacija pernešimo ir akumuliacijos metu. Tuo yra pagrįstas litogenetinių formacijų (LF) informatyvumas paleoklimatinėse rekonstrukcijose. LF taikomos pačių seniausių geologinių epochų paleoklimatinėse rekonstrukcijose.

Aridinio klimato LF susidarymą lemia šie klimato bruožai: stipri Saulės spinduliuotė, dideli paros temperatūros svyravimai, drėgmės trūkumas, menkas paviršinis ir grun-

tinis nuotėkis. Nuosėdinėse uolienose aptinkama tik skurdžios augalijos liekanų.

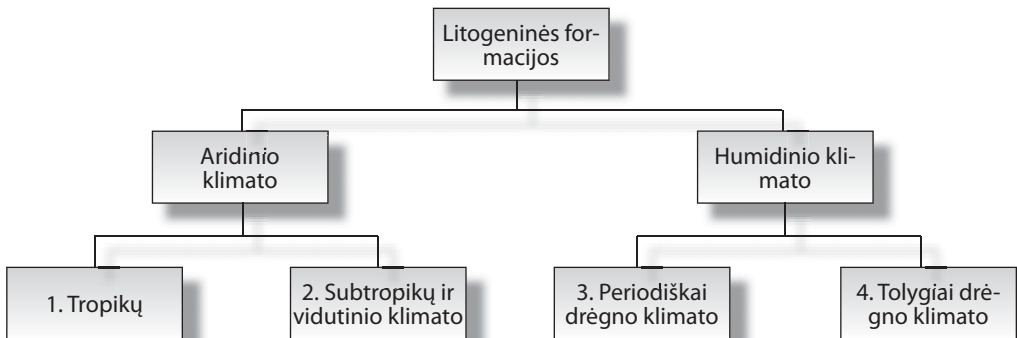
Karbonatingų raudonųjų nuogulų LF susidaro sausumoje: gausu kalkių, gipso, nuolaužos stambios, išlikę net ir neatsparūs dūlėjimui mineralai; būdingi eoliniai dariniai (kopos, barchanai, liosas), vėjo erozija; spalva dėl geležies oksidų raudonai ruda, molių mažai.

Karbonatinė sulfatinė LF būdinga lagūnoms ir jūrų seklumoms, kur intensyvus garavimas bei didelis vandens druskingumas, susidarydavo jūros regresijų laikotarpiais; gausu klinčių, mergelių, dolomitų, gipso, druskų, titnago.

Ekstrakarbonatinė LF būdinga atvirai jūrai. Vyrauja: farominiferinės, brachiopodinės, koralinės ir rifinės organogeninės klintys.

Ryškiaspalvė kaolinitinė LF: gausu kaolinitinių molių, kvarcinių smėlių, ploni sluoksniai klinčių, gipso, mergelių; daug geležies ir mangano oksidų (tačiau mažiau negu atogrąžų aridinėse LF); spalva – nuo raudonos iki žalios.

Karbonatingų pilkųjų nuogulų LF būdinga vidutinio klimato sritims. Gausu kalkių, gipso klodų, glauberio ir akmens druskų; nuolaužos grubios, nenugludintos, neišrūšiuotos; humuso mažai, organinės liekanos retos; spalva pilka.



4.1 pav. Litogenetinių formacijų (LF) tipai. Pavadinimo priedas. Aridinio klimato tropikų LF priskiriamos karbonatingų raudonųjų nuogulų, karbonatinė sulfatinė ir ekstrakarbonatinė, o subtropikų ir vidutinio klimato LF – ryškiaspalvė kaolitinė bei karbonatingų pilkųjų nuogulų. Humidinio periodiškai drėgno klimato LF priskiriamos bekarbonatinės lateritų, silpnų lateritų bei monomiktinė, o tolygiai drėgno klimato LF – oligomiktinė, mezomiktinė, polimiktinė, šalto ir drėgno klimato.

Humidinio klimato LF susidaro srityse, kur krituliai viršija garingumą, pastovus paviršinis nuotėkis, paplitę įmirkę landšaftai, didelis oro drėgnis, intensyvi hidratacija, druskų išplovimas, vešli augalija, vandenyse daug humusinių rūgščių ir angliarūgštės. Hidratacija – tai procesas, kai mineralai absorbuoja vandenį (prisijungia vandens molekulės) ir išsiplečia ar net pasikeičia; pavyzdžiui, anhidritas, absorbuodamas vandenį, virsta gipsu).

Bekarbonatinių lateritų LF būdinga musoninio klimato sritims, savanoms. Čia stiprus lateritinis dūlėjimas, judrių medžiagų pernešimas ir išplovimas; vyrauja kvarciniai smėliai, geležingi kaolinitiniai moliai, boksitai, anglis.

Silpnų lateritų LF būdinga drėgniesiems subtropikams: čia žemesnis lateritizacijos koeficientas (santykis $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ su SiO_2); cheminis dūlėjimas sustoja hidrožėručio stadijoje (susidaro tarpiniai mineralai tarp žėručio ir molių); vyrauja kalcito ($CaCO_3$) ir dolomito nuogulos, fosforitai, vandens telkiniuose – koralų rifai; spalva pilkšva.

Monomiktinė LF yra bekarbonatinių lateritų formacijos jūrinis analogas. Būdinga kvarciniai smėliai, kaolinitiniai moliai (yra Al), organogeninės klintys. Monomiktine vadinama litogenetinė formacija, susidedanti iš panašios struktūros ir vienodos kilmės uolienų.

Oligomiktinė LF būdinga ekvatorinėms sritims: intensyvus cheminis dūlėjimas, uolienos perdirbtos, išdiferencijuotos, karbonatingos, vyrauja kvarciniai smėliai, kaolinitiniai moliai, geležies rūda, fosforitai, organogeninės klintys.

Mezomiktinė LF būdinga subtropikams: nuosėdose mažiau molių, daugiau smėlio, lauko špato, glaukonito, siderito; karbonatingumas mažesnis, klintys sudaro tik plonus sluoksnius, pasitaiko mergelio; gausūs akmens anglies klodai.

Polimiktinė LF būdinga vidutinei klimato juostai. Čia dar mažiau molių, daugiau smėlių;

smėliuose gausu neatsparių dūlėjimui uolienų nuolaužų ir mineralų (pirokseno, raginukės ir kt.); moliai hidrožėrutiniai, karbonatų labai mažai; yra akmens anglies klodų.

Šalto ir drėgno klimato LF. Čia vanduo neatlieka denudacijos funkcijos; būdingos soliflukcinės ir fluvioglacialinės nuogulos, morenos (tilitai), juostuotieji moliai (varvos); susidaro ledynai.

Paleobotaniniai indikatoriai. Augalai į svarbiausi klimato elementai yra Saulės spinduliuotė, apšviestumas, temperatūra ir drėgmė. Būtent šiuos klimato rodiklius galima nustatyti remiantis nuosėdinių uolienų sluoksniuose randamais paleobotaniniais indikatoriais, nes klimato sąlygos nulemia augalo formą, morfologiją, floros įvairovę. Paleobotaniniai indikatoriai tikslesni už litologinius, jų informacija išsamesnė. Tačiau jie turi ir trūkumą – tai sugebėjimas iš dalies prisitaikyti prie kintančių klimato sąlygų ir evoliucija. Dėl augalijos evoliucijos paleobotaniniai indikatoriai paleoklimatinėse rekonstrukcijose naudojami tik pradedant kainozojaus era. Ankstesnių erų ekologinės sąlygos labai skyrėsi nuo dabartinių, todėl tie patys augalai esant vienodam klimatui galėjo skirtis savo biologinėmis funkcijomis, medžiagų apykaitos greičiu, morfologija ir pan.

Paleobotaniniai indikatoriai yra trijų tipų:

1. Polinologiniai (sporos ir žiedadulkės);
2. Augalų liekanos durpėse;
3. Medžių metinio prieaugio rievės.

Ypač vertingi *polinologiniai* duomenys, nes sporos ir žiedadulkės išsilaiko geriau negu vegetatyviniai augalų organai. Kartais žemyninėse nuogulose jos būna vienintelės organinės liekanos. Pagal įvairių augalų žiedadulkių santykį galima spręsti apie vyravusį klimatą ir jo pokyčius, taip pat datuoti nuogulas. Remiantis žiedadulkių ir iškastinės floros duomenimis yra kuriamos pleistoceno ir

holoceno biostratigrafinio suskirstymo sistemos. Pirmieji tokią sistemą pasiūlė A. Blyttas (Norvegijoje) ir R. Sernanderis (Švedijoje) XX a. pradžioje. Šią sistemą naudoja geologijos, klimatologijos, archeologijos, geografijos ir kiti specialistai. Išskiriamos kelios zonos, kurios apibūdinamos būdingomis žiedadulkėmis (4.2 lentelė).

Informatyvūs paleoklimatinio aspektu yra aukštapelkių, kurios drėgmę gauna iš kritulių, durpynai. Kai daug kritulių, susidaro stori durpių klodai, o sausringais laikotarpiais aukštapelkėse ima augti miškas. Kai klimatas drėgnas ir šiltas – durpės labiau suirusios negu vėsaus klimato laikotarpiais. Pavyzdžiui, ištyrus Europos durpynus, holocene nustatyti penki sausmečiai.

Remiantis paleobotaniniais indikatoriais įmanoma rekonstruoti net debesuotumo rodiklius, nes apšviestumas lemia ne tik floros įvairovę, bet ir augalo struktūrą. Kai didelis debesuotumas, miškuose vyrauja ūksminės medžių rūšys (bukas, eglė), augalų lapai būna plonesni, gležni, audiniai silpni, stiebai ištįsę, tarp kamblių dideli tarpai (tipiškas ūksminis augalas – bambukas). Kai daug tiesioginės Saulės spinduliuotės ir geras apšviestumas, miškuose vyrauja lauras, maumedis, augalų audiniai stiprūs, lapai stori, kambliai arti vienas kito.

Augalijos diferenciacijai ypač didelės reikšmės turi drėgmė. Perteklinio drėkinimo

sąlygomis augantys augalai aukšti, tankūs, sudaro daug ardu, didelės lapų ląstelės, silpna ir negili šaknų sistema. Sausringų sričių augalų lapai siauri, smulkūs, dažnai spyglių pavidalo, ant lapų ir spyglių susidaro vaško apnašas arba plaukeliai, audiniai tankūs, galinga šaknų sistema, augalai žemi, skurdi rūšių įvairovė, biomasės produktyvumas menkas.

Medžių rievės – įrodymas, jog klimatui būdingas ryškus temperatūros arba kritulių sezoniškumas. Pradinę informaciją apie medžių rieves sudaro: metinio prieaugio rievės storis, ankstyvosios ir vėlyvosios medienos santykis, medienos tankis. Tačiau reikia nepamiršti, kad, be klimato veiksnių, medžių rievė storis priklauso nuo rūšies, amžiaus, kilmės, derėjimo, dirvožemio savybių, apšvietimo, augimvietės ekologinių sąlygų. Iš augančių medžių medienos mėginiai paimami specialiu grąžtu, po to medienos kolonėlė tirinama mikroskopu, rievė plotis nustatomas 0,01 mm tikslumu.

Mokslas apie praeities klimato nustatymą pagal medžio rievė storį ir struktūrą vadinamas *dendroklimatologija*. Dendroklimatinuose tyrimuose gali būti naudojami ir senovinių medinių pastatų rąstai, archeologiniai mediniai radiniai, pelkėse bei vandens telkiniuose užsikonservavę medžiai. Nustčius jų amžių (radioaktyviosios anglies arba dendrochronologiniais metodais) sudaro-

4.2 lentelė. Pleistoceno ir holoceno suskirstymo sistema, remiantis žiedadulkių ir iškastinės floros duomenimis

Biostratigrafinės zonos	Laikotarpis (metai prieš)	Lietuvoje vyraavę augalai, klimato ir hidrologiniai procesai	Archeologiniai laikotarpiai
Subatlantis	Prasidėjo prieš 3000 m., tęsiasi iki dabar	Eglė, alksnis, pušis, bukas Pelkėjimas	Geležies amžius
Subborealis	5000-3000	Plinta spygliuočiai Atšalimas, nuseko upės, ežerai	Bronzos amžius ir Geležies amžius
Atlantis	7500-5000	Mišrūs, plačialapiai miškai Holoceno klimatinis maksimumas	Neolitas ir Bronzos amžius
Borealis	9000-7500	Pušynai/beržynai, mišrūs miškai Kyla vandenyno lygis	Vėlyvasis mezolitas
Preborealis	13000-10000	Tundra, beržynai Termokarstiniai procesai	Vėlyvasis paleolitas bei Anks- tyvasis ir Vidurinysis mezolitas

mos *dendroskalės* (4.2 pav.). Jomis remiantis galima apytiksliai rekonstruoti termines, drėgmės sąlygas ir atmosferos cirkuliacijos pobūdį per pastaruosius 1000–10000 m. (4.3 pav.).

Paleozoologiniai indikatoriai. Paleoklimatinėse rekonstrukcijose remiamasi jūros gyvūnų (pavyzdžiui, pilvakojų, žiaunakojų, koralų ir kt.) bei sausumos gyvūnų liekanomis. Geriau išsilaikiusios jūros gyvūnų liekanos, ypač tų, kurie turėjo tvirtą vidinį arba išorinį skeletą. Tuo tarpu organinė medžiaga (ir augalų, ir gyvūnų), kuri sudaro tik 10–30% organizmo masės, dėl bakterijų ir mikroorganizmų veiklos suyra bei išsiplauna su gruntiniais vandenimis. Todėl kartais belieka tik atspaudai kitose uolienose.

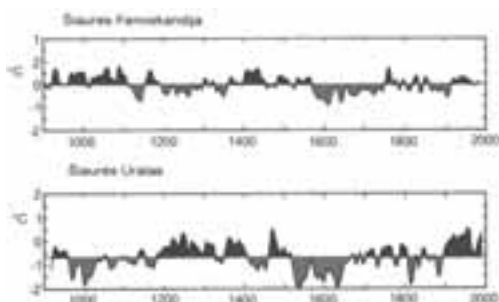
Jūros gyvūnams klimato poveikis pasireiškia tik per temperatūrą. Bet jos svyravimai vandenyje yra mažos amplitudės, be to, jie galimi tik paviršiniame 100 m sluoksnyje. Todėl temperatūros svyravimų poveikį jaučia tik litoralinės dalies gyvūnai. Temperatūros poveikis jiems yra tiesioginis (pavyzdžiui, šiltuose vandenyse tos pačios rūšies individai būna didesni negu šaltuose vandenyse) arba netiesioginis – per vandens prisotinimą kalkėmis, kurios būtinos skeleto susidarymui. Paleoklimatinių rekonstrukcijų kūrimui palanki jūros gyvūnų savybė – *stenotermiškumas* (prisitaikymas gyventi tik siaurame temperatūros intervale), todėl net ir nedideli temperatūros svyravimai jiems labai reikšmingi.

Pagal priklausomybę nuo temperatūros jūrų gyvūnai skirstomi į *termofilinius* (skeletas iš kalcito) ir *termofobinius*–*kriofilinius* (skeletas iš titnago).

Sausumos gyvūnų paplitimas priklauso ir nuo temperatūros, bet taip pat svarbu ir relijefo absoliutinis aukštis. Sausumos gyvūnai per savo evoliuciją daug migravo, rūšys iš pavienių židinių pasklisdavo po visą Pasaulį.



4.2 pav. Dendroskalės patikslinimas remiantis gaisrų paliktais randais pušyje (P. M. Brown nuotrauka)



4.3 pav. IX–XX a. vasarų temperatūros rekonstrukcija, atlikta remiantis dendrologiniais duomenimis. Temperatūra pateikta nuokrypiais (°C) nuo daugiamečio vidurkio. (Briff ir kt., 1992)

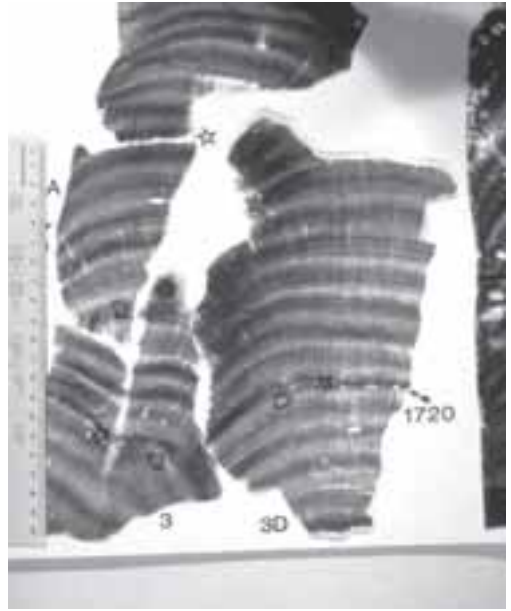
Todėl paleoklimatinėse rekonstrukcijose remiamasi įvairių rūšių gyvūnais, gyvenusiais vienu metu.

Informatyvus klimato indikatorius – koralų rifai ir atolai. Jie gyvena šiltame (25–29°C), skaidriame, ramiame vandenyje. Tai koralinių polipų, daugiausia madreporinių, kolonijos. Šie gyvūnai minta vėžiagyviais, nedidelėmis žuvimis, įvairių bestuburių lervomis, vienaląsčiais klintingais dumbliais, iš kurių koralų polipai gauna ne tik maistą, bet ir skeletui reikalingą kalcio karbonatą. Koralų polipai skeletą statosi iš jau mirusių polipų namelio. Skeletas per metus užauga 3–10 cm (4.4 pav.). Koralai nemėgsta aukštesnės nei 30°C temperatūros, nes pakilus temperatūrai pasitraukia žalieji dumbliai, kuriais minta polipai, sutrinka simbiozė ir koralai praranda ryškią spalvą – ima blukti. Ši tendencija ima vis labiau ryškėti daugelyje dabartinių koralų kolonijų, nes dėl klimato atšilimo kyla ir vandens temperatūra.

Geomorfologiniai ir hidrologiniai indikatoriai. Paleoklimatinėse rekonstrukcijose didžiausią reikšmę turi šie geomorfologiniai ir hidrologiniai indikatoriai:

- vandenyno lygio eustatiniai svyravimai,
- ežerų lygis ir nuosėdos,
- hidrografinio tinklo pėdsakai,
- defliacinės ir eolinės reljefo formos.

Eustatinis Pasaulio vandenyno vandens lygio svyravimus lemia klimato kaita, nes sutrinka globalus vandens apytakos ratas. Vandens lygis pakyla sauso ir karšto klimato sąlygomis bei tarpledynmečiais, o nukrinta – šilto ir drėgno klimato sąlygomis bei per ledynmečius. Eustatinių vandens lygio svyravimų pėdsakai: dabar apsemtos upių deltos, terasos, abrazinės ir akumuliacinės lygumos su jūrinėmis nuogulomis, dabar esančios sausumoje. Ypač ryškūs vandenyno lygio svyravimai būdavo ledyninėse epocho-



4.4 pav. Koralų skeleto metinio priaugio rievės. Šviesūs ir tamsūs ruoželiai sudaro vienerių metų priaugio sluoksnį (tamsūs – vėsesnio metų laikotarpio). Jo storis priklauso nuo vandens temperatūros ir maisto medžiagų kiekio. Grąžtais paimtuose koralų mėginiuose (kolonėse) tiriamas įvairių izotopų santykis (Cd/Ca, Ba/Ca, $^{16}\text{O}/^{18}\text{O}$, $^{12}\text{C}/^{14}\text{C}$). Pagal tai nustatoma, kokios temperatūros vandenyje formavosi koralai, koks jų amžius (National Oceanic..., 2007).

se: per ledynmečius vandens lygis būdavo 100–140 m žemesnis (daug vandens susikaupdavo žemyniniuose ledynuose ir išalusiųose gruntuose), o tarpledynmečiais – 5–10 m aukštesnis nei dabar. Tokie vandenyno lygio svyravimai vadinami *glacioeustatiniais*.

Eustatiniai vandenyno lygio svyravimai tiksliausiai nustatomi pasyvaus tektoninio režimo srityse (Šiaurės Europoje, Šiaurės Amerikos rytų pakrantėje), o ten, kur vyksta aktyvūs neotektoniniai judesiai, Žemės pluta kyla arba grimzta (pavyzdžiui, Viduržemio jūros, Šiaurės Amerikos vakarų pakrantės), vandenyno lygio svyravimus tiksliai apskaičiuoti ne visada pavyksta.

Apie praityje buvusius drėgno klimato laikotarpius byloja dabartinėse aridinėse Azijos, Afrikos ir Šiaurės Amerikos srityse

aptinkamos gilios upių vagos, dideli ežerų guoliai. Pleistocene, kai aukštosiose platumose vyko apledėjimas, subtropinėje ir tropinėje juostose vyravo drėgnas klimatas. Ciklonų keliai pasislinkdavo į pietus apie 15° platumos, iškrisdavo daug kritulių (20–70% daugiau nei dabar), tekėjo vandeningos upės, ežerų plotai dabartinius viršijo apie 10 kartų, augo vešli augalija. Kitaip tariant, aukštųjų platumų ledynmečius žemosiose platumose atitiko *pluvialinė* (drėgno klimato) stadija, o tarpledynmečius – *aridinė* (sausringo klimato) stadija.

Klimato aridiškumas ir kritulių kiekis gali būti nustatomas remiantis nenuotakių ežerų nuosėdomis bei terasomis. Pavyzdžiui, mažėjant kritulių, stiprėja garavimas, krinta vandens lygis, nuosėdose daugiau susikaupia druskų ir gipso (CaSO_4), didėja $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$. Drėgno klimato laikotarpiais pakyla ežerų lygis, nes iškrinta kritulių, nuosėdose gausu organinės anglies kalcitų (CaCO_3), žemas $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ (mažai ^{18}O).

Smėliai ir liošo dulkės pernešamos vyraujančių vėjų kryptimi, todėl defliacinis reljefas atspindi atmosferos cirkuliacijos struktūrą. Per pleistoceno ledynmečius Azijos anticiklonas žiemą būdavo daug didesnis ir galingesnis. Todėl vidutinėse platumose vyravo ne tik šaltas, bet ir vėjuotas klimatas. Šalto ir sauso oro srautai iš anticiklono centro plūdo į Rytų Europos ir Vidurinės Azijos lygumas, čia sunešdami storus eolinių nuogulų (liošo) klodus. Vėjas išpuštydavo silpnai suce-

mentuotas uolienas, šlifavo uolas, kai kur susidarė daubos ir tranšėjos. Ankstesnių nei pleistoceno epochų eolinės formos išlikusios tik vietomis, todėl paleoklimatinėse rekonstrukcijose naudojamos rečiau.

Paleoklimatinė ledynų informacija. Sniego akumuliacija poliarinėse ledo kepurėse sukaupė itin daug vertingos paleoklimatinės ir paleogeografinės informacijos. Grenlandijos ir Antarktidos ledynuose padarytų gręžinių gylis jau viršija 3000 metrų. Iš tokio gylio ištraukti ledo kernai yra susidarę maždaug prieš 800 000 metų. Ledo sluoksniuose tarsi medžio rievėse atsispindi Žemės klimato raida. Lede galima rasti informacijos apie atmosferos sudėtį, temperatūrą, vulkanizmą ir daug kitų rodiklių (4.3 lentelė). Pagal kalnų ledynų nusileidimą galima nustatyti sniego linijos aukštį, kritulių kiekį. Ledo kernų tyrimai parodė, kad šiltais laikotarpiais atmosferoje padidėdavo CO_2 , CH_4 koncentracija (matyt, daugiausia dėl intensyvios vulkanų veiklos), taigi temperatūros svyravimus geologinėje praeityje galėjo lemti nevienu stiprumo šiltnamio efektas. Remiantis ledynų tyrimais nustatyta, kad šiuo metu atmosferoje esanti CO_2 koncentracija (2006 m. 381 ppm) yra pati didžiausia per pastaruosius 800 000 metų.

Izotopinės paleotermijos metodas. Izotopinės paleotermijos metodas pagrįstas tuo, kad stabilųjų deguonies izotopų ^{16}O ir ^{18}O santy-

4.3 lentelė. Paleoklimatinė sausumos ledynų informacija: įvairūs rodikliai ir jų nustatymo metodai

Rodiklis	Paleoklimatinių rekonstrukcijų metodai, paleoklimato indikatoriai
Temperatūra	Jei vasaros temperatūra teigiama, susidaro atitirpę sluoksniai; metų temperatūra nustatoma pagal deguonies ^{18}O ir ^{16}O izotopų santykį
Vulkanizmas	SO_4 koncentracija
Troposferos drumstumas	Mikrodalelės
Vėjo greitis	Dulkių dydis, koncentracija
Atmosferos sudėtis	CO_2 , CH_4 , N_2O koncentracija oro burbuluose
Saulės aktyvumas	^{10}Be koncentracija
Sniego linija kalnuose, ledo skydų ribos sausumoje	Galinių ledynų morenų išsidėstymas, fluvioglacialinės nuosėdos, termokarsto dariniai, palinologiniai duomenys

kis kriauklių kalcituose gali būti nevienodas priklausomai nuo to, kokios temperatūros vandenyje jie susidarė (4.5 pav.). Be to, šių izotopų santykis priklauso dar ir nuo temperatūros, buvusios vandens garavimo ir kondensacijos metu. Metodo tikslumas $\pm 2^\circ\text{C}$. „Normalus“ deguonies atomas (^{16}O) turi 8 protonus ir 8 neutronus. Maža dalis (maždaug viena iš tūkstančio) deguonies atomų turi 8 protonus ir 10 neutronų – tai deguonies ^{18}O izotopas. Jis yra sunkesnis, todėl iš šilto vandens ^{16}O gali išgaruoti greičiau. Kuo žemesnė temperatūra, tuo vandens garuose ir krituliuose mažiau ^{18}O . Dėl to šaltaisiais laikotarpiais santykinis $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ kiekis vandenyje ir kriauklių kalcituose padidėja (nes dalis ^{16}O , iškritusi kartu su sniegu, pasilieka ledynuose), o šaltaisiais – $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ sumažėja, nes ^{16}O į vandenynus grįžta su nuotėkiu (4.6 pav.). Šis metodas taip pat taikomas nustatant kritulių temperatūrą formuojantis ledynams.



4.5 pav. Izotopinės paleotermijos tyrimuose plačiai naudojami jūrinėse nuogulose aptinkami farominiferų skeletai (National Climate..., 2005).

Stabiliųjų deguonies izotopų santykis dažniausiai išreiškiamas rodikliu $\delta^{18}\text{O}$:

$$\delta^{18}\text{O} = \frac{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_b - (^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_v}{(^{18}\text{O}/^{16}\text{O})_v} \cdot 1000$$

čia b – bandinyje, v – vidutiniškai vandenyne.

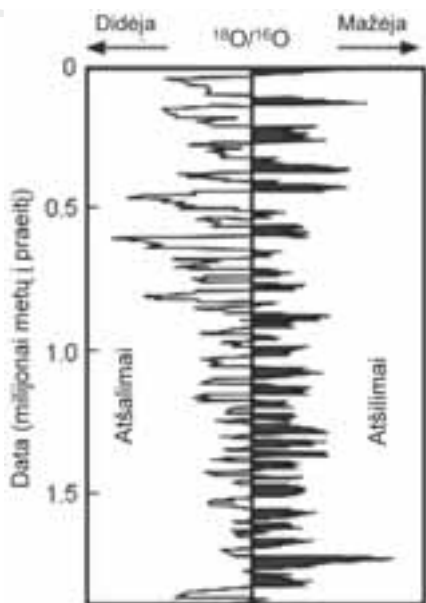
Rodiklis $\delta^{18}\text{O}$ vandenyno kalcituose didėja vėstant klimatui, o mažėja – šylant. Kuo žemesnė temperatūra, tuo vandens garuose ir krituliuose mažiau ^{18}O , todėl ledynams augant (šaltas laikotarpis) ^{16}O santykinis kiekis lede padidėja ($\delta^{18}\text{O}$ neigiamas ir mažėja). Tuo tarpu vandenyne atvirkščiai – ^{16}O ledynmečiais mažėja (jis pasilieka iškritęs su sniegu ledynuose), ir todėl vandenyno nuosėdose rodiklis $\delta^{18}\text{O}$ padidėja.

Izotopinės paleotermijos tyrimuose pastaraisiais metais pradėta taikyti analogiška stabilųjų vandenilio izotopų H ir ^2H , vadinamoji deuterio (sunkiojo vandenilio) metodika.

Izotopinės paleotermijos tyrimų rezultatai naudingi ir istorijos mokslui. Pavyzdžiui, izotopinės paleotermijos metodu tyrinėjant Pietų Amerikos ežerų nuosėdas buvo nustatyta sausringumo dinamika per pastaruosius du tūkstančius metų. Tai padėjo išsiaiškinti Majų civilizacijos žlugimo priežastis apie 800–900 m. Viena iš priežasčių, lėmusių Majų civilizacijos žlugimą, matyt, buvo staigus klimato aridiškumo stiprėjimas. Trūkstam vandens prasidėjo nederliaus metai, stigo maisto, ėmė plisti epidemijos, mažėjo gyventojų skaičius.

Paleomagnetiniai duomenys. Paleomagnetinis metodas pagrįstas liekaniniu uolienų įsimagnetinimo reiškiniu: auštant lavai, kai jos temperatūra nukrinta iki Kiuri taško ($630\text{--}450^\circ\text{C}$), feromagnetiniai mineralai įsimagnetina pagal tuo metu esantį magnetinį lauką ir daugiau nekinta. Metodas leidžia nustatyti senųjų magnetinių laukų kryptis, magnetinių ir geografinių polių padėtį, žemynų išsidėstymą geologinėje praeityje. Remdamasis paleomagnetiniais duomenimis XX a. pradžioje A. Vegeneris sukūrė žemynų dreifo (mobilizmo) teoriją.

Išanalizavus paleomagnetinius duomenis nustatyta, jog magnetinių polių vieta nuolat



4.6 pav. Stabiliųjų deguonies izotopų (^{16}O ir ^{18}O) santykis jūrinėse karbonatingose nuosėdose (Cronin, 1999)

kito. Kadangi kampas tarp tiesės, jungiančios Žemės magnetinius polius, ir Žemės sukimosi ašies yra apie 12° , galima rekonstruoti ir geografinių polių (ašigalių) bei pusiaujo vietą Žemės rutulyje bei klimato juostų išsidėstymą.

Archeologiniai duomenys ir rašytiniai šaltiniai. Šie duomenys naudojami pleistoceno – holoceno paleoklimatinėms rekonstrukcijoms.

Ikiistorinio žmogaus pėdsakai (ginklai, įrankiai) randami Gobio, Sacharos, Irano, Arabijos pusiasalio dykumose, kurių klimato sąlygos dabar beveik netinkamos gyventi. Archeologiniai radiniai (ledo kirtikliai, žvejybos kabliukai, harpūnai, grandikliai, rėžtukai ir kt.) leidžia daryti išvadą, kad pleistocene ten buvo drėgnesnis klimatas negu dabar. Kaip jau buvo minėta, tokie patys duomenys buvo gauti ir remiantis hidrografinio tinklo pėdsakais. Šiose dykumose per ledynmečius buvo pliuvialinis (lietingas) laikotarpis.

Šiaurės Afrikos paleolito gyvenvietėse taip pat randama dabar nebesiveisiančių gyvūnų (dramblių, raganosių, begemotų) kaulų. Jie buvo paplitę tuose rajonuose iki holoceno pradžios.

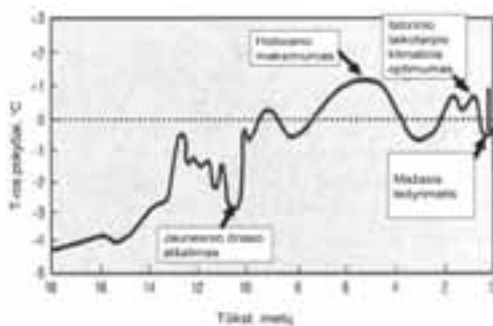
Tirpstant paskutiniajam Viurmo ledynui, žmogaus arealas slinkosi į šiaurę. Kartais senosios žmonių stovyklavietės randamos po vandeniu ar pelkėse: tai byloja apie ežerų vandens lygio ir kritulių kiekio svyravimus. Pavyzdžiui, Centrinėje Europoje ežerai buvo nuslūgę prieš 4000 ir 3000 metų, o IV–V a. stovyklavietės aptinkamos dabartinėse pelkėse.

Vikingų kelionės Šiaurės Atlante ir jų gyvenvietės, įkurtos Grenlandijoje X–XIV a., – taip pat šiltesnio klimato indikatorius. Tuo laikotarpiu buvus šiltesnį klimatą (*istorinio laikotarpio klimatinį optimumą*) patvirtina ir kiti netiesioginiai šaltiniai: archeologiniai duomenys (vikingai Grenlandijoje vertėsi gyvulininkyste, Islandijoje buvo auginami javai), dendrologiniai ir Alpių ledynų duomenys, senovės skandinavų sagos, kurias rašė islandų vienuoliai. „Vikingų epochoje“ miškų juosta Alpėse buvo pakilusi 200 m., vynuogynų zona pasislinkusi $4\text{--}5^\circ$ platumos į šiaurę, Grenlandijoje temperatūra už dabartinę buvo aukštesnė $3\text{--}4^\circ\text{C}$. XIV a. klimatas pradėjo vėsti, vikingų gyvenvietės sunyko, padidėjo Šiaurės leduotumas ir kartu pablogėjo susisiekimas su Europa, ėmė augti Alpių ledynai – prasidėjo „mažasis ledynmetis“ (4.7 pav.).

Pastarųjų dviejų – trijų tūkstantmečių klimato istorijos tyrinėtojai didelę reikšmę teikia istoriniams šaltiniams, kuriuose gausu unikalios ir, reikia pripažinti, pakankami tikslios informacijos apie klimato sąlygų pokyčius, ir, visų pirma, apie ekstremalius meteorologinius reiškinius, sukėlusius ekonomikos nuosmukį ar nusinešusius daug žmonių gyvybių. Gamtos reiškiniai, kėlę žmonių baimę ir nusistebėjimą, nešę nelai-

mes ir ligas, neliko nepastebėti senovės metraštininkų. Savo pareiga jie laikė aprašyti ne tik istorinius įvykius, bet ir Žemės drebėjimus, audras, sausras ir potvynius, šiltas ar ypač speiguotas žiemas, ankstyvus ir vėlyvus šalčius, badmečius ir epidemijas.

Pirmieji istoriniai duomenys apie klimatą ėmė rasti Egipte, Kinijoje ir Europoje (4.4 lentelė). Lietuvos rašto paminklai gana vėlyvi, todėl pačių pirmųjų rašytinių žinių apie Lietuvą duoda svetimšaliai rusai, vokiečiai, skandinavai, lenkai. Lietuvoje metraščių pradeda atsirasti tik XIV a. pabaigoje. Lietuvoje iki Jogailos ir Vytauto laikų net didžiojo kunigaikščio dvare nėra buvę kancelarijų, todėl tik atsitiktinai išliko kai kurie to meto raštai (susirašinėjimo su užsieniu laišakai, sutartys su kaimyniniais kraštais ir pan.). XIV a. pabaigoje pradeda rasti įvairių vidaus dokumentų: apdovanojimų, privilegijų, valdovų įsakymų, pranešimų iš provincijų. Nuo XV a. vidurio didžiojo kunigaikščio kanceliarijoje jau vedamos siunčiamų ir gaunamų raštų knygos, saugomi jų nuorašai. Tokių dokumentų archyvas, žinomas Lietuvos Metrikos vardu, išliko iki šių dienų. XV a. pabaigoje kanceliarijos ir archyvai ima kurtis prie vyskupijų, bažnyčių, o vėliau – teismuose, kitose valstybės įstaigose ir bajorų dvaruose.



4.7 pav. Poledynmečio oro temperatūros Europoje rekonstrukcija remiantis įvairiais paleoklimatinės informacijos šaltiniais: ^{16}O ir ^{18}O santykiu Grenlandijos lede ir nuosėdinėse uolienose; paleobotaniniais, paleozoologiniais, archeologiniais bei istoriniais (pagal: National Climate..., 2005)

Apie istorinio laikotarpio klimatą informacijos randama įvairiuose rašytiniuose šaltiniuose: Antikos knygose, kronikose, valstybiniuose ir privačiuose archyvuose (susirašinėjimas su užsieniu, sutartys su kaimyniniais kraštais), sausumos ir jūrų kelių aprašymuose, komercijos ir prekybos ataskaitose ir pan. Ypač vertingi neinstrumentiniai orų stebėjimai, kurių yra išlikę nuo XV a. Tiesa, senovės metraštininkų vertinimuose gausu subjektyvizmo ir emocionalių pastabų, todėl norint susekti tiesą, reikia juos lyginti tarpusavyje arba ieškoti įvykius patvirtinančių įrodymų kituose šaltiniuose.

4.4 lentelė. Pirmieji rašytiniai šaltiniai apie klimatą

Regionas	Data
Egiptas	3000 m. pr. Kr.
Kinija	1750 m. pr. Kr.
P. Europa	500 m. pr. Kr.
Š. Europa	0 m.
Japonija	500 m.
Islandija	1000 m.
Š. Amerika, P. Amerika	1500–1550 m.
Australija	1800 m.
Lietuva	1450 m. (Lietuvos Metrika)

Geochronologijos metodai. Suradus kokių nors praeities klimato indikatorių (litogenetinių formacijų, feromagnetinių mineralų, augalų bei gyvūnų liekanų ir t.t.) reikia žengti ir kitą žingsnį – nustatyti, kokiam laikotarpiui jie priklauso. Žemės plutos uolienų susidarymo chronologinę seką ir amžių tiria geologijos mokslo šaka *geochronologija*. Ji skirstoma į reliatyviąją ir absoliučiąją. Reliatyvioji geochronologija nustato, kurios Žemės plutos uolienos jaunesnės, kurios senesnės (reliatyvusis amžius), bet nenurodo jų susidarymo laiko metais. Absoliučioji geochronologija nustato uolienų absoliutųjį amžių ir reiškia jį laiko vienetais.

Remiantis geochronologijos metodais sudaroma geochronologinė skalė. Ji yra suskirstyta į du padalinius: prekambro ir fanerozo-

jaus. Fanerozojui būdingi sudėtingos taksonominės sudėties daugialąsčių gyvūnų ir augalų biotai, todėl jis smulkiai suskirstytas remiantis paleontologiniu metodu. Fanerozojaus eonas suskirstytas į tris eras, eras – į periodus (iš viso 12), periodai į epochas. Prekambras suskirstytas į du eonus, eonai – į eras (iš viso 7), šios į periodus (4.5 lentelė). Geochronologinė

4.5 lentelė. Tarptautinė stratigrafinė (geochronologinė) skalė (Geochronologinė skalė, 2004)

Eonas	Era	Periodas	Epocha	Absoliutusias amžius, mln. m.
Fanerozojus	Kainozojus	Neogenas	Holocenas	0,01
			Pleistocenas	1,65
			Pliocenas	5,3
			Miocenas	23,5
		Paleogenas	Oligocenas	33,7
			Eocenas	53
			Paleocenas	65
	Mezozojus	Kreida	Vėlyvoji	96
			Ankstyvoji	135
		Jura	Vėlyvoji	154
			Vidurinioji	175
			Ankstyvoji	203
		Triasas	Vėlyvasis	230
			Vidurinysis	240
			Ankstyvasis	250
			Lopingas	260
	Paleozojus	Permas	Gvadalupas	272
			Cisuralas	295
		Karbonas	Pensilvanas	320
			Misisipas	355
		Devonas	Vėlyvasis	375
			Vidurinis	390
			Ankstyvasis	410
		Silūras	Pšidolis	415
			Ludlovis	425
			Venlokis	430
			Landoveris	435
		Ordovikas	Vėlyvasis	455
			Vidurinis	465
			Ankstyvasis	500
		Kambras	Vėlyvasis	510
			Vidurinis	520
Ankstyvasis	543			
Proterozojus	Neoproterozojus	Neoproterozojus III	Epochos neišskirtos	650
		Kryogenas		850
		Tonis		1000
	Mezoproterozojus	Stenis		1200
		Ektazis		1400
		Kalymanis		1600
	Paleoproterozojus	Stateris		1800
		Orosiris		2050
		Ryacis		2300
		Sideris		2500
Archėjus	Neoarchėjus			2800
	Mezoarchėjus	Periodai		3200
	Paleoarchėjus	neišskirti		3600
	Eoarchėjus			

skalė atitinka tarptautinę stratigrafinę skalę. Geochronologinis padalinys yra geologinis laiko tarpas, stratigrafinis padalinys – per šį laiko tarpą susikaupusių nuogulų visuma. Naujausioje tarptautinėje geologinėje laiko skalėje nėra kvartero periodo, tačiau Lietuvoje terminas dar vis naudojamas. Jis apima pleistoceno ir holoceno epochas.

Paleoklimato tyrimuose plačiausiai taikomi šie geochronologijos metodai: stratigrafinis, paleontologinis, pirminės substancijos radioaktyviojo skilimo.

Stratigrafija – geologijos mokslo šaka, nagrinėjanti uolienų sluoksniavimosi dėsninumus ir nustatanti jų amžių. Stratigrafija nagrinėja daugiausia nuosėdines ir vulkanines uolienas. Nesuardytose nuosėdinių uolienų sluoksnių stovymėse jaunesnės uolienos slūgso virš senesnių uolienų (*superpozicijos principas*).

Paleontologija – biologijos mokslas, tiriantis geologinės praeities organinį pasaulį. Šis mokslas nagrinėja priešistorinių laikų organinį pasaulį pagal įvairių organizmų iškasenas ar jų veiklos pėdsakus. Išskastinės organizmų liekanos ar jų veiklos pėdsakai vadinami *fosilijomis*. Jei nuosėdinėse uolienose randama plačiai paplitusi ir vienalaikė (geologinio amžiaus prasme) fauna ir flora, tai šios uolienos taip pat susiformavo vienu metu.

Pirminės substancijos radioaktyvūs skilimas – tai spontaniškas nestabiliųjų kurio nors cheminio elemento izotopų virsmas to paties ar kito elemento izotopais, išspinduliuojant elementarias daleles arba branduolius. Pavyzdžiui, urano ir torio izotopai virsta švino izotopais ir pan.: $^{238}\text{U} \rightarrow ^{206}\text{Pb}$, $^{235}\text{U} \rightarrow ^{207}\text{U}$, $^{232}\text{Th} \rightarrow ^{208}\text{Pb}$, $^{87}\text{Rb} \rightarrow ^{87}\text{Sr}$, $^{14}\text{C} \rightarrow ^{12}\text{C}$.

Vykstant radioaktyviajam skilimui radioaktyviojo elemento atomų skaičius palaipsniui mažėja. Negalima tiksliai pasakyti, kada ir kuris branduolys skils, tačiau egzistuoja tam tikra tikimybė kiekvieno branduolio skilimui per tam tikrą laiką. Laikas, per kurį

suskyla pusė radioaktyviojo izotopo branduolių, vadinamas *radioaktyviojo skilimo pusamžiu* (arba *pusėjimo trukme*). Įvairių radioaktyviųjų branduolių irimo pusamžiai labai įvairūs ir kinta nuo 10^{17} metų iki 10^{-7} s. Pavyzdžiui, ^{238}U skilimo pusamžis – 4,56 mlrd. m., o ^{14}C – apie 5568 m. Nuo 1960 m. archeologijoje ir paleoklimatologijoje sėkmingai naudojamas radiokarboninis metodas: ^{14}C radioaktyvumo kitimu matuojamas augalų ir gyvūnų palaikų bei archeologinių radinių amžius.

Nustatant santykinį uolienų ar nuogulų amžių dar naudojami ir kiti metodai bei principai:

intruzijos sąsajų principas susijęs su intruzijų kontaktu su uolienomis. Jei randamos intruzijos, jų kontaktinės zonos bus visada jaunesnės už pačias intruzijas;

lūžio sąsajų principas taip pat padeda nustatyti santykinį amžių. Jei lūžis kerta uolienų sluoksnius, tai lūžis susiformavo vėliau nei perkirstos uolienos;

inkliuzų ir nuolaužų principas: nuolaužos ar inkliuzai patenka iš suardyto židinio. Vadinasi jos yra jaunesnės už inkliuzus ar nuolaužas talpinančią uolieną;

pirminio horizontalumo principas – nuosėdinių uolienų sluoksniai susiklostė horizontaliai.

4.4. Instrumentinių meteorologinių matavimų rezultatai

Instrumentinių meteorologinių matavimų rezultatai – tai kiekybiniai objektyvūs duomenys apie klimato sistemos būvį. Pasaulinės meteorologijos organizacijos *Globali klimato stebėjimo sistema* (Global Climate Observing System) sudaro įvairūs komponentai:

11 000 antžeminių meteorologijos stočių (iš jų 900 vykdo atmosferos zondavimą iki 30 km aukščio);

900 stacionarių ir dreifuojančių plūdurių vandenynuose;

600 radiolokacijos stočiai;

3000 lėktuvų (nereguliarūs stebėjimai);

7000 laivų (nereguliarūs stebėjimai);

Dirbtiniai Žemės palydovai (geostacionarių ir poliarinių orbitų).

Globalios klimato stebėjimo sistemos svarbiausi rodikliai:

atmosferoje – temperatūra prie Žemės paviršiaus ir įvairiame aukštyje, krituliai, slėgis, spinduliuotės balansas, vėjo kryptis ir greitis, vandens garai, debesuotumas, oro sudėtis (šiltnamio dujos);

vandenyne – temperatūra įvairiame gylyje, spinduliuotės balansas, druskingumas, lygis, bangavimas, leduotumas, srovės, spalva ir skaidrumas, CO₂, maistingosios medžiagos, fitoplanktonas;

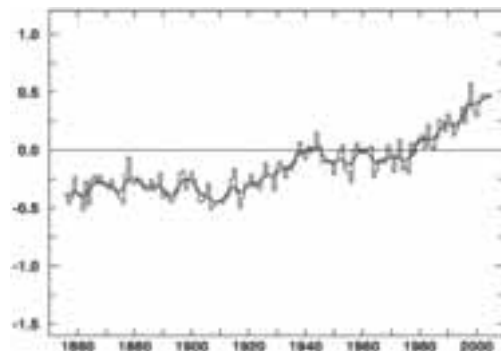
sausumoje – grunto temperatūra įvairiame gylyje, sezoninis ir amžinasis iššalas, upių ir ežerų vandens lygis bei užterštumas, vandens naudojimas, sniego ir ledo dangos, spinduliuotės balansas, albedas, dangą (augalijos ir žemėnaudos tipas), fotosintetiškai aktyvi spinduliuotė, biomasė, gaisringumas.

Globaliai stebėjimų sistemai priklauso ir Pasauliniai duomenų centrai (*The World Data Center (WDC)*). Dabar yra 52 centrai 12 šalių (JAV, Kanadoje, Rusijoje, Japonijoje, Vokietijoje, Italijoje ir kt.). Šie centrai kaupia, apdoroja, analizuoja ir platina įvairius Saulės, geofizinius, aplinkos, meteorologinius, biosferos ir žmonių veiklos duomenis. Duomenų laiko skiriamoji geba – nuo sekundės iki tūkstantmečių. Remiantis šiais duomenimis vykdomas ne tik klimato, bet ir kitų geosferos komponentų monitoringas.

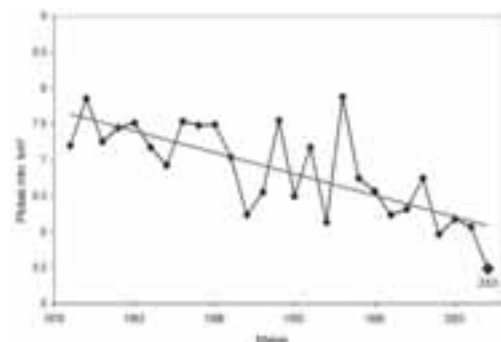
Pirminę visų klimato duomenų apdorojimo grandį sudaro *Nacionaliniai meteorologijos centrai (Meteorologijos tarnybos)*, kurių yra virš 150.

Pirmieji reguliarūs matavimai Pasaulyje

je pradėti dar XVII a.: Centrinėje Anglijoje oro temperatūra matuojama nuo 1659 m., kritulių kiekis Londone nuo 1697 m. Lietuvoje (Vilniuje) oro temperatūra matuojama nuo 1770 m. (duomenys išlikę nuo 1777 m.), krituliai – nuo 1887 m. Tačiau tikslūs ir patikimi instrumentiniai duomenys apie viso Žemės rutulio klimatą yra tik nuo XIX a. pabaigos arba dar vėlesni: oro temperatūros – nuo 1860 m., priežeminio atmosferos slėgio – nuo 1900 m., vandenyno paviršiaus temperatūros – nuo 1930 m., atmosferos sudėties – nuo 1960 m., palydoviniai matavimai – nuo XX a. aštuntojo dešimtmečio ir t.t. (4.8 ir 4.9 pav., 4.6 lentelė).



4.8 pav. Metinė globali oro temperatūra (nuokrypiais nuo 1961-1990 m. vidurkio, °C). XIX a. pabaigoje temperatūra buvo apie 0,7°C žemesnė nei dabar (Climatic Research Unit, 2006)

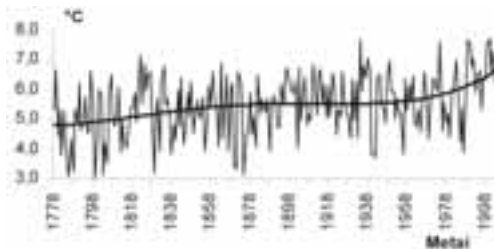


4.9 pav. Arkties jūrinio ledo laukų plotai rugsėjį, kai ledo plotai būna mažiausi (palydovinių matavimų duomenys). Trendo linija rodo ledo ploto mažėjimą po 8% per dešimtmetį (pagal: National Snow..., 2007)

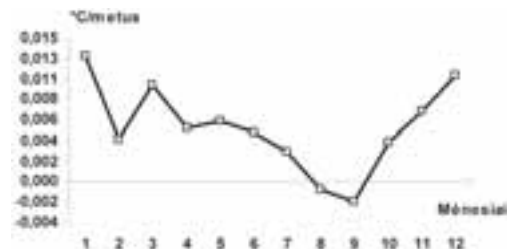
Lietuvos klimato svyravimai: XVIII a. pabaiga – XXI a. pradžia. Turime duomenų apie kasdienius oro temperatūros matavimus Vilniuje nuo 1777 m. Viso matavimo laikotarpio rezultatų analizė rodo aiškią vidutinės metinės oro temperatūros augimo tendenciją trumpalaikių fluktuacijų fone per visą matavimų laikotarpį (4.10a pav.). Vidutinė metų oro temperatūra nuo XVIII a. pabaigos paki-

lo apie 1°C (per XX a. pakilo 0,4–0,5 °C). Per šį laikotarpį ypač atšilo žiemos ir pavasario sezonai (1,5–2,0°C), o vasaros ir rudens sezonų temperatūra pakilo tik 0,1–0,2°C. Ypač staigus metinės oro temperatūros augimas išmatuotas per pastaruosius 15 metų. Oro temperatūros trendai rodo, jog labiausiai oras atšilo sausio bei gruodžio mėnesiais. Tuo tarpu rugpjūčio bei rugsėjo mėnesiais

a)



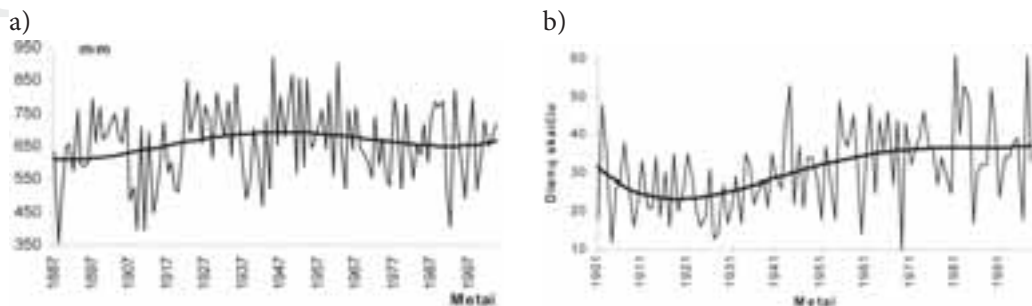
b)



4.10 pav. Vidutinės metinės oro temperatūros kaita (a) bei vidutinės mėnesio oro temperatūros kaitos trendai (b) Vilniuje 1778–2004 metais

4.6 lentelė. Klimato sistemos pokyčiai per XX amžių (pagal: Climate...,2001)

Rodiklis	Pokyčiai
Vidutinė globali oro temperatūra prie Žemės paviršiaus (1,5 m aukštyje)	Pakilo 0,6±0,2°C, virš sausumos pakilo labiau negu virš vandenynų. Paskutinis XX a. dešimtmetis buvo pats šilčiausias per pastaruosius 1000 m.
Temperatūros paros amplitudė prie Žemės paviršiaus	Minimali nakties temperatūra kilo dvigubai greičiau nei maksimali dienos.
Karštų dienų skaičius	Padidėjo
Šaltų dienų skaičius	Sumažėjo
Temperatūra žemutinėje stratosferoje	Dėl ozono sluoksnio nykimo nukrito 1–2°C
Kritulių kiekis sausumoje	Šiaurės pusrutulyje padidėjo 5–10%, tačiau kai kuriuose regionuose sumažėjo (pavyzdžiui, Šiaurės ir Vakarų Afrikoje, Viduržemio jūros regione)
Liūčių skaičius	Išaugo vidutinėse ir aukštesiose Šiaurės pusrutulio platumose
Sausros	Padidėjo dykumėjimo tempai vasarą, sausros tapo dažnesnės, ypač aridiniuose Afrikos ir Azijos rajonuose
Vandenyno lygis	Kilo vidutiniškai po 1–2 mm per metus
Upių ir ežerų užšalimo trukmė	Šiaurės pusrutulyje sutrumpėjo maždaug 2 savaitėmis
Arkties ledų plotai ir storis	Plotai sumažėjo 10–15%, o storis – apie 40%.
Kalnų ledynai	Tirpsta visur – metinis masės balansas neigiamas
Sniego danga	XX a. antroje pusėje sumažėjo apie 10%
Amžinasis įšalas	Poliariiniuose, subpoliariiniuose ir kalnų rajonuose kilo grunto temperatūra, vasarą atitirpsta vis storesnis sluoksnis
El Ninjo reiškiniai	Lyginant su XIX a., per pastaruosius 30 m. reiškiniai tapo dažnesni, intensyvesni ir ilgesni
Vegetacijos laikotarpio trukmė	Nuo 1960 m. Šiaurės pusrutulyje pailgėjo 4–16 d., ypač aukštesiose platumose



4.11 pav. Metinio kritulių kiekio sumos (1887–2004 metais) Vilniuje (a) bei dienų su giliais ciklonais skaičiaus (1901–2000 metais) (b) kaita Baltijos jūros regione

pastebima nedidelė oro temperatūros žemėjimo tendencija (4.10b pav.).

Per matavimų laikotarpį keitėsi ne tik vidutinė temperatūra, bet ir terminų sąlygų ekstremalumas. Metinės oro temperatūros kaitos analizė rodo, jog 1885–1933 m. laikotarpiui būdinga labai nedidelė jos kaita (svyravimo amplitudė siekia vos $2,9^{\circ}\text{C}$). Tai monotoniško klimato laikotarpis, per kurį dėl intensyvios cikloninio pobūdžio cirkuliacijos vyravo švelnios žiemos bei vėsios vasaros. Tuo tarpu 1777–1840 metų, kaip ir nuo 1940 iki šiol besitęsiantis laikotarpis pasižymi daug didesne kaitos amplitude, atspindinčia didesnę klimato ekstremalumą.

Kritulių kiekio matavimai Vilniuje prasiėjo 1887 metais. Sausiausias laikotarpis buvo 1907–1921 metais, drėgniausias – 1922–1936 metais (4.11a pav.). Nustatyta kritulių kiekio didėjimo šaltuoju ir mažėjimo šiltuoju metų laiku tendencija. Tuo tarpu metinė kritulių suma keičiasi labai nežymiai.

Klimato svyravimai ir ilgalaikės orų anomalijos Lietuvoje daugiausiai priklauso nuo atmosferos cirkuliacijos ypatumų, t.y. cikloninės cirkuliacijos intensyvumo bei oro masių advekcijos. Nustatyta, jog nuo XX amžiaus ketvirtojo dešimtmečio pradėjo daugėti gilių ciklonų, praslenkančių per Lietuvą (4.11b pav.). Ypač jų skaičius išaugo žiemos mėnesiais. Taip pat sustiprėjo oro masių pernaša iš vakarų. Tokie atmosferos

cirkuliacijos pokyčiai lėmė terminų sezonų trukmės pokyčius (pavasaris ir rudenį ilgėja, o žiema ir vasara – trumpėja), sezoninių oro temperatūros ir kritulių kiekio skirtumų sumažėjimą, sniego dangos rodiklių (dienų su sniego danga skaičiaus bei sniego storio) mažėjimą. Visa tai rodo mažėjantį Lietuvos klimato kontinentalumą.

4.5. Klimato kaitos priežastys

Klimato sistemos (klimatosferos) atžvilgiu visas klimato kaitos priežastis galima suskirstyti į *išorines* ir *vidines* (4.7 lentelė). Išorės veiksniai lemia energijos prietaką į klimatosferą. Šiai veiksmų grupei priklauso *astronominės* ir *geofizinės* priežastys.

Vidinės klimato kaitos priežastys kyla ir veikia vienos kurios klimato sistemos dalies viduje, bet jos gali paveikti ir kitas klimato sistemos dalis.

Klimatologijos literatūroje taip pat aptinkamas klimato kaitos priežasčių klasifikavimas į gamtines ir antropogenines. Tačiau klimato genezės požiūriu antropogeninius klimato svyravimo veiksmus atskirti nuo gamtinių netikslinga, nes vidinių klimato elementų savybės (pvz., atmosferos dujų sudėtis, paklotinio paviršiaus struktūra ir kt.) gali kisti tiek dėl žmogaus veiklos, tiek dėl gamtinių veiksmų poveikio. Todėl jų suke-

4.7 lentelė. Išorinės ir vidinės klimato kaitos priežastys

Išorinės klimato kaitos priežastys		Vidinės klimato kaitos priežastys
astronominės	geofizinės	
Saulės ir galaktikos spindėjimo intensyvumas, Žemės orbitos forma ir Žemės judėjimo savo orbita parametrai, Žemės ašies polinkis į orbitos plokštumą, Žemės sukimosi aplink savo ašį greitis;	gravitacinis ir magnetinis Žemės laukai, tektonika ir kalnodara, litosferos plokščių dreifas, vulkanizmas, geoterminė šiluma;	atmosferos dujų sudėtis ir aerozolių kiekis, sausumos reljefas ir paklotinio paviršiaus struktūra, vandenyno cheminė sudėtis ir druskingumas, hidrologinio ciklo savybės, atmosferos bei vandenyno cirkuliacijos pokyčiai.

liamą klimato efektą reikia analizuoti kompleksiskai.

Šiuolaikinis mokslas, ko gera, dar nenustatė visų klimato kaitos priežasčių, įvairių išorės ir vidaus veiksnių poveikio klimatui mechanizmų, nes pastarieji dėl klimatosferos dinamiškumo yra nepaprastai sudėtingi, juos sunku modeliuoti. Globalios klimato kaitos priežastys susipina su regioninėmis, dažnai vienos kitas nustelbia arba, atvirkščiai, sustiprina. Ši neapšakomai sudėtinga išorinių ir vidinių klimato sistemos veiksnių sąveika globalioje plotmėje ir regionuose išryškėja įvairiai.

Ilgalaikių ir lėtų klimato svyravimų, kuriuos sukelia determinuoti veiksniai (Žemės orbitos parametrų ir atmosferos cheminės sudėties kitimas, kalnodara, litosferos plokščių dreifas), fone veikia daug atsitiktinių jėgų (Saulės aktyvumo pulsacija, geomagnetinio lauko įtampa, vulkanizmas ir kt.), sukeliančių trumpalaikių klimato svyravimų ir fluktuacijų. Kisdamas klimatas, savo ruožtu, veikia kitų gamtos procesų vyksmą. Todėl atlikdami tyrimus į klimato nepastovumą nuolat turi atsižvelgti hidrologai, glaciologai, geologai, geografs, biologai ir kitų sričių mokslininkai, strateginio ūkio planavimo specialistai.

4.6. Atmosferos sudėties evoliucijos poveikis klimatui

Atmosferos sudėtis per visą Žemės gyvavimo istoriją kardinaliai keitėsi, kartu keitėsi ir klimatas.

Prieš 4,2 mlrd. m. susidarė vandenilio ir helio *pirminė atmosfera*. Prieš 3,5 mlrd. metų ji išsisklaidė. Lavos degazacija ir ugnikalniai iš vandens garų, CO_2 , CH_4 , NH_3 , N , SO_2 , H_2 , H_2S , HCl ir kt. dujų formavo *antros kartos atmosferą*. Tokia atmosfera lėmė spindulinės pusiausvyros temperatūrą (sugertosios ir atspindėtosios spinduliuotės kiekiai lygūs). Prieš 4–2 mlrd. metų – aktyvus vulkanizmas, kaupiasi CO_2 , vandens garai – stiprėja šiltnamio efektas. Kai slėgis pasiekė 6,1 hPa, atsirado sąlygos vandens garų kondensacijai – prasideda vandenynų susidarymas. Prieš 2,5–3,0 mlrd. metų dumbliai ima formuoti *trečios kartos deguoningą atmosferą*. Anglies dioksidas tirpsta vandenynuose ir virsta klintimis. Vandenynai seklūs, maži, todėl klimatas kontinentalus. Kambre–ordovike pasiektas vadinamasis Pastero taškas (O_2 sudaro 1% dabartinio kiekio). Devone susidaro pakankamas O_3 kiekis; gyvybė keliasi į sausumą: atsiranda pirmieji augalai, dvikvapės žuvis, stegocefalai. Didžiausią poveikį klimatui darė ir daro *termodinamiškai aktyvios (šiltnamio) dujos ir priemaišos*: vandens garai, anglies dvideginis (CO_2), ozonas (O_3), azoto suboksidas (N_2O), metanas (CH_4), aerosolis.

Šios dujinės priemaišos intensyviai sugeria Žemės skleidžiamą infraraudonąją spinduliavimą (daugiausia 4–15 μm ilgio bangas) ir sustiprina Žemėje priešpriešinį atmosferos spinduliavimą (dėl to jos ir vadinamos termodinamiškai aktyviomis priemaišomis, arba šiltnamio dujomis). Šiltnamio dujos – gamtinės

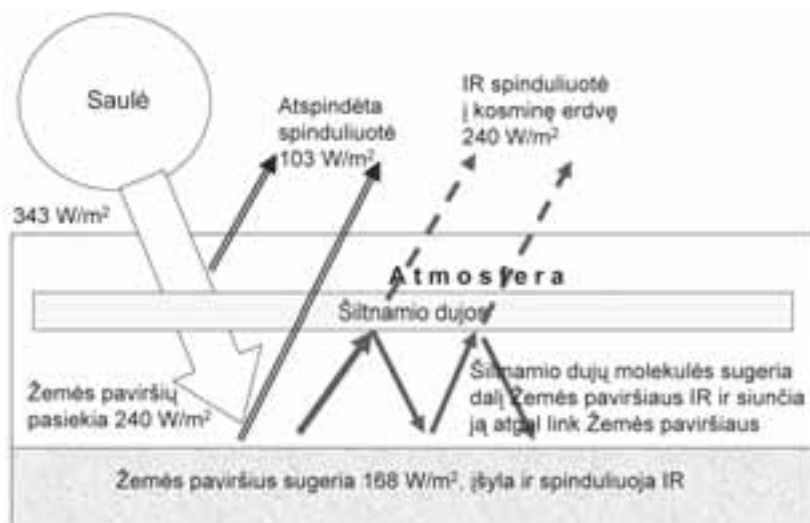
ir antropogeninės kilmės dujiniai atmosferos komponentai, dėl kurių susidaro vadinamasis *šiltnamio efektas*. Per atmosferos stormę prasiskverbia maždaug 70% Žemę pasiekusios trumpabangės Saulės spinduliuotės, dalį jos sugeria paklotinis paviršius ir pats tampa spinduliuavimo šaltiniu. Atmosferoje esančios šiltnamio dujos sugeria didelę dalį (apie 93%) Žemės paviršiaus ilgabangės infraraudonosios spinduliuotės ir grąžina ją atmosferos priešpriešinio spinduliuavimo pavidalu atgal link paviršiaus, todėl žemutinių troposferos sluoksnių temperatūra pakyla (4.12 pav.). Jei atmosfera nesukurtų šiltnamio efekto, mūsų planetoje vidutinė metų temperatūra tesiektų -18°C , o dabar ji yra $+15^{\circ}\text{C}$.

Daugiausia kuriant šiltnamio efektą prisideda vandens garai (21°C), toliau seka anglies dioksidas (7°C), troposferos ir stratosferos ozonas (2°C), azoto suboksidas ($1,4^{\circ}\text{C}$), metanas ($0,8^{\circ}\text{C}$) ir visoms likusioms šiltnamio dujoms tenka taip pat $0,8^{\circ}\text{C}$. Akivaizdu, jog išaugus šiltnamio dujų koncentracijai, stiprėja šiltnamio efektas, kyla žemutinių troposferos sluoksnių temperatūra. Tuo re-

miantis šiltieji laikotarpiai praeityje siejami su didele CO_2 koncentracija. Manoma, kad atmosferoje CO_2 kiekis fanerozojuje kito nuo 5000 ppm kambre iki 250-300 ppm neogene. Todėl paleozojuje globali temperatūra buvo apie $9-10^{\circ}\text{C}$ aukštesnė už dabartinę.

Šiltnamio dujų koncentracija atmosferoje išreiškiama milijoninėmis dalimis (*parts per million (ppm)*) arba milijardinėmis dalimis (*parts per billion (ppb)*). 1 ppm reiškia vieną tam tikrų dujų molekulę milijone visų esamų dujų molekulių, o 1 ppb – milijarde.

Vulkaninės kilmės aerosolis prie Žemės paviršiaus sukelia priešingą – vėsinantį efektą, nes sumažina atmosferos skaidrumą ir Saulės spinduliuotės prietaką. Vulkanizmas yra svarbus ir galingas geofizinis klimato svyravimų veiksnys. Didžioji dalis aerosolių, esančių stratosferoje, yra vulkaninės kilmės. Didžiausia aerosolių koncentracija stratosferoje yra 18–20 km aukštyje, vadinamajame Jungo sluoksnyje. Pelenai pakyla net į 35 km aukštį, dujose gausu CO_2 , SO_2 , Cl , N_2 , NH_3 , vyksta fotocheminės reakcijos, ardomas ozono sluoksnis, po ugnikalnių išsiveržimų iškrinta rūgštieji lietūs.



IR – infraraudonoji (ilgabangė) spinduliuotė

4.12 pav. Šiltnamio efekto susidarymas ir dabartiniai energijos kiekiai (W/m^2) per metus

Kuo vulkaninės medžiagos išmetamos aukščiau, tuo ilgiau jos išsilaiko stratosferoje. Jeigu vulkanų dulkės pasiekia tik tropopauzę, tai jas krituliai išplauna per 5–10 dienų. Klimato svyravimus gali sukelti tik tokie vulkanų išsiveržimai, kai aerosoliai išmetami aukščiau negu 25 km. Tuomet aerosoliai stratosferoje gali išbūti kelerius ar net keliolika metų. Aerosoliai Saulės spinduliuotę sklaido, sugeria, patys spinduliuoja ir taip keičia spinduliuotės balansą. Svarbiausi procesai, reguliuojantys Saulės spinduliuotės prietaką, yra jos išsi-skaidymas ir atspindėjimas. Tačiau aerosoliai sugeria ir Žemės skleidžiamą ilgabangį spinduliuavimą, dėl to galutinis vėsinantys aerozolių sukeliamas efektas sumažėja 15–25%. Po galingų vulkanų išsiveržimų žemutinėje stratosferoje temperatūra 1–1,5°C pakyla, o prie Žemės paviršiaus apie 0,5°C nukrinta.

Priklausomai nuo sudėties, aerosoliai gali veikti Žemės šiluminį balansą ir klimatą tiesiogiai, atspindėdami Saulės spinduliuotę atgal į kosmosą ir taip vėsindami klimatą, arba netiesiogiai, per debesų susidarymą (aerolio dalelės yra debesų kondensacijos branduoliai – be aerolių debesys iš vandens garų gamtoje nesusidarytų).

Netiesioginis aerolių poveikis spinduliuotės balansui susijęs su jų virtimu kondensacijos branduoliais, nes nuo kondensacijos priklauso optinės debesų savybės. Esant didesniam debesuotumui bei šviesesniems debesims daugiau Saulės spinduliuotės atspindima atgal į kosmosą (kuo daugiau kondensacijos branduolių, tuo daugiau mažesnių vandens lašelių, tuo didesnis debesų albedas). Be to, iš smulkialašelių debesų iškrinta mažiau kritulių.

4.7. Vandenyno vaidmuo klimato kaitoje

Vandenyno vaidmuo klimato sistemoje labai svarbus: vandenynas lemia planetos

evoliuciją (atmosferos dujinę sudėtį ir biosferos raidą); kaupia spindulinę energiją ir akumuliuotą šilumą perskirsto tarp platumų; formuoja globalią vandens apytaką; dalyvauja kartu su atmosfera globaliuose cirkuliacijos procesuose.

Pirminę Žemės hidrosferą suformavo du procesai: *lavos degazacija ir juvenilinių (lot. juvenilis – jaunas) Žemės gelmių vandenų išsiskyrimas į požeminę hidrosferą*. Pradedant archėjumi vandenyno lygis kilo gana greitai – po 1 mm/1000 m. Pirminio vandenyno vandenyje buvo daug SiO₂, metano, CO₂, ftoro ir sieros rūgščių.

Archėjaus viduryje šios rūgštys pradėjo neutralizuotis: jungėsi su kalio, natrio, magnio, kalcio karbonatais ir silikatais. Archėjaus pabaigoje vanduo tapo karbonatinis-chloridinis (druskingumas 1–2%). Proterozojuje vandenynas tapo karbonatiniu-sulfatinu-chloridiniu (druskingumas 2–3%). Didėjant vandenyno plotui mažėjo klimato žemyniškumas, stiprėjo vandens apytaka.

Fanerozojui būdingas ryškus vandenyno ploto svyravimas – *transgresijų ir regresijų kaita*. Transgresijas lydėdavo klimato atšilimas ir organinio pasaulio suklestėjimas. Didžiausios transgresijos vyko ordovike, silūre/devone, perme ir juroje, o didžiausios regresijos vyko kambre, karbone, triase ir kreidoje. Pleistocene dėl ledynmečių ir atšilimų kaitaliojimosi taip pat vyko stambaus masto transgresijos ir regresijos, sausumos plotai sumažėdavo ar padidėdavo 10–15 mln. km², o vandenyno lygis svyravo 100–120 m diapazone.

Svarbiausios priežastys, sukėlusios transgresijas ir regresijas, yra šios:

- a) vertikalūs platformų judesiai – orogenezės metu padidėdavo sausumos plotai;
- b) keitėsi Pasaulio vandenyno duburių tūris;
- c) klimato atšalimai ir atšilimai.

Mezozojuje vandenyno temperatūra buvo 14°C aukštesnė nei dabar, tačiau kainozojuje vandenynas ėmė vėsti, temperatūra nukrito 9–10°C. Sustiprėjo vandenyno cirkuliacija: šalti poliariniai vandenys leidosi gilyn ir plūdo link pusiaujo giluminių srovių pavidalu; tai priverė šiltus vandenius tekėti link ašigalių, kur jie vėl atšaldavo ir nugrimzdavo. Didėjantis temperatūros gradientas tarp ašigalių ir pusiaujo skatino zoniinę atmosferos cirkuliaciją. Sumažėjo garavimas, kritulių kiekis virš sausumos, siaurėjo jūrinio klimato teritorijos – klimatas tapo vėsesnis ir sausesnis.

4.8. Litosferos plokščių mobilizmo teorijos taikymas paleoklimatinėse rekonstrukcijose

Remiantis paleoklimatiniais indikatoriais nustatyta, kad visais laikais geologinėje praeityje egzistavo ekvatorinė, tropinė, subtropinė, o kartais ir vidutinė klimato juostos. Tačiau dabartiniuose žemynuose paleoklimato juostos nesudaro vieningos zoniinės sistemos – kertasi, turi meridianinę kryptį, susiskaidžiusios į atskirus plotelius ir pan. Kodėl? Pirmasis iš šių klausimų XX a. pradžioje atsakė A. Vegeneris, sukurdamas *žemynų dreifo (mobilizmo) teoriją*.

Mobilizmo teorijos mokslinį pagrindą padėjo sukurti paleomagnetiniai duomenys. Dėl masės persiskirstymo (litosferos plokščių judėjimo) Žemėje keitėsi geografinių ir magnetinių polių padėtis. Paleomagnetiniu metodu buvo nustatyta senųjų magnetinių laukų kryptys ir poliai, o remiantis tuo rekonstruotas ir žemynų išsidėstymas. Kad žemynai buvo kitoje vietoje ir dreifavo, patvirtina panašūs jų kontūrai (pavyzdžiui, Pietų Amerikos ir Afrikos, jei lyginsim 1800 m izobatas) bei kiti paleoklimatiniai indikatoriai (augalų ir gyvūnų liekanos, nuosėdinės uolienos).

Žemės pluta ir dalis viršutinės mantijos sudaro 50–70 km storio kietą sluoksnį, vadinamą litosfera. Ji guli ant klampios astenosferos. Litosfera yra suskilusi į plokštes (7 didelės ir daug mažų). Septynios didžiosios plokštės dengia apie 94% Žemės paviršiaus. Tai Ramiojo vandenyno, Afrikos, Eurazijos, Australijos, Šiaurės Amerikos, Pietų Amerikos ir Antarktidos plokštės. Plokštėms slenkant vienos sandūrose vyksta tempimas, proplaiša platinėja, o kitose priešingai – gretimoms plokštėms grūdasi viena ant kitos arba panirya viena po kita. Plokščių sandūrose vyksta visi *endogeniniai geodinaminiai procesai*: vulkanizmas, Žemės drebėjimai, kalnodara (susidaro luistiniai, raukšlėti kalnai).

Konvekcinių srovės astenosferoje verčia plokštes po truputį slinkti viena kitos atžvilgiu. Dėl to atsiranda žemynų judėjimas ir plyšiai vandenynų dugnuose. Ties plokščių pakraščiais vyksta drebėjimai, ties plyšiais – vulkaninė veikla. Dėl šių priežasčių senasis Pangėjos superžemynas prieš 200–180 mln. metų jūros periode skilo į Gondvaną ir Lauraziją. Klimatas dėl didelių sausumos plotų žemyno viduje turėjo būti labai sausas ir žemyniškas. Dar po 30 mln. metų pati Gondvana pradėjo skilti į šiuolaikinius žemynus – prasidėjo mezozojaus era.

Litosferos plokščių mobilizmo poveikis klimatui:

- skilus didiesiems Pangėjos, Gondvanos ir Laurazijos žemynams į mažesnius, sumažėjo klimato žemyniškumas žemynuose;
- atslinkus kuriam nors žemynui į poliarinę sritį, prasidėdavo jo apledėjimas ir globalus klimato atvėsimas (pavyzdžiui, kainozojaus atvėsimas dėl Antarktidos padėties Pietų poliarinėje srityje, permo apledėjimas ir t.t.);
- dreifuojant žemynams keitėsi vandenyno srovių sistema, pavyzdžiui, prieš 3,5 mln. metų susidarius Panamos sąsmaukai, sustiprėjo šilto vandens tekėjimas į Šiaurės

Atlantą, sustiprėjo garavimas, padaugėjo kritulių Grenlandijoje, Kanadoje ir Šiaurės Europoje – ėmė augti ledynai.

4.9. Astronominės klimato svyravimų teorijos

Astronominės teorijos susieja klimato svyravimus su Saulės spinduliuotės intensyvumo ir spektrinės sudėties svyravimais. Egzistuoja dvi teorijų (hipotezių) grupės:

1. Klimato svyravimus lemia Saulės šviesio kitimas, nes Saulė – nestabili žvaigždė.
2. Saulės šviesis ir insoliacija pastovūs, kita tik Žemės padėtis Saulės sistemoje ir kosminėje erdvėje.

Nuo astronominių veiksnių priklauso Saulės energijos srauto (insoliacijos) intensyvumas ties viršutine atmosferos riba. Šis visų ilgių bangų bendrasis Saulės spindulių srautas, esant vidutiniam Žemės nuotoliui nuo Saulės, vadinamas *meteorologine Saulės konstanta*, kuri lygi 1370 W/m^2 .

Saulės insoliacija ties viršutine atmosferos riba gali kisti dėl įvairių priežasčių. Pirmoji iš jų – pačios Saulės šviesio (spinduliuavimo galia). Keičiasi ne tik Saulės spindulių spektrinė sudėtis, bet ir intensyvumas. Per Žemės egzistavimo 4 mlrd. metų Saulės šviesis padidėjo 25–30%, bet šio veiksnio poveikį nustelbė albedo pokyčiai.

Iš palydovų atliktų matavimų nustatyta, kad Saulės konstantos reikšmė svyruoja tarp $1366\text{--}1377 \text{ W/m}^2$. Manoma, kad šiuos Saulės konstantos svyravimus lemia dėl Saulės aktyvumo besikeičiantis ultravioletinių, rentgeno ir gama spindulių intensyvumas. Nors šių spindulių intensyvumas kinta net kelių procentų diapazone, jų sukeliamas efektas nedidelis – tie spinduliai tiekia tik 9% Saulės energijos. Todėl metiniai integraliniai Saulės konstantos svyravimai dažniausiai neviršija

5 W/m^2 , t. y. apie 0,4%. Tai gali sukelti globalios temperatūros svyravimus tik $0,2\text{--}0,3^\circ\text{C}$ diapazone.

Antroji priežastis, sukelianti Saulės konstantos svyravimus – tai Žemės orbitos parametų kitimas, nes dėl jų pasikeičia atstumas iki Saulės. Dėl to, tokie Saulės konstantos svyravimai kartais neteisingai interpretuojama kaip Saulės šviesio kaita.

M. Milankovičiaus astronominė klimato svyravimų teorija. Šią teoriją trečiame–ketvirtame XX amžiaus dešimtmetyje sukūrė ir praktiškai patikrino serbų astrofizikas Milutin Milankovitch (1879–1958). Vėliau M. Milankovičiaus teorija buvo tikslinama, tobulinama, atsirado ne tik jos šalininkų, bet ir kritikų. Dabartiniu metu M. Milankovičiaus teorijos pagrindu atliekamas paleoklimato ir ateities klimato modeliavimas. Šios teorijos esmė: Saulės insoliacija ties viršutine atmosferos riba nėra pastovi; jos svyravimai siejami su trim Žemės orbitos parametrais: *ekscentriciteto kaita*, *Žemės ašies precesija*, *Žemės sukimosi ašies polinkio kampo į orbitos plokštumą kaita*.

Ekscentriciteto (e) kaita lemia Žemės atstumo iki Saulės pokyčius ir kartu energijos prietaką į ploto vienetą ties viršutine atmosferos riba, esant Žemei įvairiuose orbitos taškuose (4.13 pav.). Orbitos ekscentricitetas kinta nuo 0,001 (beveik apskritiminė orbita) iki 0,0658. Svarbiausi ekscentriciteto svyravimo ciklai yra 100 tūkst., 420 tūkst. ir 1,2 mln. metų trukmės.

Apskaičiuokime, kiek gali pasikeisti Saulės energijos prietaka į Žemę, esant jai tolimiausiam (afelio) ir artimiausiam (perihelio) orbitos taškuose. Šiuo metu nuotolis nuo Saulės afelyje – 152,096 mln. km, perihelyje – 147,100 mln. km, vidutinis – 149,598 mln. km, o orbitos ekscentricitetas – 0,0167. Esant bet kokiam atstumui iki Saulės (r), energijos srautas I^* bus lygus:

$$I^* = I_0 \frac{r_0^2}{r^2} \quad (1)$$

čia I_0 – meteorologinė Saulės konstanta, r_0 – vidutinis atstumas tarp Saulės ir Žemės.

Atstumas iki Saulės, kai Žemė perihelyje:

$$r_p = r_0 (1 - e), \quad (2)$$

kai afelyje:

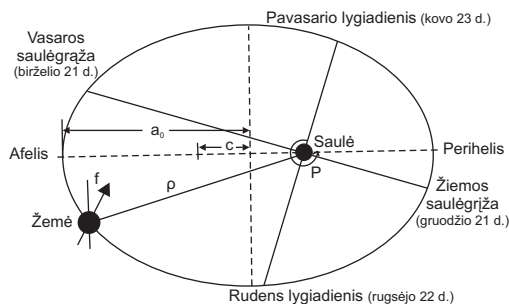
$$r_a = r_0 (1 + e). \quad (3)$$

(2) ir (3) lygtis įrašę į (1) ir apskaičiuosime Saulės energijos kiekį, tenkantį ploto vienetui perihelyje ir afelyje:

$$I_p^* = I_0 \frac{1}{(1 - e)^2} = I_0 (1 - e)^{-2} = 1420 \text{ W/m}^2 \quad (4)$$

$$I_a^* = I_0 \frac{1}{(1 + e)^2} = I_0 (1 + e)^{-2} = 1328 \text{ W/m}^2 \quad (5)$$

Kaip matyti, šiuo metu Saulės insoliacija perihelyje yra 92 W/m^2 didesnė negu afelyje. Šis skirtumas kintant ekscentricitetui keičiasi ir sudaro nuo 7 iki 26 % Saulės konstantos. Šiuo metu e mažėja ir dar mažės apie 25 000 m., kol pasieks minimumą 0,016. Todėl mažės insoliacijos skirtumai į Žemę, esant jai afelyje ir perihelyje.



4.13 pav. Žemės orbitos parametrų schema: a_0 – didysis elipsės (orbitos) pusašis, c – atstumas nuo elipsės centro iki Saulės, $e = c/a_0$ – ekscentricitetas, f – Žemės sukimosi ašies polinkis į orbitos plokštumą, P – perihelio ilguma (kampas tarp linijos Saulė – lygiadienio taškas ir linijos Saulė – perihelio taškas)

Saulės insoliacija į Žemę priklauso ir nuo Žemės ašies precesijos, kurią sukelia Mėnulio ir Saulės traukos poveikis paplokščiai Že-

mei (dėl masės pertekliaus Žemės pusiaujo srityse). Precesija – tai lėtas periodinis Žemės ašies sukimasis apie statmenį į orbitos (ekliptikos) plokštumą. Precesijos periodas – 21–25 tūkst. metų. Precesiją konkrečiu laiko momentu nusako perihelio ilguma P (4.13 pav.). Šiuo metu $P = 102,95^\circ$. Dėl precesijos orbitoje kinta lygiadienių ir saulėgrįžų taškų vietos. Jie per metus pasislenka $50''$ priešinga Žemės judėjimo ekliptika kryptimi. Pavyzdžiui, žiemos saulėgrįža nuo perihelio taško nutolsta per 57,5 metus viena diena. Dėl to lygiadienio taškai gali atsidurti perihelyje arba afelyje.

Precesijos reikšmė Žemės klimatui tuo svarbesnė, kuo didesnis Žemės orbitos ekscentricitetas, t. y. kuo ji yra pailgesnė. Pagal J. Keplerio antrąjį dėsnį, perihelio orbitos dalyje Žemė yra arčiau Saulės, todėl skrieja greičiau bei gauna daugiau Saulės energijos, o afelyje, priešingai, Žemė skrieja lėčiau ir Saulės energijos gauna mažiau (nes didesnis atstumas iki Saulės). Todėl perihelio astronominis pusmetis yra 7 paromis trumpesnis už afelio astronominį pusmetį. Tad labai svarbu, koku metų laiku Žemė yra perihelio ir afelio taškuose. Neseniai, 1250 metais, perihelyje būdavo žiemos saulėgrįžos taškas, o dabar Žemė perihelį kerta sausio 4 d.

Taigi, kai Žemė perihelyje XII–II mėn., Šiaurės pusrutulyje trumpesnė ir šiltesnė žiema, o vasara vėsesnė ir ilgesnė (lyginant su Pietų pusrutulio atitinkamais sezonais). Kai Žemė perihelyje skrieja VI–VIII mėn., atvirkščiai – Šiaurės pusrutulyje šiltesnė, bet trumpesnė vasara, o žiema ilgesnė ir vėsesnė; Pietų pusrutulyje – trumpesnė ir šiltesnė žiema, o vasara vėsesnė ir ilgesnė.

Per paskutinįjį Viurmo apledėjimą (prieš 20–25 tūkst. metų) lygiadienių ir saulėgrįžų taškai buvo toje pačioje orbitos vietoje kaip ir dabar. Todėl Šiaurės pusrutulio vasaros tuomet buvo palyginti vėsios – tai buvo palanki sąlyga progresuoti ledynams.

Klimatiniai efektai padidėjus Žemės ašies polinkio kampui:

vasarą poliarinėse ir vidutinėse platumose padidėja Saulės aukštis virš horizonto (h_0) bei spinduliuotės prietaka, pakyla temperatūra, o žiemą – atvirkščiai: sumažėja Saulės h_0 , žiema tampa šaltesnė; poliarinėse ir vidutinėse platumose padidėja tarpsezoniniai spinduliuotės ir temperatūros skirtumai; tarpplatininiai spinduliuotės ir temperatūros skirtumai vasarą sumažėja, o žiemą – padidėja; poliariniai ratai (jų platumą) pasislenka link pusiaujo, o atogrąžų ratai – link ašigalių.

Klimatiniai efektai sumažėjus Žemės ašies polinkio kampui:

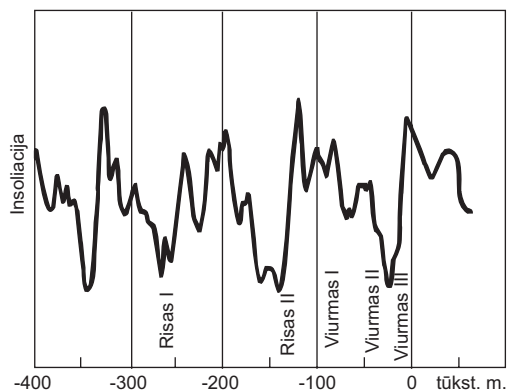
vasarą poliarinėse ir vidutinėse platumose sumažėja Saulės h_0 bei spinduliuotės prietaka, vasara tampa vėsesnė; žiemą – atvirkščiai: padidėja Saulės h_0 , žiema tampa šiltesnė; vidutinėse ir poliarinėse platumose sumažėja tarpsezoniniai spinduliuotės bei temperatūros skirtumai; tarpplatininiai spinduliuotės ir temperatūros skirtumai vasarą padidėja, o žiemą – sumažėja; poliariniai ratai (jų platumą) pasislenka link ašigalių, o atogrąžų ratai – link pusiaujo.

Žemės sukimosi ašies polinkio kampas φ orbitos plokštumą (arba kampas tarp Žemės pusiaujo plokštumos ir orbitos plokštumos), kuris dabar lygus $23,45^\circ$, lėtai kinta tarp 22° ir $24,5^\circ$. Svyravimo periodus, kurie apytikriai lygūs 41 tūkst. ir 23 tūkst. metų, lemia Mėnulio ir kitų planetų trauka.

Padidėjus Žemės ašies polinkio kampui 1° , Lietuvos platumose Saulės spinduliuotės prietaka vasarą išaugtų 1,5–2%, o žiemą sumažėtų 3,5–4%. Taigi padidėjęs Žemės ašies polinkis į orbitos plokštumą išryškina sezoninius, bet sušvelnina platuminius Saulės spinduliuotės ir oro temperatūros Žemėje skirtumus.

Dėl poliarinių ir atogrąžų ratų platumos pokyčių keičiasi teritorijų, kur susidaro poliarinės dienos ir naktys, plotai. Atitinkamai keičiasi pusiaujo konvergencijos zonos (PKZ) judėjimas abipus pusiaujo: pavyzdžiui, padidėjus ašies polinkiui, PKZ gali labiau nutolti nuo pusiaujo, prasiplečia zona, kurioje iškrinta jos lemiami krituliai (mažėjant ašies polinkiui, ši zona siaurėja).

Pasak M. Milankovičiaus astronominės klimato svyravimų teorijos, ilgalaikiai Žemės orbitos geometrijos svyravimai yra pagrindinė kvartero ledynmečių priežastis. Dabar Žemės orbitos parametrai yra apskaičiuoti 30×10^6 metų į praeitį ir 1×10^6 metų į ateitį. Per artimiausius 10 000 m. Žemės ašies polinkis mažės, todėl vasaromis poliarinės sritys gaus vis mažiau Saulės energijos



4.14 pav. Vasaros insoliacijos (santykiniais vienetais) svyravimai dėl Žemės orbitos parametrų nepastovumo (pagal: Berger, 1989)

– palanki sąlyga ledynams progresuoti (taip pat buvo prieš 25 000 m.).

Visų trijų orbitos parametrų bendra įtaka insoliacijos intensyvumui parodyta 4.14 paveiksle. Silpnos insoliacijos laikotarpiai sutampa su senaisiais Europos apledėjimais. Saulės insoliacija aukštosiose platumose vasarą svyravo 30% diapazone, o tai prilygsta Saulės konstantos 10–15% pokyčiui. Taigi toks insoliacijos susilpnėjimas galėjo būti apledėjimo priežastis.

4.10. Heliofizinių veiksnių poveikis klimatui

Šiuolaikinėje klimatologijoje vis dažniau reiškiamos nuomonės apie ryšius tarp kli-

mato ir Saulėje vykstančių procesų. Šia tema daug diskutuojama, nes dar ne iki galo aiškūs šių ryšių fizikiniai mechanizmai, be to, ne visuose Žemės rutulio regionuose pavyksta nustatyti jų apraiškas.

Iš *heliografinių* tyrimo duomenų sužinoma Saulės atmosferos medžiagos temperatūra, tankis, judėjimo greitis, cheminė sudėtis, magnetinių laukų stipris, aktyvių darinių matmenys, sandara, spinduliavimo stipris, spektrai; iš jų išryškėja Saulės gelmių sandara, energijos šaltiniai ir visos Saulės raida. Tiriami iš aukštuminių astronomijos observatorijų Žemės paviršiuje, balionų, raketų ir DŽP orbitinių observatorijų.

Svarbiausias heliofizinis veiksnys – Saulės aktyvumas. Saulės aktyvumas – cikliškai, vidutiniškai kas 11 metų kintantys Saulės atmosferos dariniai ir reiškiniai. Stiprėjant Saulės aktyvumui, Saulės fotosferoje susidaro stiprūs vietiniai magnetiniai laukai, kurie po to virsta magnetinio aktyvumo sritimis. Jose susidaro dėmės, žibintai, flokulai, chromosferos žybsniai, iškyla protuberantai. Sustiprėjusio Saulės aktyvumo metu padidėja Saulės vainikas, sustiprėja Saulės radijo spinduliavimas ir Saulės vėjo intensyvumas. Saulės aktyvumo rodikliai: dėmėtumas, reiškiamas *Volfo skaičiumi*; fakelų ir protuberantų skaičius; Saulės radijo spinduliavimo (10,7 cm ilgio bangomis) intensyvumas ir kt. Volfo skaičius – Saulės dėmėtumo skaitmeninis rodiklis. Apskaičiuojamas iš formulės

$$W=k(10g+f)$$

čia g – dėmių grupių skaičius, f – dėmių skaičius, k – konstanta, priklausanti nuo stebėjimo prietaiso ir sąlygų. Didžiausio Saulės aktyvumo metu W kinta nuo 100 iki 200, mažiausio aktyvumo metu sumažėja kartais iki 0. Volfo skaičiaus tikslūs matavimo duomenys yra nuo 1700 metų (4.15 pav.). Volfo skaičius nėra pats tiksliausias Saulės aktyvumo rodiklis, tačiau klimatologų itin vertina-

mas dėl duomenų sekos ilgumo. Pavyzdžiui, Saulės radijo spinduliavimo matavimai atliekami tik nuo 1946 m.

Saulės dėmės – Saulės fotosferos dariniai, tamsesni už fotosferą. Susideda iš tamsesnės centrinės srities (šešėlio) ir ją supančio šviesesnio pusšešėlio. Temperatūra 1000–2000 K žemesnė už fotosferos temperatūrą, dėl to Saulės dėmės yra 2–5 kartus tamsesnės už fotosferą. Gyvavimo trukmė – nuo kelių valandų iki kelių dešimčių dienų, skersmuo – nuo kelių šimtų iki kelių tūkstančių kilometrų. Susidaro skirtingo magnetinio poliškumo poromis arba grupėmis. Prasidėjus Saulės aktyvumo stiprėjimo ciklui, pirmosios dėmės pasirodo 30–40° heliografinėse platumose abipus Saulės pusiaujo, vėliau jų daugėja vis arčiau pusiaujo. Daugiausia dėmių būna 10–20° heliografinėse platumose. Ciklo pabaigoje dėmės telkiasi siauroje juostoje prie pusiaujo.

Nustatyta, jog dėmių skaičius Saulėje kinta ciklais, kurių trukmė yra vidutiniškai 11 metų (kinta nuo 7 iki 17 m.). Visiems 11 metų ciklams suteikiamas eilės numeris nuo 1-ojo (1756–1766 m.) iki 23-ojo, kuris prasidėjo 1997 m., o maksimumą pasiekė 2000 metais. 22-jų metų ciklą sudaro du 11 metų ciklai, turintys lyginį ir nelyginį numerį. Saulės magnetinio lauko poliškumas taip pat pakinta kas 22,3 m.

Svarbiausi Saulės aktyvumo ciklai pagal Volfo skaičių: 11 m., 22 m. (lemia Saulės magnetinio lauko poliškumas), 90 m., 160–170 m., 300 m., 600 m., 1500–2000 m.

Saulės aktyvumo poveikis Žemės klimatui:

- kinta Saulės konstanta (~0,3% diapazone)
- Saulės vėjo dalelės tampa kristalizacijos branduoliais ir padidina Ci debesuotumą
- kinta atmosferos elektrizacija
- poveikis ozonosferai (esant Saulės aktyvumo minimumui O_3 sumažėja)

- Saulės plazma, prasiskverbusi į Žemės magnetosferą, sukelia magnetines audras
- Saulės vėjas jonizuoja viršutinius atmosferos sluoksnius ir pakelia jų temperatūrą.

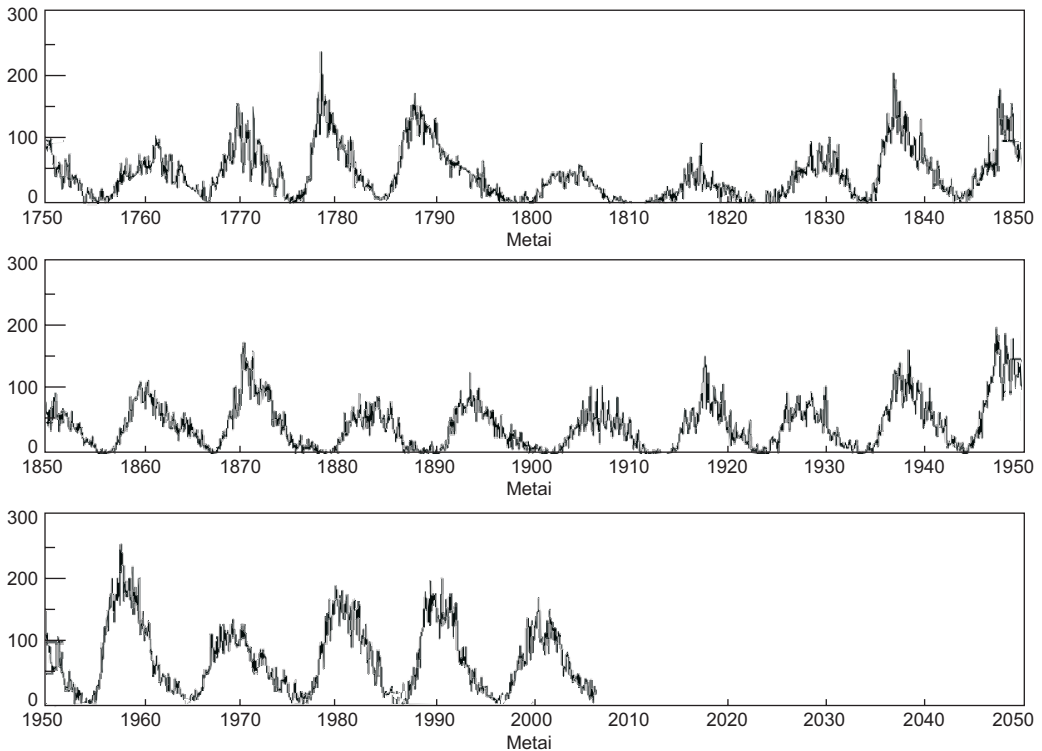
Aiškaus ryšio tarp Saulės aktyvumo (jei pastarasis apibūdinamas Volfo skaičiumi) ir Saulės insoliacijos stiprumo nėra, nes nuo dėmių skaičiaus Saulėje daugiausia priklauso korpuskulinis spinduliavimas, kuriam tenka tik menka Saulės energijos dalis. Tai aiškinama tuo, kad esant didžiausiam dėmių skaičiui, padaugėja fakelių, kurie iš dalies kompensuoja sumažėjusį Saulės šviesį, ir dėl to meteorologinė Saulės konstanta beveik nepakinta.

Nustatyti ryšiai tarp Žemės magnetinio lauko perturbacijų ir apatinėje atmosferoje vykstančių reiškinių interpretuojami kaip kosmose vykstančių procesų poveikis atmosferos procesams. Esant sutrikdytam geoma-

gnetiniam laukui sustiprėja sąveika tarp troposferos ir stratosferos barinių laukų ir sustiprėja zoninė oro pernaša visuose lygiuose. Taip pat manoma, kad tik poliarinių sričių (iki 75° š. pl.) barinis laukas į geomagnetinio lauko trikdžius reaguoja vienareikšmiškai, o vidutinių platumų barinio lauko reakcija yra azoninio pobūdžio.

Žemės magnetinio lauko būklei apibūdinti dažniausiai naudojamas geomagnetinis indeksas Kp , kurį apskaičiuojant įvertinama Saulės vėjo dalelių (aktyviųjų protonų) tankis, greitis bei magnetinio lauko įtampa ir kryptis tarpplanetinėje erdvėje. Todėl pagal indeksą Kp galima nustatyti bent jau kosmofizinių procesų laiko reperius. Aiški sausrų Europoje ir JAV priklausomybė nuo geomagnetinio aktyvumo.

Nustatyta, jog silpnėjant geomagnetiniam aktyvumui, poliariniuose rajonuose formuojasi žemo slėgio sritis su giliais ciklonais,



4.15 pav. Saulės aktyvumas Volfo skaičiumi (NASA, 2007)

tuo tarpu vidutinėse platumose (Europos ir Šiaurės Amerikos žemdirbystės rajonuose) atmosferos slėgis kyla, ir jau nuo gegužės mėnesio prasideda sausra.

Saulės aktyvumo poveikio atmosferos slėgio laukui mechanizmas gali būti toks: esant dideliui Saulės aktyvumui korpuskulių srautai stiprėja ir prasiskverbia į viršutinę Žemės atmosferą ties magnetiniais ašigaliais, kur sukelia aukštųjų atmosferos sluoksnių jonizaciją ir išsilimą. Iš išilusių poliarinių sričių oro masės nuteka, todėl tai gali būti Islandijos depresijos gilėjimo priežastis.

Be to, nustatyta, kad per aštuonių ciklų (Nr. 13–20) laikotarpį lyginių ciklų fazėje Islandijos depresija žiemą pasislinkdavo link Skandinavijos. Tačiau ir šis, ir kiti Saulės–Žemės atmosferos sistemos ryšiai nėra pastovūs, pirmiausia dėl to, kad juos gali nustelbti kiti klimato svyravimus sukeliantys veiksniai.

4.11. Antropogeninių veiksnių poveikis klimatui

Per pastaruosius du šimtus metų klimato sistema tapo daug sudėtingesnė lyginant su priešindustriniu laikotarpiu, nes stiprėja antropogeninių veiksnių poveikis: sumažėjo miškų plotai, išsiplėtė dirbamų žemių ir urbanizuotų teritorijų masyvai, sparčiai keičiasi atmosferos dujinė sudėtis ir stiprėja šiltnamio efektas, didėja dirvožemio ir vandenų tarša. Dėl žmogaus veiklos padidėjo klimato svyravimų amplitudė ir sutriko įprastinė klimato sistemos dinamika. Žmogaus ūkinės veiklos poveikis klimatui pokyčiams atspindi ryškiaje globalios oro temperatūros augime XX a. pabaigoje – XXI a. pradžioje. Todėl daugelis klimato tyrėjų klimato kaitos dėsningumus sieja su antropogeninio poveikio stiprėjimu. Ryšiai tarp atmosferos teršalų išmetimų ir klimato pokyčių laikomi

pačiais patikimiausiais, bet kuriant klimato modelius ir prognozes įvertinami ir gamtiniai veiksniai.

Antropogeniniai klimato veiksniai skirstomi į *globalius* – tai šiltnamio dujų emisija ir jų koncentracijos atmosferoje didėjimas, ir *regioninius* – tai antropogeninės kilmės aerozoliai, atmosferos ir hidrosferos „šiluminė tarša“, paklotinio paviršiaus keitimas, tvenkinių kūrimas.

Klimato tyrinėtojų dėmesio centre – *šiltnamio efektą* sukeliančių dujų koncentracijos didėjimas atmosferoje, daugiausia susijęs su kuro deginimu ir augančiais atmosferos teršimo tempais.

Svarbiausios antropogeninės kilmės šiltnamio dujos:

Anglies dvideginis (CO_2);
Metanas (CH_4);
Azoto suboksidas (N_2O);
Sieros heksafluoridas (SF_6);
Hidrofluorangliavandeniliai (HFC's);
Perfluorangliavandeniliai (PFC's);
Chlorfluorangliavandeniliai (CFC).

Be šiltnamio efekto stiprinimo, kai kurie komponentai (freonai, azoto, chloro junginiai) dar chemiškai ardo ozono sluoksnį.

Nuo pramonės revoliucijos laikų XIX amžiuje, šiltnamio dujų koncentracija atmosferoje nuolat auga (4.8 lentelė). CO_2 koncentracija daugiausia padidėjo dėl iškastinio kuro (akmens anglių, dujų, naftos) deginimo energetikos ir transporto sektoriuose, įvairių pramonės technologinių procesų, miškų (t.y. šiltnamio dujų absorbentų) naikinimo. Atmosferoje ypač sparčiai daugėja metano – 1–2%, azoto suboksido – 0,2–0,4% per metus.

Nemažiau svarbūs ir kiti globalaus masto procesai bei grįžtamieji klimato sistemos ryšiai. Tai spartus periodiškai drėgnų savanų

4.8 lentelė. Šiltnamio dujų koncentracija, išsilaikymas ir potencialas (pagal: Climate..., 2001)

Rodiklis	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HFC-23	CF ₄
Ikiindustrinė koncentracija 1750 m.	280 ppm	700 ppb	270 ppb	0	0	40 ppt
Koncentracija 2005 m. ir lyg. su 1750 m.	377 ppm 135%	1783 ppb 255%	319 ppb 118%	268 ppt	14 ppt	80 ppt 200%
Koncentracijos didėjimas per metus (vidut. 1995-2004)	1,9 ppm	3,7 ppb	0,8 ppb	-1,4 ppt	0,55 ppt	1 ppt
Išsilaikymo trukmė (m.) atmosferoje	5-200	12	114	45	260	>50000
Šiltnamio efekto kūrimo potencialas lyg. su CO ₂	1	62	275	6000	9400	3900

bei retmiškių dykumėjimas dėl ekstensyvaus nuganymo, išpustymo ir sutrikusio sezoninių liūčių periodiškumo, stratosferinio ozono nykimas. Ozono koncentracijos mažėjimas lemia žemutinės stratosferos temperatūros žemėjimą.

Žmonių ūkinė veikla tiesioginio poveikio nedaro tik vieninteliam šiltnamio dujų komponentui – vandens garų kiekiui, tačiau reikia nepamiršti, kad šylant troposferai vandens garų taip pat daugėja, nes stiprėja garavimas iš vandenynų, t.y. pasireiškia vadinamasis teigiamas grįžtamasis ryšys.

Nuo pramonės revoliucijos laikų XIX amžiuje šiltnamio dujų koncentracija atmosferoje nuolat auga (4.16 pav.). CO₂ koncentracija daugiausia padidėjo dėl iškastinio kuro (akmens anglių, dujų, naftos) deginimo energetikos ir transporto sektoriuose, įvairių pramonės technologinių procesų, miškų (t.y. šiltnamio dujų absorbentų) naikinimo. Metanas išsiskiria išgaunant, transportuojant ir naudojant gamtines dujas ir anglių, gyvulininkystėje, iš ryžių laukų, sąvartynų. Azoto suboksidas susidaro naudojant azotines trąšas bei gaminant sintetinį pluoštą. Hidrofluorangliavandeniliai (HFC), perfluorangliavandeniliai (PFC) ir sieros heksafluoridas (SF₆) išsiskiria chemijos pramonės procesuose, naudojami šaldymo įrenginiuose, aerozoliniuose balionuose. Tai alternatyvos ozono sluoksnį ardantiems chlorofluorangliavandeniliams (CFC), kurių

pagal Monrealio protokolą turi būti pamažu atsisakoma.

Tačiau šiltnamio dujos Žemės paviršiaus IR spinduliuotę sugeria nevienodai efektyviai. Vienos sugeria įvairių ilgių IR spinduliuotę, kitos gi – tik siauro spektro bangas. Be to, šiltnamio dujos labai skiriasi pagal savo išsilaikymo atmosferoje trukmę. Pavyzdžiui, CO₂ atmosferoje gali išbūti 5–200 metų, metanas – 12, azoto suboksidas – 114, tuo tarpu kai kurių fluoruotų šiltnamio dujų (SF₆, CF₄) gyvavimo trukmė gali siekti net kelias dešimtis tūkstančių metų (4.8 lentelė). Todėl viena tona į atmosferą išmestų šiltnamio dujų turi skirtingo dydžio poveikį šiltnamio efektui, t.y. turi skirtingą *šiltnamio efekto kūrimo potencialą*. Jeigu minėtąjį CO₂ potencialą prilyginsim 1, tai per 100 metų (įvertinus išsilaikymo atmosferoje trukmę) globalus metano potencialas bus 23 kartus didesnis už CO₂, azoto suboksido – 296 kartus, SF₆ – 22 200 kartų, įvairių HFC – nuo 12 iki 12 000 kartų, PFC – 5700-11900 kartų. Net jei visame Pasaulyje staiga būtų labai sumažinta šiltnamio dujų emisija, prireiktų kelių šimtmečių, kol šių dujų koncentracija ore pasiektų priešindustrinį lygį.

Tarpyvrausybinė klimato kaitos komisija (TKKK) „Trečiojoje įvertinimo ataskaitoje“ 2001 m. pateikė naujų ir akivaizdžių įrodymų, jog dabartinis klimato atšilimas prasidėjo daugiausia dėl antropogeninės veiklos (2007 m. pasirodys ketvirtoji TKKK

ataskaita). Nuo XVIII a. vidurio CO_2 koncentracija atmosferoje išaugo 31% (nuo 280 iki 375 ppm), metano 150% (nuo 700 iki 1750 ppb), azoto suboksido 18% (nuo 270 iki 320 ppb), o daugelio HFC ir PFC iki XX a. vidurio atmosferoje apskritai nebuvo (jų išmetimai prasidėjo ėmus plėtotis chemijos ir elektronikos pramonei). Šiuo metu esanti CO_2 koncentracija yra pati didžiausia per pastaruosius 420 000 metų.

Žmonių ūkinės veiklos procese į atmosferą išmetamų šiltnamio dujų kiekis didėja, o drėgnųjų atogrąžų bei vidutinių platumų

spygliuočių ir mišrių miškų plotai sparčiai mažėja, todėl vis mažiau anglies dvideginio įtraukiama į fotosintezės procesą. Šios tendencijos labiausiai juntamos besivystančiose Lotynų Amerikos, Pietų ir Pietryčių Azijos bei Centrinės Afrikos šalyse, tačiau aktualios ir išsivysčiusioms šalims.

Dėl žmogaus ūkinės veiklos atmosferoje daugėja ir *antropogeninės kilmės aerozolių* (pavyzdžiui, suodžių, SO_4). Tačiau suodžiai yra pasiskirstę labai netolygiai, ore išsilaiko tik kelias dienas, todėl jų koncentracija ir cheminė sudėtis nepastovi. Ilgai atmosferoje gali išsilaikyti sieros oksidai, kurių randama net Grenlandijos ir Antarktidos ledynuose.

Troposferinis aerosolis (suodžiai) pramonės rajonuose, dideliuose miestuose, miškų gaisravietėse bei per dulkių audras gali labai padidinti atmosferos drumstumą – Saulės spinduliuotės prietaka sumažėja net 20%, pakinta ir kiti klimato elementai. Tačiau *terminis efektas – teigiamas*, nes sugerama ne tik Saulės, bet ir Žemės paviršiaus spinduliuotė. Troposferinio aerosolio klimatinis efektas yra daugiausia lokalaus pobūdžio.

Žmogaus ūkinė veikla veikia ne tik atmosferos cheminę sudėtį. Dėl sparčiais tempais besivystančios kuro ir energetikos pramonės didėja atmosferos ir hidrosferos „šiluminė tarša“, t. y. į orą ir į vandenį tiesiogiai sklinda šiluminė energija. „Šiluminė tarša“ dažniausiai būna lokalinio pobūdžio ir yra ryškiausia dideliuose miestuose ir pramonės centruose. Manoma, kad globaliai oro temperatūrai „šiluminė tarša“ per artimiausius dešimtmečius didesnio poveikio neturės, bet kai kuriuose regionuose (Japonijoje, Ruro baseine, JAV rytuose ir kt.) energetinė apkrova jau yra kritinio – $3\text{--}6 \text{ W/m}^2$ – lygio, temperatūra čia pakilusi $2\text{--}4^\circ\text{C}$.

Laivų ir lėktuvų išmesti dūmai tarnauja kaip kondensacijos branduoliai, todėl intensyvaus eismo rajonuose padidėja debesuotumas, keičiasi spinduliuotės balansas.



4.16 pav. Į atmosferą išmetamo anglies dvideginio kiekio, deginant ir naudojant iškastinį kurą įvairiose Žemės rutulio regionuose, kitimo kreivės per 1980–2002 metų laikotarpį (pagal: Energy Information Administration, 2007)

Paklotinio paviršiaus keitimas yra, ko gera, seniausias antropogeninės veiklos poveikio aplinkai pavyzdys. Iš pradžių buvo kertami miškai, plečiami ariamų žemių ir ganyklų plotai. Vėliau buvo įrengiami tvenkiniai, tiesiami keliai, įrengiami atviri karjerai – visa tai neišvengiamai keičia vandens apytaką, paviršiaus albedą ir šiurkštumą. Kokie gali būti tokios veiklos padariniai, aiškiausiai atsiskleidžia aridinėse srityse, nes čia, pavyzdžiui, suarus dirvas, padidėja albedas ir prasideda nesustabdomas *dykumėjimo procesas*.

Žemėnaudos pokyčiai gali turėti trejųpą poveikį šiltnamio dujų kiekiui: deginant miškus tiesiogiai išsiskiria CO₂; mažėjant miškų plotui mažėja ir anglies dioksido sunaudojimas fotosintezai, todėl šiltnamio dujų kiekis atmosferoje didėja; bemiškėse teritorijose padidėja CO₂ išsiskyrimas iš dirvožemio. Kita vertus, naujai išauginami miškai bei dvimetės ir daugiametės žemės ūkio kultūros spartina anglies dioksido šalinimą iš atmosferos.

Žemėnaudos keitimo pasekmės labiausiai juntamos besivystančiose Lotynų Amerikos, Pietų ir Pietryčių Azijos bei Centrinės Afrikos šalyse, tačiau aktualios ir išsivysčiusioms šalims.

Pražūtingų pasekmių sukelia ir drėgnųjų atogrąžų miškų kirtimas: padidėja paklotinio paviršiaus albedas, Žemės paviršius atvėsta, sumažėja garavimas, susilpnėja konvekcinė veikla ir krituliodara, slopsta cirkuliacija Hadley makrogardelėje, vėsta atogrąžų juostos vidurinė ir viršutinė troposfera, silpnėja pasatai ir t.t.

Drėkinamuose žemių plotuose sumažėja paklotinio paviršiaus albedas, iš esmės pasikeičia energijos pasiskirstymas tarp šilumos balanso dedamųjų, susilpnėja terminė konvekcija, nukrinta apatinės troposferos temperatūra.

Vandens tvenkinių kūrimas daro vietiniam klimatui švelninantį poveikį: mažėja temperatūros amplitudės (paros ir metinės), didėja oro drėgnumas. Tačiau galimas vietinės oro cirkuliacijos susidarymas, vėjo sustipėjimas virš vandens telkinio akvatorijos.

Klimato kaitos padariniai – vis aštresnė problema tiek aplinkos apsaugos politikos formavimui, tiek visuomenėje. Jau dabar klimato atšilimas daro pastebimą poveikį: tirpsta kalnų ledynai, kyla vandenyno lygis, daugėja trumpalaikių orų anomalijų. Jei antropogeninis poveikis klimato sistemai toliau stiprės, klimato kaita pridarys dar daugiau žalos, sutrikdys natūralią aplinką, aprūpinančią mus maistu, žaliavomis ir kitomis gyvybiškai svarbiomis medžiagomis. Tai turės neigiamų padarinių ekonomikos raidai ir gali destabilizuoti žmonių gyvenimą visame Pasaulyje.

Klimato sąlygų, kartu ir žmogaus veiklos terpės pokyčiai yra kontrastingi ir įvairiuose regionuose saviti. Todėl akivaizdu, kad kiekvienoje šalyje reikia analizuoti klimato svyravimus, kurti veiksmų strategiją, kuri padėtų išvengti negatyvių klimato kaitos pasekmių.

Literatūra

- Berger A. (1989). Pleistocene Climatic Variability at Astronomical Frequencies. *Quaternary International* 2, 1-14.
- Berger A., Loutre M. F., Mélice J. L. (1998). Instability of the Astronomical Periods Over the Last and Next Millions of Years. *Paleoclimate Data and Modelling* 2(4), 239-280.
- Bradley R. S. (1999). *Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary*. Academic Press.
- Briffa K. R. et al. (1992). Fennoscandian Summers from AD 500: Temperature Changes on Short and Long Timescales. *Climate Dynamic* 7, 111-119.
- Bubnienė R., Rimkus E., Štreimikienė D. (2006). *Klimato kaitos politikos pagrindai*. Vilnius.
- Bukantis A. ir kt. (2001). *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Vilnius.
- Burroughs W. J. (2001). *Climate Change in Prehistory*. Cambridge.

- Burroughs W. J. (2001). *Climate Change*. Cambridge.
- Climate Change 2001: The Scientific Basis* (2001). Houghton J. T. et al. (eds). <http://www.ipcc.ch/>
- Climatic Research Unit (2006). <http://www.cru.uea.ac.uk/>
- Cronin T. M. (1999). *Principles of Paleoclimatology. Perspectives in Paleobiology and Earth History*. <http://www.earthscience.org/r3/cronin/index.html>
- Drozдов O. A. i dr. (1989). *Klimatologija*. Leningrad (rusiškai).
- Energy Information Administration (2007). <http://www.eia.doe.gov/>
- Geochronologinė skalė (2004). *Visuotinė lietuvių enciklopedija* VI. Vilnius.
- Global Climate Change Student Guide* (2006). The Atmosphere, Climate & Environment Information Programme. <http://www.ace.mmu.ac.uk/Resources/gcc/>
- Goddard Space Flight Center (2006). *NASA's Global Change Master Directory Site Map*. <http://gcmd.nasa.gov/Aboutus/sitemap.html>.
- Jasamanov N. A. (1985). *Drevnije klimaty zemli*. Leningrad (rusiškai).
- McGuiffie K., Henderson-Sellers A. (2005). *A Climate Modelling Primer*. Sydney.
- NASA Marshall Space Flight Center (2007). <http://solarscience.msfc.nasa.gov/index.html>
- National Climate Data Center (2005). *NOAA Paleoclimatology*. <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/primer.html>
- National Oceanic and Atmospheric Administration (2007). *Coral Paleoclimatology: What Can Corals Tell us About Climate?* <http://www.ncdc.noaa.gov/paleo/outreach/coral>
- National Snow and Ice Data Center* (2007). <http://nsidc.org/>
- Oliver J. E., Hidore J. J. (2001). *Climatology: An Atmospheric Science*. Prentice Hall.
- Scotese C. R. (2003). *Paleomap Project*. <http://www.scotese.com/>
- Stravinskienė V. (2002). *Klimato veiksmų ir antropogeninių aplinkos pokyčių dendrochronologinė indikacija*. Kaunas.

5. Klimato kaitos prognozės

5.1. Klimato modeliai

Klimato modelis – tai matematinis būdas pavaizduoti Žemės klimato sistemos būseną bei kaitą esamomis arba pakitusiomis sąlygomis.

Klimato modeliai pagrįsti kiekybiniais atmosferos, vandenyno, sausumos paviršiaus bei ledo dangos sąveikos vertinimo metodais. Jie kuriami spręsti daugeliui uždavinių – pradedant šiuolaikinės klimato sistemos bei esamų orų sąlygų dinamikos tyrimais ir baigiant klimato kaitos prognozėmis. Tik tie modeliai, kuriais įmanoma pakankamai tiksliai atkurti dabartinės klimato dinamikos ypatybes, yra tinkami klimato sistemai modeliuoti pakitus pradinėms sąlygoms. Tokiais klimato modeliais galima įvertinti pasikeitusių išorinių veiksnių, pvz., vulkanizmo arba Saulės konstantos, galimą poveikį visai Žemės klimato sistemai. Pastaraisiais metais mokslininkus ypač domina anglies dioksido koncentracijos pokyčių atmosferoje poveikio ateities klimatui įvertinimo galimybės.

Modeliuose labai sudėtingą klimato sistemą tenka supaprastinti. Tai iš dalies lemia nevisiškas atmosferoje vykstančių procesų supratimas, taip pat techninės modeliavimo galimybės. Sudėtinga sistema supaprastinama parametrizuojant gamtoje vykstančius procesus bei suskaidant juos erdvės ir laiko atžvilgiu.

Klimato modelių svarbiausieji komponentai yra keturi: *Saulės spinduliuotė* – spindulių sklaidimo klimato sistemoje įvertinimas (išsklaidymas, sugėrimas, atspindėjimas); *dinamika* – horizontalioji bei vertikalioji energijos pernaša (advekcija, konvekcija, difuzija); *paviršiniai procesai*, vykstantys vandenyno, sausumos ar ledo paviršiuje, tarp jų

albedas, spinduliavimo geba bei energijos ir drėgmės mainai tarp paviršiaus ir atmosferos; *chemija* – atmosferos cheminės sudėties ir sąveikos su kitais komponentais įvertinimas.

Seniausias ir paprasčiausias, ir vis dėlto paaiškinantis, kaip nuo atmosferos ir jos cheminės sudėties priklauso Žemės paviršiaus temperatūra, yra nedimensinis klimato modelis, apibrėžiamas Klaudiviaus–Klapeirono (1834) bei Stefano–Boltzmano (1879) lygtimis. Šiame modelyje spinduliuotės pusiausvyrą Žemės paviršiuje nusakoma lygtimi

$$(1 - a)S \pi r^2 = 4\pi r^2 \sigma \varepsilon T^4;$$

čia a – vidutinis Žemės paviršiaus albedas (apie 0,36); S – Saulės konstanta (apie 1370 W/m²); πr^2 – Žemės paviršiaus plotas, kurį pasiekia tiesioginiai Saulės spinduliai; $4\pi r^2$ – visas Žemės paviršiaus plotas; σ – Stefano–Boltzmano konstanta ($5,67 \times 10^{-8}$); T – Žemės paviršiaus temperatūra (K); ε – daugiklis, rodantis absorbcinės atmosferos savybes.

Kairėje lygties pusėje – Saulės spindulių prietaka, dešinėje – Žemės spinduliuojama energija. Jei Žemės negaubtų atmosfera ($\varepsilon = 1$), tai vidutinė Žemės paviršiaus temperatūra apytiksliai būtų lygi –18,6°C. Dėl to, jog atmosfera sugeria didelę dalį Žemės paviršiaus spinduliuojamos energijos bei dalį jos vėl grąžina Žemei ($\varepsilon = 0,6$), Žemės paviršiaus temperatūra išauga iki 14,9°C. Šis 33,5° skirtumas susidaro dėl vadinamojo *natūralaus šiltnamio efekto*.

Šiuolaikinėje mokslinėje literatūroje klimato modeliai skirstomi į 4 pagrindinius tipus: energijos balanso, radiaciniai–konvekciniai, statistiniai–dinaminiai bei bendrosios atmosferos cirkuliacijos.

Energijos balanso modelis. Tai horizon-

talusis vienos dimensijos modelis, kuriuo įvertinamas globalus spinduliuotės balansas bei nusakomi platuminiai energijos mainai atmosferoje. Šis modelis aprašo platuminį temperatūros pasiskirstymą bei tiksliai įvertina albedo poveikį temperatūrai.

Radiacinis–konvekcinis modelis. Tai vertikalusis vienos dimensijos modelis, kuriame atmosferos procesai aprašomi atsižvelgiant į du vertikaliosios energijos perdavimo būdus: aukštyn bei žemyn nukreiptos spinduliuotės sklaidimu atmosfera bei konvekcinių procesų šilumos mainais. Šis modelis gali įvertinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų kintančios koncentracijos įtaką paviršiaus temperatūrai.

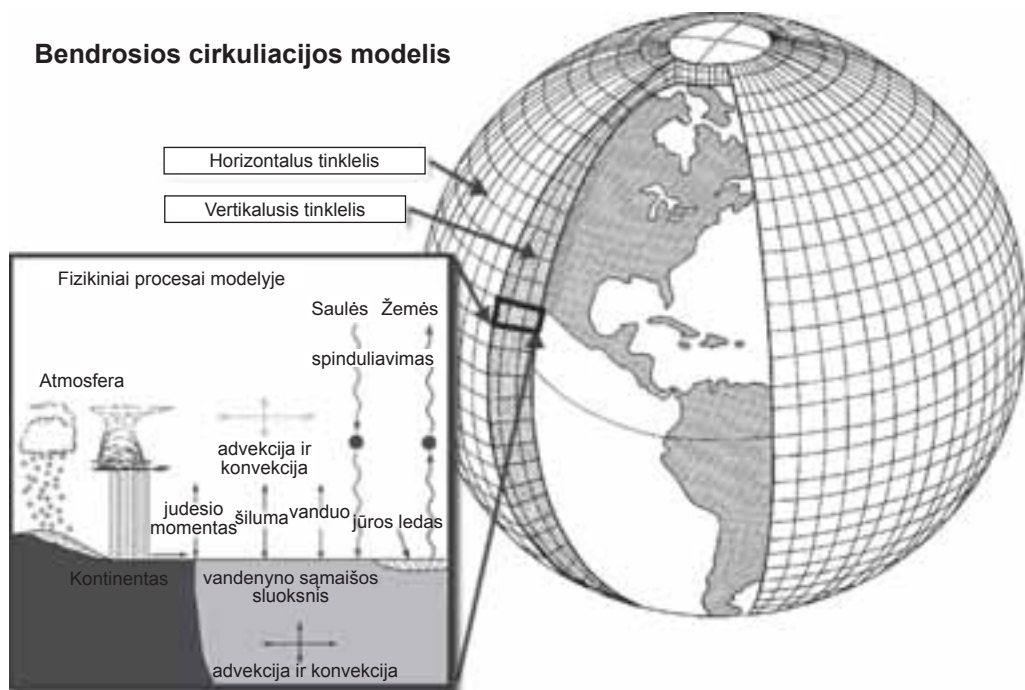
Statistinis–dinaminis modelis. Tai dviejų dimensijų modelis, kuriame sujungiama horizontalioji platuminė energijos pernaša su vertikaliąja kryptimi vykstančiais radiaciniais–konvekcineis procesais. Šio tipo modeliuose daug daugiau dėmesio skiriama pa-

klotinio paviršiaus poveikio klimato sistemai įvertinimui bei pradedami parametrizuoti procesai, susiję su atmosferos cheminės sudėties pokyčiais.

Bendrosios cirkuliacijos modelis. Tai trijų dimensijų modelis, į kurio schemas įtraukta ne tik atmosfera bei paklotinis paviršius, bet ir procesai, vykstantys vandenyne (vandenyno cirkuliacija, jūrų ledo formavimasis ir kt.). Jis grindžiamas pagrindiniais fizikos dėsniais: energijos, judesio momento bei masės tvermės, taip pat dujų būvio lygtimi. Į šiuos ypač sudėtingus modelius įtraukti parametrizuoti praktiškai visi svarbiausi atmosferoje bei vandenyne vykstantys procesai (5.1 pav.). Dažnai šie modeliai dar vadinami *globaliais klimato modeliais* (angliška santrumpa *GCM* gali būti pateikiama ir kaip *General circulation model*, ir kaip *Global climate model*).

Bendrosios cirkuliacijos modeliai, nors yra itin sudėtingi, buvo sukurti kartu su pirmaisiais radiaciniais–konvekcineis mo-

Bendrosios cirkuliacijos modelis



5.1 pav. Principinė bendrosios atmosferos cirkuliacijos modelio schema (NASA Goddard Institute for Space Studies, 2006).

deliais XX amžiaus 7-ojo dešimtmečio pradžioje. Tuo tarpu energijos balanso modeliai pirmą kartą aprašyti 1969 metais, o statistinis–dinaminis modelis – dar po metų. Pirmieji bendrosios cirkuliacijos modeliai gauti pertvarkius skaitmeninius trumpalaikių orų prognozių modelius. Pastarieji pasirodė 6-ajame dešimtmetyje, o vėliau prognoziniai algoritmai buvo pritaikyti ilgalaikiams klimato pokyčiams.

Tikruoju šiuolaikinių klimato modelių pradininku galima laikyti anglų mokslininką L. F. Ričardsoną, kuris XX amžiaus 3-ojo dešimtmečio pradžioje (dar prieš sukuriant pirmuosius primitivius kompiuterius) pagrindė svarbiausius skaitmeninių orų prognozių sudarymo principus.

5.2. Klimato sistemos modeliavimas bei grįžtamieji ryšiai

XX amžiaus 9-ajame dešimtmetyje sukūrus vandenyno bendrosios cirkuliacijos modelių, atsirado galimybė apimti visumą procesų, vykstančių atmosferoje bei vandenyne. Klimato modeliavimo vystymosi tempus lėmė (ir iki šiol dažnai juos riboja) skaičiavimo greitis. Sukūrus šiuolaikinius labai galingsus kompiuterius, atsirado galimybė gerokai padidinti į klimato modeliavimą įtrauktų parametrizuotų procesų atmosferoje ir vandenyne skaičių bei sutankinti modelio horizontalųjį ir vertikalųjį erdvinį tinklėlį. Todėl klimato modeliavimas ypač sparčiai pažengė į priekį paskutinį XX amžiaus dešimtmetį. Originalius klimato modelius yra susikūrę svarbiausieji pasauliniai klimato tyrimo centrai. Kaip jau minėta, labai svarbu kuo tiksliau parametrizuoti į modelio schemas įtraukiamus atmosferoje ar vandenyne vykstančius procesus dėl ypač didelio jų sudėtingumo. Tai dažniausiai atliekama gamtiniais procesams pritaikant teorines arba pusiau empirines matematines išraiškas, kurių tiks-

lumas priklauso nuo proceso pažinimo lygio bei turimos empirinės informacijos apie procesą pakankamumo. Antra vertus, siekiant paspartinti skaičiavimą ne tokie svarbūs klimato sistemos vystymuisi procesai gali būti labai supaprastinami arba visai neištraukiami į prognozinius algoritmus.

Klimato sistemoje vykstantys procesai lemia natūralią klimato kaitą bei klimato sistemos reakciją į įvairius pokyčius (pvz., į šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos didėjimą). Dauguma procesų yra išanalizuoti ir gali būti ganėtinai nesunkiai modeliuojami. Didelę įtaką ateities klimato modeliavimo rezultatams daro vadinamieji *grįžtamieji ryšiai*. Grįžtamieji ryšiai gali sustiprinti (*teigiamas grįžtamasis ryšys*) arba susilpninti (*neigiamas grįžtamasis ryšys*) pokyčius, atsirandančius dėl pradinio išorinių ir vidinių veiksnių poveikio klimato sistemai.

Bene svarbiausias teigiamas grįžtamasis ryšys, lemiantis tokį didelį klimato modelių prognozuojamą temperatūros augimą, yra *vandens garų* kiekio atmosferoje didėjimas. Dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos didėjimo augant oro temperatūrai, daugės ore (ypač apatinėje troposferoje) ir vandens garų. Taigi sustiprės priešpriešinys į Žemės paviršių nukreiptas atmosferos spinduliavimas. Naujausi klimato modeliavimo rezultatai rodo, jog su vandens garais susijęs grįžtamasis ryšys lems dvigubai spartesnį oro temperatūros augimą nei tuo atveju, jei vandens garų kiekis atmosferoje būtų stabilus.

Vienas sunkiausiai klimato modeliuose išreiškiamų dydžių yra *debesuotumas* bei debesų spinduliuotės balansas. Debesys gali sugerti ir atspindėti Saulės energiją (taip mažinti jos prietaką į paklotinį paviršių). Iš kitos pusės, debesys patys spinduliuoja ilgabangę spinduliuotę paklotinio paviršiaus link. Kuris iš šių dviejų procesų vyraus, lemia debesų aukštis, storis bei struktūra (vandens garų, lašelių, ledo kristalų bei aerozolių

pasiskirstymas debesyje). Nors klimato modeliuose šie procesai parametrizuojami vis sėkmingiau, iki šiol išlieka gan didelė klaidų bei netikslumų tikimybė. Gali būti, jog debesy Saulės spindulių sugeria daugiau, nei manoma. Kol kas nėra iki galo aišku ir tai, koks yra šio grįžtamojo ryšio pobūdis: teigiamas ar neigiamas.

Labai svarbu tiksliai įvertinti dinامينius bei radiacinius procesus, vykstančius ir *stratosferoje*. Troposferoje besiformuojančios planetinio masto dinaminės (pvz., Rosbio) bangos pasiekia stratosferą, kurioje sugeriamos. Priklausomai nuo to, kur ir kaip šios bangos sugeriamos, keičiasi ir stratosferos poveikis troposferoje vykstantiems procesams, ypač atmosferos cirkuliacijai. Atmosferos cirkuliacijai ateityje didelę įtaką darys ir mažėjanti apatinių stratosferos sluoksnių temperatūra. Antra vertus, jau kelis dešimtmečius fiksuojamas temperatūros žemėjimas stratosferoje greičiau yra ozono sluoksnio plonėjimo, o ne šiltnamio efekto dujų koncentracijos didėjimo pasekmė.

Vis sėkmingiau parametrizuojami ir *vandenynė* vykstantys procesai. Vandenynas aktyviai dalyvauja šilumos ir drėgmės apykaitoje. Vandenyno srovės perneša šilumą iš atogrąžų į aukštąsias platumas. Milžiniškos masės vandenynas, galintis sukaupti daug šilumos, stabilizuoja klimatą. Laimėjimai tyrinėjant bei matematiškai aprašant procesus vandenynė paskatino tobulinti šiuolaikinius klimato modelius, ypač buvo pasiūstūmėta modeliuojant El Ninją bei jo įtaką visai klimato sistemai. Tačiau vis dar lieka neišskumų, susijusių su vidutinio masto itin svarbiais procesais: priekrantinėmis vandens srovėmis, konvekcija ir vertikaliąja sąmaiša.

Svarbią vietą klimato modeliuose užima *kriosfera*. Viena svarbiausių šios sferos dedamųjų – jūrų ledas. Jis atspindi daugiau Saulės spinduliuotės nei vanduo, antra vertus, žiemą sumažina šilumos netektį dėl ilgabangio

vandenyno paviršiaus spinduliavimo. Vis dėlto pastaraisiais dešimtmečiais fiksuojama ypač ryški jūrų ledo plotų mažėjimo tendencija laikoma stipriu teigiamu grįžtamuju ryšiu, lemiančiu klimato šiltėjimą aukštesiose platumose. Be to, jūrų ledo druskingumas mažesnis nei vandens, todėl susidarant jūrų ledui paviršiniai vandens sluoksniai tampa tankesni (didėja jų druskingumas). Tai turi didelį poveikį vertikaliajai vandens sąmaišai ir kartu visai vandenyno cirkuliacijai. Tirpstant žemyninio šelfo ledynams bei formuojantis ir vėliau tirpstant dreifuojantiems ledkalniams, daugiau gėlo vandens patenka į toliau nuo kranto esančias vandenyno sritis, kas vėlgi lemia vandenyno cirkuliacijos pokyčius. Pažymėtina, kad kol kas lieka labai daug neišskumų dėl žemyniniame lede vykstančių procesų modeliavimo. Dažniausiai šių procesų parametrizacija šiuolaikiniuose klimato modeliuose labai supaprastinama.

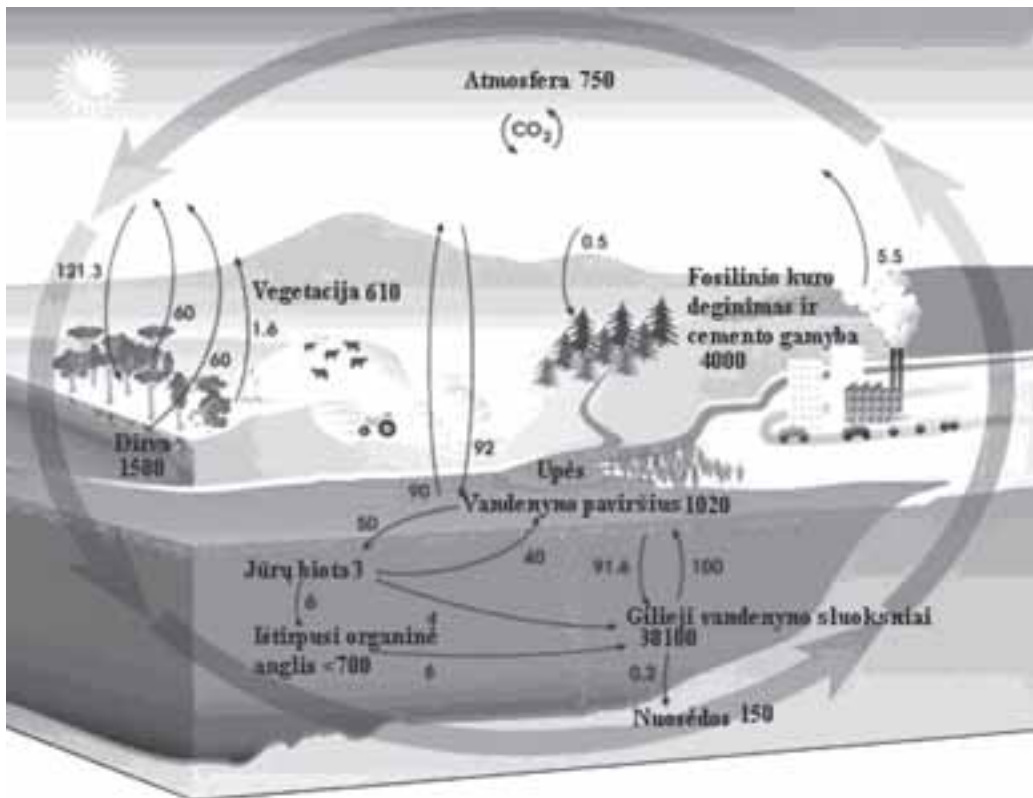
Kita kriosferos dalis yra sniegas, dengiantis milžiniškus sausumos plotus. Sniego albedas yra daug didesnis nei sausumos, ir dėl šios priežasties jo plotų mažėjimas taip pat inicijuoja teigiamą grįžtamąjį ryšį, tiesa, šiek tiek silpnesnį nei jūrų ledo.

Labai svarbią vietą klimato sistemoje užima *sausumos paklotinis paviršius*, kadangi pastarasis yra itin kaiti sistemos dalis, aktyviai dalyvaujanti energijos apykaitoje su atmosfera. Žemės paviršiaus pokyčiai yra ir viena klimato kaitos priežasčių. Žemėnaudų kaita, vandens talpyklų įrengimas, urbanizuotų teritorijų plėtra labai veikia paklotinio paviršiaus spinduliuotės balansą. Bene didžiausią poveikį klimatui daro beatodairiškas drėgnųjų atogrąžų miškų kirtimas. Dėl to ne tik mažėja anglies dioksido sugėrimas iš oro, bet ir keičiasi klimatas regiono mastu: čia mažėja išgaravimas bei auga oro temperatūra atmosferos priežemio sluoksnyje. Be to, turėtų gerokai pakisti ir stambiųjų upių (pvz., Amazonės ar Kongo) hidrologinis režimas.

Naujausi tyrimai rodo, jog didelių CO_2 koncentracijų ore poveikis augalų fiziologijai gali lemti evapotranspiracijos mažėjimą atogrąžose, o tai lemtų dar staigesnį (teigiamas grįžtamasis ryšys) oro šiltėjimą bei sausėjimą šiose teritorijose. Nuo Žemės paviršiaus savybių priklausantys klimato pokyčiai, savo ruožtu, keis ir paklotinį paviršių (dirvožemio drėgnumą, albedą, augmeniją ir kt.). Todėl įvertinti šilumos, drėgmės, judesio kiekio bei anglies apykaitą tarp atmosferos bei paklotinio paviršiaus yra labai nelengva.

Tikslus *anglies apykaitos* tarp atmosferos, sausumos ir vandenyno parametrizavimas yra būtina sąlyga, siekiant teisingai interpretuoti šiuolaikinius klimato pokyčius bei numatyti kaitos tendencijas (5.2 pav.), juolab kad anglies apykaitos pokyčiai ir buvo pa-

grindinė tokio spartaus šiuolaikinių klimato modelių kūrimo priežastis. Dėl žmogaus ūkinės veiklos anglies dioksido į atmosferą patenka daug daugiau nei sugeba jį absorbuoti ir sukaupti sausuma bei Pasaulio vandenynas. Anglies dioksidas gerai tirpsta vandenyje, tačiau sugėrimo mastas priklauso nuo paviršinio vandens vertikaliosios sąmaišos spartos. Taip pat anglies dioksido fotosintezei paima fitoplanktonas. Sausumos ekosistemose daug jo suvartoja augalai (fotosintezei), ir įsisavinimas galėtų dar padidėti, nes didesnis CO_2 kiekis atmosferoje lemia ir spartesnį anglies dioksidą absorbuojančios biomasės didėjimą. Deja, dėl žmogaus veiklos (miškų kirtimo, ariamų plotų plėtimo) jo sugėrimo bei kaupimo (medienoje bei dirvoje) galimybės mažėja. Todėl visi be išimties



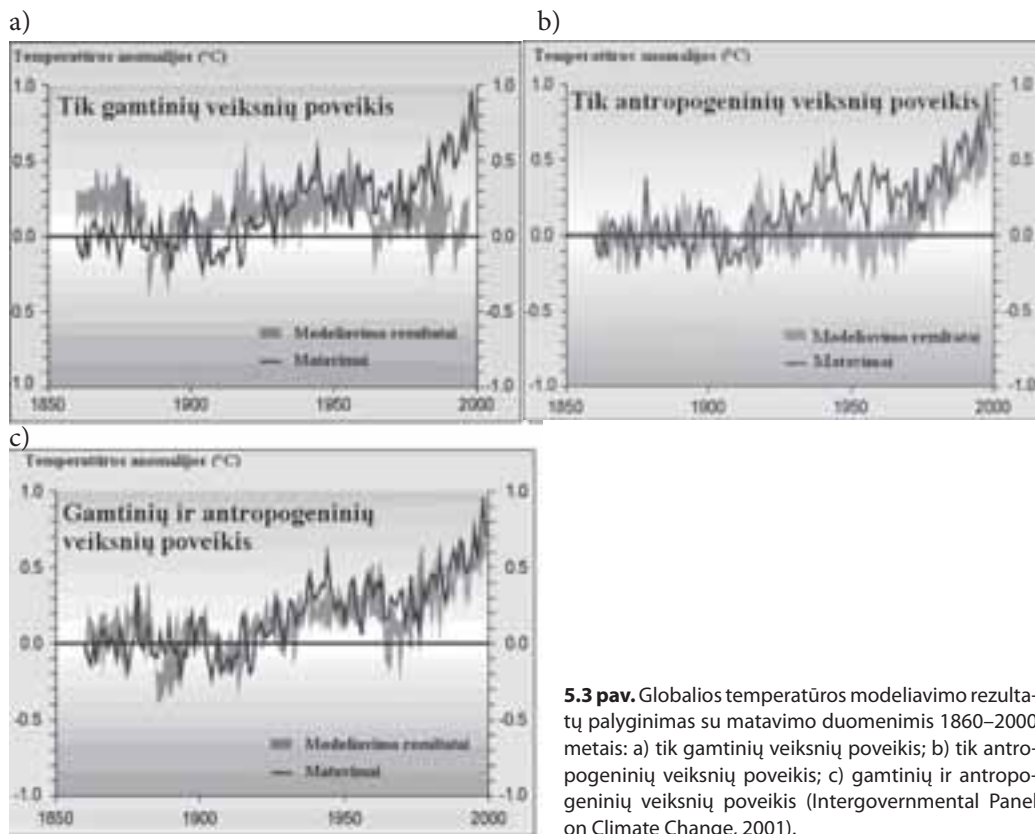
5.2 pav. Anglies apykaita. Linijų skaičiai rodo apykaitos srautų intensyvumą (Gt anglies per metus), sistemos dalių skaičiai – jose susikaupusias atsargas (GtC) (NASA Goddard Institute for Space Studies, 2006).

klimato modeliai prognozuoja anglies dioksido koncentracijos atmosferoje didėjimą; skiriasi tik pokyčių greitis, nes nevienodi ir anglies apykaitos procesų bei jų sąsajų su klimato sistemos pokyčiais parametrizavimo algoritmai. Skirtumus tarp klimato modelių gali lemti ir įvesties duomenų nesutapimas, nes dar nepakankamai žinoma, kaip vertinti ir procesų greitį, ir anglies sankaupas įvairiose ekosistemos dalyse.

Atlikus klimato sistemoje vykstančių pagrindinių procesų parametrizaciją, būtina įsitikinti, jog sukurti algoritmai yra teisingi. Klimato modeliai, kuriais pakankamai tiksliai sumodeliuotas praeities klimatas, gali būti tinkami ir ateities klimato pokyčiams prognozuoti.

Nors 5.3 paveiksle siekta parodyti antropogeninį poveikį klimato sistemai, jis labai

gerai iliustruoja ir šiuolaikines modeliavimo galimybes. Modeliavimo rezultatai rodo, jog vien natūralių veiksnių (Saulės aktyvumo bei vulkanizmo) kintančiu poveikiu neįmanoma paaiškinti staigaus globalios paviršiaus temperatūros augimo XX amžiaus pabaigoje, nors pirmoje 1860–2000 m. laikotarpio pusėje jų poveikis akivaizdus (5.3 pav., a), o apie 1950 metus prasidėjęs klimato vėsimas turėjo trukti iki XX amžiaus pabaigos. Daug tiksliau klimato pokyčius (ypač antroje XX a. pusėje) galima modeliuoti vien vertinant antropogeninį (šiltnamio efektą sukeliančių dujų bei sulfatų emisijos) poveikį. Tik gautami dydžiai yra šiek tiek didesni nei matuoti (5.3 pav., b). Tuo tarpu įvertinus bendrą gamtinių ir antropogeninių veiksnių įtaką beveik visiškai tiksliai pavyko modeliuoti pastarųjų 140 metų globalaus klimato poky-



5.3 pav. Globalios temperatūros modeliavimo rezultatų palyginimas su matavimo duomenimis 1860–2000 metais: a) tik gamtinių veiksnių poveikis; b) tik antropogeninių veiksnių poveikis; c) gamtinių ir antropogeninių veiksnių poveikis (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001).

čius (5.3 pav., c). Tai teikia pagrindo manyti, jog klimato modelių teikiamos ateities pokyčių prognozės, nepaisant modelių skirtumų, pakankamai tiksliai atspindės bent jau pagrindines pokyčių tendencijas.

Globalaus klimato kaita modeliuojama pakankamai tiksliai, tačiau vertinant būsimus regioninio klimato pokyčius susiduriama su daug daugiau neaiškumų. Regioninių prognozių tobulinimas yra viena svarbiausių šiuo metu sprendžiamų problemų. Kita ne mažiau aktuali problema – tikslesnis vandenyno cirkuliacijos vertinimas.

5.3. Teršalų emisijos scenarijai ir šiuolaikiniai klimato modeliai

1988 metais iškilus globalių klimato pokyčių grėsmei, Pasaulinė meteorologijos organizacija bei Jungtinės Tautos įsteigė Tarpyvriausybinių klimato kaitos komisiją – TKKK (*Intergovernmental Panel on Climate Change – IPCC*). Pagrindinis šios organizacijos tikslas – visapusiškai bei objektyviai įvertinti ir apibendrinti mokslinę, techninę bei socialinę ir ekonominę informaciją, susijusią su klimato pokyčiais, jų pavojingumu žmonijai, tų pokyčių sušvelninimu ir prisitaikymo prie jų priemonėmis. TKKK nevykdo nei globalaus masto monitoringo, nei mokslinių tyrimų. Ji savo išvadas teikia remdamasi moksline bei technine informacija, gaunama iš kitų šaltinių (daugiausia recenzuojamųjų straipsnių bei knygų).

TKKK sudaryta iš trijų darbo grupių bei specialaus padalinio. I darbo grupė vertina mokslinius klimato sistemos bei klimato pokyčių aspektus; II grupė – socialinių ir ekonominių bei gamtinių sistemų jautrumą klimato pokyčiams, teigiamas bei neigiamas šių pokyčių pasekmes bei galimas adaptacijos priemones; III grupė – galimus šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos ribojimo

būdus bei kitas klimato kaitos švelninimo priemones. Specialios paskirties padalinys skirtas vadinamųjų šiltnamio dujų inventorizacijos klausimams spręsti. Jis atsakingas už visuotiniai pripažintų inventorizacijos metodikų kūrimą bei tobulinimą, taip pat informavimą apie jas. Kiekvienos darbo grupės vertinimo rezultatai yra laisvai prieinami visuomenei. 1990, 1995 bei 2001 metais jau publikuotos trys ataskaitos (<http://www.ipcc.ch/>). Ketvirtoji ataskaita bus pateikta 2007 metais. TKKK yra sukūrusi klimato duomenų bazę, kurioje pateikiama įvairi klimatinė, socialinė ir ekonominė bei gamtinė informacija, įskaitant ir šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos bei klimato pokyčių scenarijus (<http://ipcc-ddc.cru.uea.ac.uk/>).

Ateities klimato pokyčiai daugiausia siejami su šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracija. TKKK 2000 metais paskelbė specialią ataskaitą apie galimus šiltnamio efektą sukeliančių ir kitų klimatosferos raidai svarbių dujų emisijos scenarijus (*Special Report on Emissions Scenarios, SRES*). Emisijos scenarijai paremti socialinėmis ir ekonominės žmonijos raidos prognozėmis (5.1 lentelė). Svarbiausieji išmetamų teršalų kiekius lemiantys veiksniai yra gyventojų skaičiaus kaita, ekonominis bei socialinis vystymasis, energijos suvartojimas, technologijų raidos ypatybės. Taip pat svarbūs žemėnaudos pokyčiai bei aplinkosaugos politikos įgyvendinimas.

Gyventojų skaičiaus kaita yra medžiagų emisijos scenarijų ašis. Tai bene svarbiausias ir dažniausiai pateikiamas žmonijos raidos indikatorius. Artimiausios ateities prognozės dažniausiai yra gan patikimos, kadangi jos yra grindžiamos dabartine rodiklio dinamika. Antra vertus, stambūs, planetos masto, įvykiai (kariniai konfliktai, gimstamumo protrūkiai, epidemijos ir kt.) gali labai staigiai padidinti ar sumažinti gyventojų skaičių. Atmosferos dujų emisijos scenarijų

kūrimui būtinos šimtmetį ar didesnę laiką tarpą apimančios prognozės, kuriose aiškiai apibrėžiami regioniniai kaitos skirtingumai, gyventojų pasiskirstymas amžiaus grupėmis, urbanizacijos laipsnis (nuo pastarųjų dviejų veiksnių labai priklauso energijos sąnaudos vienam gyventojui). Labai daug dėmesio skiriama šalių gyventojų skaičiaus ir ekonominio augimo sąryšui įvertinti. Manoma, jog ekonomikos augimas sulėtins gyventojų skaičiaus didėjimą daugelyje šalių. Net ir išaugusi žmonių gyvenimo trukmė nekompensuos ženkliausio gimstamumo sumažėjimo. Ši tendencija ypač išryškės antroje XXI amžiaus pusėje.

Ekonominė bei socialinė žmonijos raida priklauso ir nuo išsivysčiusių šalių gebėjimo palaikyti technologinį bei institucinį kūrybinį potencialą, ir nuo kitų šalių gebėjimo perimti bei adaptuoti modernias technologijas ar institucines naujoves. Be abejo, didelį poveikį turės ir demografiniai pokyčiai. Nuo to priklauso globalizacijos laipsnis, skirtumai tarp atskirų regionų. Besivystančios šalys turės daugiau galimybių pasirinkti kurdamos ekonominės bei socialinės raidos infrastruktūrą, susijusią ir su šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos mažinimu. Tarp svarbiausių šių medžiagų emisijos dydį veikiančių veiksnių minimas politinės valdžios pobūdis, pajamų paskirstymas, kultūrinės

bei vartojimo nuostatos, galimybė taikyti skirtingas modernias technologijas ir kt.

Energijos vartojimo pokyčiai bei technologijų vystymasis yra ypač svarbūs vertinant būsimą emisiją. Neabejotina, jog energijos sąnaudos vystantis ekonomikai ateityje labai padidės. Todėl augs ir greitai senkančių energijos išteklių reikmė. Ar bus įmanoma ją patenkinti, priklauso nuo alternatyviųjų energijos šaltinių paieškos bei naujų technologijų vystymo. Tam būtinos didelės investicijos, aiški veiklos strategija. Visų svarbiausias klausimas: ar pavyks palaipsniui apsieiti be lengvai prieinamo fosilinio kuro. Dar neaiškesnės technologijų vystymosi kryptys bei greitis.

Emisijos pokyčiai dėl *žemės ūkio raidos ir žemėnaudos* yra siejami su miškų kirtimu, ryžių auginimu, gyvulių žarnyne dėl rūgimo susidarančiomis dujomis bei tręšimu. CO₂ koncentracijos didėjimas dėl miškų kirtimo itin sustiprės apie 2020 metus. Vėliau miškų kirtimas lėtės – anot kai kurių scenarijų, ekspansyvios žemdirbystės regionuose atogrąžų bei pusiaujo Azijoje ir Afrikoje XXI amžiaus viduryje miškų praktiškai neliks. Dauguma scenarijų nurodo, jog CH₄ emisija dėl ryžių auginimo didės iki XXI amžiaus vidurio, o vėliau stabilizuosis. Tai lems pokyčiai Azijoje, kur dabar į orą išmetama daugiau nei 80% tokio pobūdžio teršalų. Neabejojama,

5.1 lentelė. Kai kurie socialinių ir ekonominių vystymosi scenarijų rodikliai (Special Report on Emissions Scenarios, 2000).

	A1				A2			
	1990	2020	2050	2080	1990	2020	2050	2080
Gyventojų skaičius, mln.	5262	7493	8704	8030	5282	8206	11296	13828
Bendrasis produktas, trln. \$	20,9	56,5	181,3	377,4	20,1	40,5	81,6	159,3
Energijos suvartojimas, EJ	285	532	1002	1550	257	488	779	1120
	B1				B2			
	1990	2020	2050	2080	1990	2020	2050	2080
Gyventojų skaičius, mln.	5280	7618	8708	8142	5262	7672	9367	10158
Bendrasis produktas, trln. \$	21,0	52,6	135,6	249,7	20,9	50,7	109,5	186,3
Energijos suvartojimas, EJ	289	462	608	544	275	429	654	848

jog metano emisija dėl vidinės fermentacijos gyvulininkystėje didės visą XXI amžių. Nors labiausiai ekonomiškai išsivysčiusiuose regionuose gyvulių nuolat mažės, besivystančiose šalyse jų skaičius ženkliai išaugs. Dėl vis intensyvėjančio dirvų tręšimo XXI amžiuje išaugs ir N_2O emisija. Apibendrinant regioninius medžiagų emisijos, susijusios su žemės ūkio raida bei žemėnaudos pokyčiais, scenarijų skirtingumus, galima teigti, jog jie tiesiogiai susiję su žemės ūkio produkcijos reikmėmis. Ekonomiškai išsivysčiusiuose regionuose tokio pobūdžio emisija mažės, tuo tarpu Afrikoje ir šiek tiek lėčiau Azijoje ji nuolat augs. Lotynų Amerika užims tarpinę padėtį.

Ypač didelį vaidmenį reguliuojant medžiagų emisiją vaidina *aplinkosaugos politika* globaliu bei lokaliu lygmenimis. Labai svarbu, kokie bus pasirašyti, ratifikuoti bei, svarbiausia, įgyvendinti tarptautiniai susitarimai dėl šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos mažinimo. Kai kuriose valstybėse ar net regionuose (pvz., ES) greičiausiai bus įgyvendinamos bendros teršalų emisijos reguliavimo priemonės. Antra vertus, skirtingose vietose tokių priemonių gausa bei efektyvumas labai skirsis. Svarbu ir vietinės minėtų dujų emisijos mažinimo iniciatyvos bei bendra visuomenės aplinkosauginio sąmoningumo raida.

Remiantis visais medžiagų emisijos dydį lemiančiais veiksniais buvo sukurtos keturios scenarijų grupės (5.4 pav.), jungiančios 40 scenarijų:

A1 – numatomas labai greitas ekonomikos augimas, gyventojų skaičiaus didėjimas iki XXI amžiaus vidurio, o po to mažėjimas, greitas modernių technologijų diegimas. Dažnai šioje grupėje skiriami trys pogrupiai: A1FI – tarp energijos resursų vyraus fosilinis kuras; A1T – vyraus nefosilinis kuras; A1B – numatomas subalansuotas kuro vartojimas.

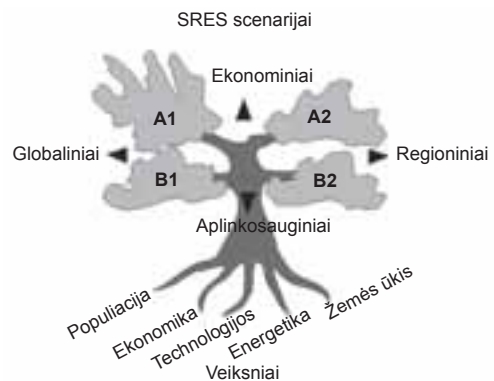
A2 – prognozuojamas vis dar labai he-

terogeniškas pasaulis su nuolat didėjančiu gyventojų skaičiumi. Ekonomikos augimas lėtas, naujos technologijos diegiamos tik kai kuriuose, labiau išsivysčiusiuose regionuose;

B1 – tikėtina staigi globalizacija, gyventojų skaičiaus kaita panaši, kaip numatyta A1 scenarijuje, bet vyksta ypač greitas ekonominės sistemos virtimas informacine bei mažiau vartotojiška visuomene, intensyvus naujų švarių technologijų diegimas;

B2 – ateities pasaulis orientuotas į vietos ekonominių, socialinių ir aplinkosauginių problemų sprendimą. Nuolat augantis gyventojų skaičius (lėčiau nei A2 scenarijuje) ir vidutiniškai intensyvus ekonomikos vystymasis.

Teršalų emisijos scenarijai pateikia šiltnamio efektą sukeliančių dujų bei sulfatų išmetimo į atmosferą prognozę XXI amžiui. Per šį laikotarpį į atmosferą pateks nuo 770 iki 2540 GtC anglies dioksido. Didžiausią jo išmetimą numato A1FI scenarijų pogrupis bei A2 scenarijų grupė (toliau tekste – „scenarijus“), mažiausią – B1 scenarijus (5.5 pav.). A2, A1FI ir B2 scenarijai prognozuoja anglies dioksido emisijos didėjimą visą XXI amžių, tuo tarpu kiti – gan ryškų emisijos mažėjimą nuo amžiaus vidurio (ypač A1T scenarijus). Metano emisijos kaitos pobūdis bus labai panašus – tik šiuo atveju emisijos A2 scenarijus



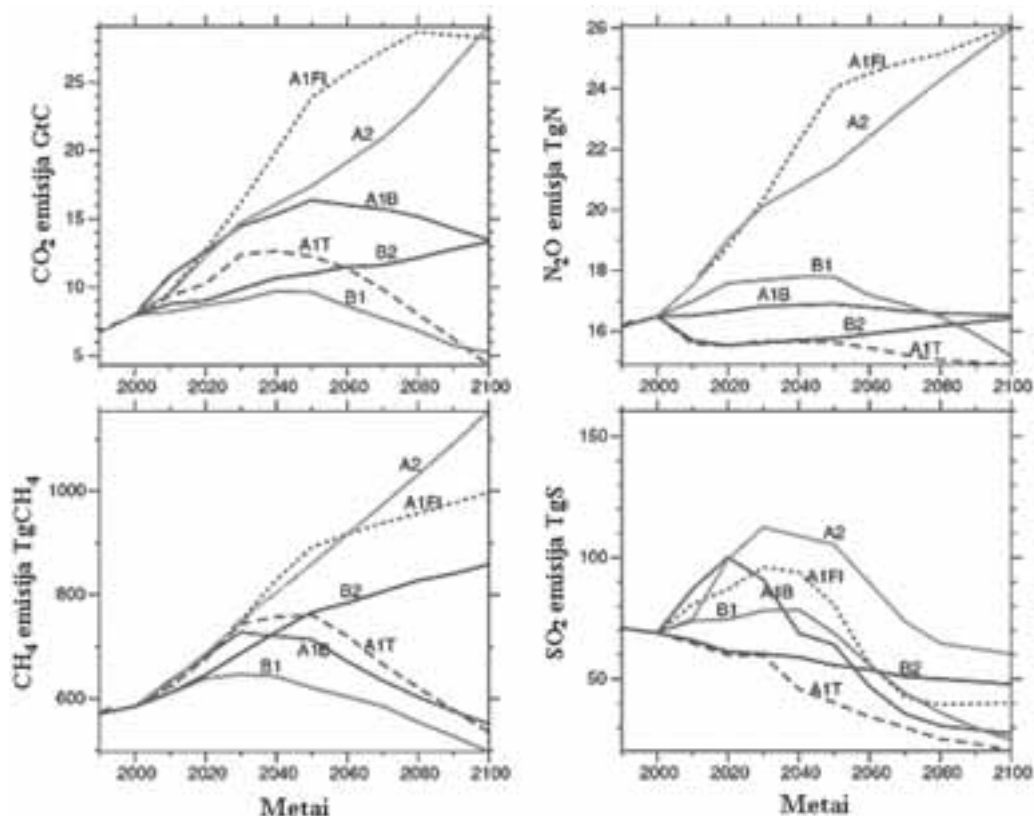
5.4 pav. Socialinių ir ekonominių žmonijos vystymosi scenarijų grupės: A1, A2, B1 ir B2 (Special Report on Emissions Scenarios, 2000).

absoliučiais dydžiais lenkia A1FI. Dauguma scenarijų numato, jog azoto suboksido emisija nedaug keisis. Vėlgi aiškiu emisijos didėjimu išsiskiria A1F ir A2 scenarijai.

Per artimiausius kelis dešimtmečius augs sulfatų emisija, tačiau jau nuo 2030-ųjų išryškės emisijos mažėjimo tendencija; amžiaus pabaigai kai kurie scenarijai prognozuoja žymiai mažesnę šios medžiagos išmetimą į atmosferą nei 1990 metais. Informacija apie regioninę emisijos pasiskirstymą yra ypač svarbi rengiant klimato kaitos sušvelninimo priemones. Klimato modeliavimui šiltnamio dujų emisijos regioninės ypatybės nėra labai svarbios, kadangi šios dujos greitai išsimašo. Tuo tarpu trumpai atmosferoje išsilaikantys sulfatai daro didelę įtaką tos vietovės, kurioje jų išmetama į orą, spinduliuotės balansui.

Didžiausia anglies dioksido emisija dėl iškastinio kuro deginimo bei pramoninių procesų amžiaus pradžioje bus fiksuojama išsivysčiusiose pramoninėse valstybėse, nors šių valstybių dalis bendrame teršalų kiekyje palaipsniui mažės. Tuo tarpu tikėtina, jog Azijoje, Afrikoje bei Lotynų Amerikoje amžiaus pabaigoje anglies dioksido į orą bus išmetama net kelis kartus daugiau nei dabar. Žemėnaudos pokyčiai veiks dvejopai. Kai kur net išaugs CO_2 absorbcija, tačiau drėgnųjų atogrąžų miškų kirtimas lems ypač didelį bendrą sausumos absorbcinio potencialo mažėjimą.

Metano emisija vėlgi labiausiai išaugs besivystančiose šalyse. Kaip jau minėta, azoto oksido koncentracija keisis nedaug, o tie scenarijai, kurie numato gan ryškius šių dujų



5.5 pav. Antropogeninė CO_2 , CH_4 , N_2O ir SO_2 emisija pagal A2, B1 ir B2 emisijos scenarijų grupes bei A1 scenarijų grupės A1FI, A1T, A1B scenarijus (Special Report on Emissions Scenarios, 2000).

emisijos pokyčius (A1FI ir A2), prognozuoja augimą Afrikoje bei Lotynų Amerikoje.

Regioniniai sulfatų emisijos pokyčiai yra gana neaiškūs. Per pastaruosius dešimtmečius sustiprinus aplinkosauginius reikalavimus, ypač sumažėjo šių teršalų emisija Vakarų Europoje bei Šiaurės Amerikoje, o dėl ekonominių reformų – ir Rytų Europoje bei Rusijoje. Azijoje dėl išaugusio anglių sunaudojimo sulfatų emisija greitai didėjo. Manoma, jog išsivysčiusiuose regionuose sulfatų emisija jau persirito per maksimalų kreivės tašką. Azijoje emisija maksimumą turėtų pasiekti apie 2020 metus. Tuo tarpu Afrikoje ir Lotynų Amerikoje sulfatų emisija didės iki pat amžiaus vidurio.

Lietuvoje atkūrus nepriklausomybę bendras išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis (išreikštas CO₂ ekvivalentu) laikotarpiu nuo 1990 iki 2002 m. sumažėjo 66%. Dešimtajame XX amžiaus dešimtmetyje tai vyko dėl ekonominio nuosmukio, o šio amžiaus pradžioje, net ir pradėjus augti bendrajam vidaus produktui, išmetamų šiltnamio dujų vis dar mažėjo. Tai pasiekta daugiausia dėl tobulesnių technologijų ir energijos vartojimo efektyvumo didinimo priemonių. 2004 metais į atmosferą išmesta 21,5 Mt šiltnamio efektą sukeliančių dujų (CO₂ ekvivalentu) bei 0,046 Mt sieros dioksido.

Daugiausiai anglies dioksido išmetama deginant iškastinį kurą energetikoje ir transporte. Numatoma, jog iki 2012 metų bendra CO₂ emisija dėl kuro deginimo padidės 54% (lyginant su 2005 m.), vėliau augimo tempai sulėtės (67% – 2020 metais). Labiausiai emisija didės energetikoje bei naftos perdirbimo sferose. Ypač ryškus anglies dioksido emisijos šuolis numatomas 2010 metais (energetikos sektoriuje padvigubės), kai uždarius Ignalinos AE elektros energijos gamyba bus koncentruojama Lietuvos ŠE. Su Ignalinos AE uždarymu susijęs ir artimiausią dešimtmetį numatomas N₂O emisijos didėjimas.

Pagrindinis metano susidarymo šaltinis – atliekos, žemės ūkis bei energetika. Išmetamo į orą metano kiekis mažėjo iki 2001 m., o vėliau, 2002 ir 2003 metais, nežymiai padidėjo dėl pastaraisiais metais išaugusio anglių deginimo bei suintensyvėjusio žemės ūkio. Prognozuojama, jog ateityje metano emisija dėl žemės ūkio veiklos bei atliekų tvarkymo mažės.

Emisijos scenarijų duomenys – tai bendrosios cirkuliacijos modelių įvesties duomenys, kuriais pasauliniai klimato tyrimų centrai modeliuoja ateities klimato pokyčius. Dažniausiai modeliuojama remiantis visais, tačiau prioritetas teikiamas A2 ir B2 scenarijams: pastarieji gan gerai atspindi visą numatomų pokyčių spektrą (A2 – santykinai dideli, o B2 – maži pokyčiai klimatosferoje). Tarptautinės klimato kaitos komisijos duomenų bazėje pateikti septynių modelių išvesties rezultatai. 5.2 lentelėje pateikiama trumpa informacija apie šiuos modelius. Nors modelio tikslumas ir priklauso nuo horizontalaus bei vertikalios tinklės garselės dydžio, tačiau didžiausią reikšmę turi pradinės informacijos bei parametrizavimo algoritmo tikslumas. Nepaisant to, jog šie modeliai vadinami globaliais, labai tikėtina, jog mūsų regiono klimato pokyčiams numatyti tinkamiausi Europoje sukurti (HadCM3 ir ECHAM4) modeliai, geriau atspindintys mūsų sąlygomis vykstančius procesus bei grįžtamuosius ryšius. Vis dėlto dažniausiai teritorijoms sudaromos ansamblinės prognozės, kai pokyčiai prognozuojami remiantis visais disponuojamais klimato modeliais bei emisijos scenarijais. Tokio prognozių ansamblio sukūrimo tikslas – numatyti visą galimą pokyčių spektrą analizuojamoje teritorijoje bei pateikti išsamią informaciją vartotojams. Antra vertus, platus prognozuojamų pokyčių spektras gali mažiau su klimato modeliavimu susipažinusiam asmeniui sukelti abejonių tokių prognozių patikimumu.

5.2 lentelė. Svarbiausi klimato prognozėms pritaikyti bendrosios cirkuliacijos modeliai.

Bendrosios cirkuliacijos modelio autoriai	Modelio pavadinimas	Tinklelio gardelės dydis	Vertikalus atmosferos padalijimas	Vertikalus vandenyno padalijimas	Modelio jautrumas (°C)
Klimato tyrimų centras, Japonija	CCSR/NIES	5,6×5,6°	20 sluoksnių	17 sluoksnių	3,5
Kanados klimato modeliavimo ir analizės centras	CGCM2	3,7×3,7°	10 sluoksnių	29 sluoksniai	3,5
Australijos mokslo ir industrinių tyrimų organizacija	CSIRO-Mk2	5,6×3,2°	9 sluoksniai	21 sluoksnis	4,3
Makso Planko Meteorologijos institutas bei Vokietijos klimato skaičiavimo centras	ECHAM4	2,8×2,8°	19 sluoksnių	11 sluoksnių	2,6
Geofizinė fluidų dinamikos laboratorija, JAV	GFDL-R30	4,5×3,7°	14 sluoksnių	18 sluoksnių	3,7
Didžioji Britanija, Hadley klimato tyrimų ir prognozių centras, Jungtinė Karalystė	HadCM3	2,5×3,75°	19 sluoksnių	20 sluoksnių	2,5
Nacionalinis klimato tyrimų centras, JAV	NCAR-PCM	4,5×7,5°	18 sluoksnių	32 sluoksniai	4,6

Dar vienas svarbus modelius apibūdinantis rodiklis yra modelių jautrumas. Tai prognozuojamas globalios temperatūros pokytis padvigubėjus ore šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijai (CO₂ ekvivalentu), lyginant su priešindustriniu lygiu. Kuo modelis jautresnis, tuo didesnę prognozuoja žmogaus veiklos poveikio efektą.

Siekiant pagerinti regionines klimato prognozes, pastaraisiais metais globalių bendrosios cirkuliacijos modelių pagrindu kuriami regioniniai klimato modeliai (RKM) (*Regional Climate Models, RCM*). Žodis *regionas* turi geografinę ir politinę prasmę. Regionus galima skirti ir pagal klimato homogeniškumą. Klimatologijoje regioniniais laikomi tie modeliai, kurių dengiama teritorija kinta nuo 10⁴ iki 10⁷ km². RKM išsiskiria mažesniu modelio gardelės dydžiu, kadangi juose bendrosios cirkuliacijos ypatybės turi būti derinamos su vietos topografija, žemėnauda, vandens telkinių pasiskirstymu ir kt. Regionų klimatas priklauso nuo daugelio makromasto, mezomasto bei mikromasto veiksnių tarpusavio sąveikos rezultato. Todėl iškyla naujų, su tiksliau procesų parametrizavimu susijusių, klausimų. Kita problema

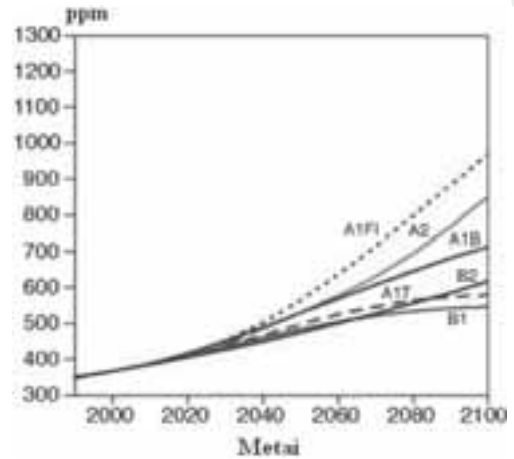
– kokybiškų aukštos rezoliucijos matavimų duomenų apie retai gyvenamas ar sudėtingo reljefo teritorijas stoka.

Nors kol kas regioninių prognozių tikslumas yra mažesnis nei globaliųjų, pastaraisiais metais pasiekta akivaizdi pažanga parametrizuojant vietos veiksnių įtaką klimatui (ypač sausumos paviršiaus vandens balansą). Kai kuriuose modeliuose tinklelio gardelės kraštinė sumažėjo iki keliasdešimt kilometrų. Antra vertus, nors RKM gali įvertinti procesus, vykstančius regioniniu masteliu, klaidos bendrosios cirkuliacijos modeliuose dar labiau išryškėja, be to, nėra grįžtamojo ryšio, vertinančio modeliuotų regioninių pokyčių įtaką globaliems procesams ir padedančio palaipsniui keisti RKM įvesties sąlygas.

5.4. Klimato prognozės

Globalaus klimato prognozavimas pradedamas nuo anglies apytakos ciklo bei šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracijos atmosferoje pokyčių vertinimo. Prognozuojama, kad 2100 metais anglies dioksido koncentracija ore sieks nuo 540 ppm (B1 emisi-

jos scenarijus) iki 970 ppm (A1FI scenarijus) (5.6 pav.). Tai net 90–250% daugiau nei šių dujų koncentracija ore prieš prasidedant industrializacijai (280 ppm 1750 m.). Šis augimas susijęs ne tik su emisija į atmosferą, bet ir su absorbcinių sausumos ir vandenyno savybių silpnėjimu. Jei ir bus imtasi priemonių padidinti absorbcines ekosistemų galias, CO₂ koncentracija gali sumažėti (lyginant su prognozuojama) tik 40–70 ppm. Klimato modeliais prognozuojamas ir metano (išskyrus B1 emisijos scenarijų) bei azoto suboksido koncentracijos didėjimas (atitinkamai iki 110% ir 46%, lyginant su 1990 m.). Nors pastarųjų dujų atmosferoje nepalyginamai mažiau, jų santykinis poveikis klimato sistemai daug didesnis. Todėl prognozuojami suminiai šiltnamio efektą sukeliančių dujų pokyčiai, išreikšti CO₂ ekvivalentu, padidės iki 650–1200 ppm. Net ir tuo atveju, jei pavyktų staigiai sumažinti šių dujų emisiją, jų koncentracija ore kurį laiką dar augtų ir tik po to stabilizuotųsi bei pradėtų palaipsniui mažėti. Minėtos dujos ore išlieka ilgą laiką. Pavyzdžiui, CO₂ atmosferoje gali išbūti 5–200, CH₄ – 12, N₂O – 114 metų. 5.3 lentelėje parodyta, kokia turėtų būti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisija, kad CO₂ koncentracija stabilizuotųsi konkrečiame lygyje. Siekiant palaikyti 550 ppm lygį (manoma, jog tada bus išvengta drastiško klimato kaitos poveikio žmonėms bei ekosistemoms), jau nuo ketvirtąjo XXI amžiaus dešimtmečio emisija turėtų pradėti mažėti. Tačiau reali emisijos dinamika yra priešinga: emisija



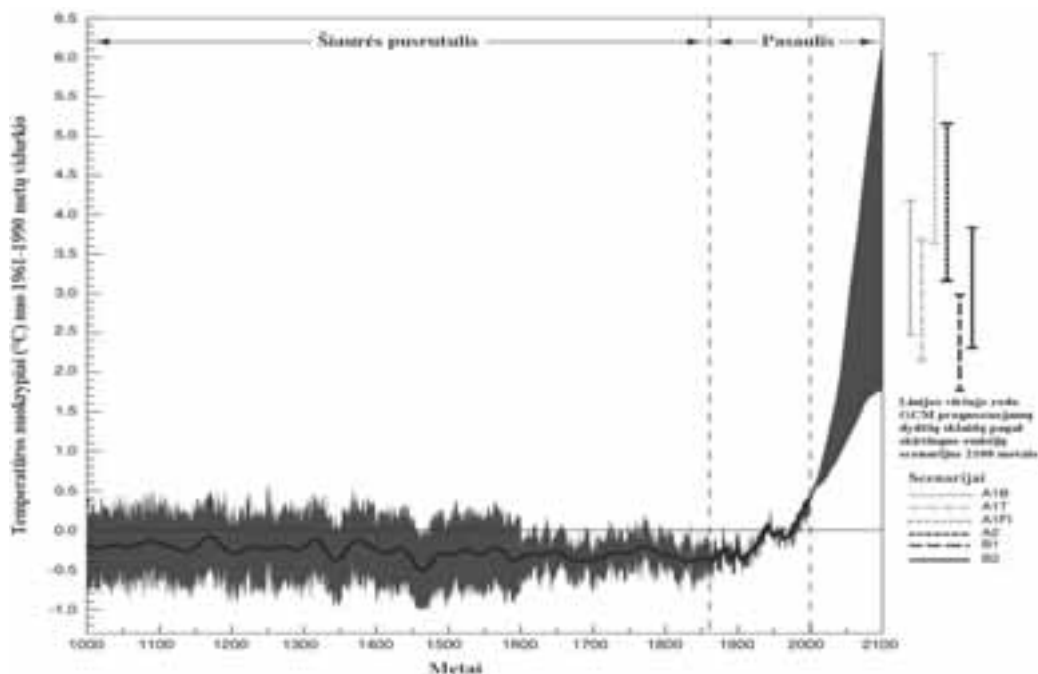
5.6 pav. Pagal įvairius emisijos scenarijus prognozuojama CO₂ koncentracijos atmosferoje kaita XXI amžiuje (Special Report on Emissions Scenarios, 2000).

Vakarų Europoje iki 2030 metų gali išaugti 23%, buvusioje Sovietų Sąjungos teritorijoje ji augs, bet greičiausiai nepasieks 1990 metų lygio, tuo tarpu kai kuriose Azijos valstybėse (pirmiausia Kinijoje ir Indijoje) gali padidėti 80–100 %.

Stiprėjantis šiltnamio efektas lems ir oro temperatūros pokyčius. Klimato modeliai, remdamiesi skirtingais emisijos scenarijais, prognozuoja 1,4–5,8°C temperatūros augimą 1990–2100 metais (5.7 pav.). Prognozuojamas temperatūros augimas yra daug didesnis nei fiksuotasis XX amžiuje ir, labai tikėtina, neturintis precedento per paskutinius 10 000 metų. Numatoma, jog sausuma šils greičiau nei vandenynas. Ypač dideliais pokyčiais išsiskirs šaltasis metų laikotarpis šiaurinėse platumose. Visi klimato modeliai progno-

5.3 lentelė. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų (CO₂ ekvivalentu) emisijos rodikliai, esant tam tikrai stabilizuotai šiltnamio dujų koncentracijai atmosferoje (Special Report on Emissions Scenarios, 2000)

Stabilizuota CO ₂ koncentracija, ppm	CO ₂ emisija iki 2100 m., GtC	Maksimalios CO ₂ emisijos metai	CO ₂ emisijos nukritimo žemiau 1990 m. lygio metai
450	365–735	2005–2015	<2000–2040
550	590–1135	2020–2030	2030–2100
650	735–1370	2030–2045	2055–2145
750	820–1500	2040–2060	2080–2180
1000	905–1620	2065–2090	2135–2270



5.7 pav. Globalios temperatūros kaita 1000-2000 metais bei kaitos prognozės XXI amžiui (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001).

zuoja, jog temperatūros augimas šiauriniuose Šiaurės Amerikos regionuose bei šiaurinėje ir centrinėje Azijoje daugiau nei 40% viršys globalių pokyčių vidurkį (kai kurie skaičiavimai rodo net ir keleriopą viršijimą) (5.8 pav., a). Tuo tarpu mažiausiai reikšmingi pokyčiai numatyti Pietų ir Pietryčių Azijoje bei pietinėje Pietų Amerikos dalyje. Klimato modelių skaičiavimais, virš žemynų mažiau svyrus paros oro temperatūra.

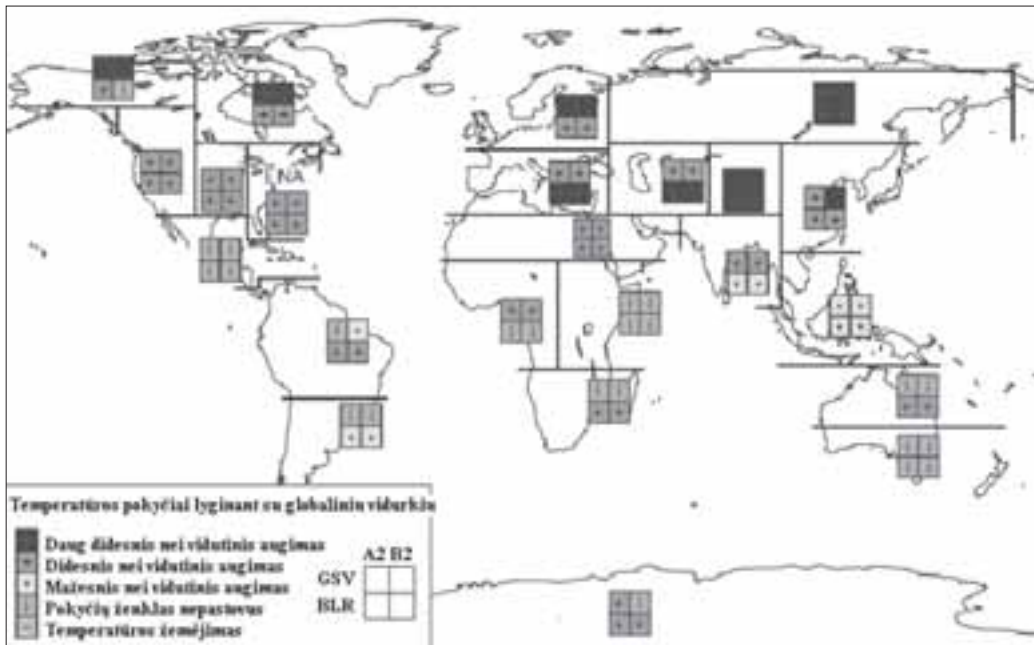
Prognozuojama, jog didės ir vandens garų slėgis bei kritulių kiekis. Tačiau regioninė pokyčių sklaida bus labai didelė (5.8 pav., b). Žiemą kritulių padaugės vidutinėse bei aukštesiose platumose. Tuo tarpu sausumoje, arčiau pusiaujo, numatomi skirtingo ženklo kritulių kiekio pokyčiai. Ten, kur daugės kritulių, augs ir tarpmetinė jų kaita. Todėl gali padaugėti ekstremalių sausrų (ypač vidutinėse platumose).

Manoma, jog keisis ir kitų ekstremalių

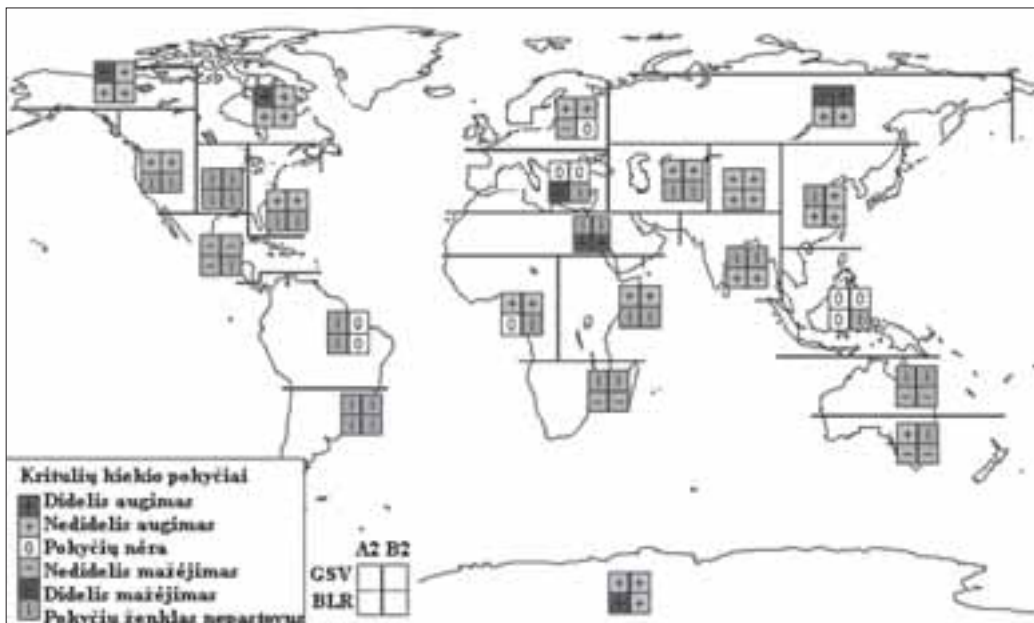
reiškinių dažnis. Didėjant vidutinei maksimaliai oro temperatūrai augs karščio bangų tikimybė beveik virš visos sausumos. Antra vertus, šiltėjant žiemoms daug rečiau bus fiksuojami ir stiprūs šalčiai. Padažnės ekstremalių liūčių. Daug dėmesio klimato modeliuose skiriama ypač daug žalos padarančių atogrąžų ciklonų numatymui. Nors kol kas nėra aišku, kaip keisis atogrąžų ciklonų dažnumas bei judėjimo trajektorijos, tačiau neabejojama, jog jų galia didės. Itin išaugs maksimalus vėjo greitis bei vidutinis ir maksimalus iškritusių kritulių kiekis.

Ženklaus pokyčiai bus fiksuojami kriosferoje. Ir toliau mažės sniego bei jūros ledo plotai Šiaurės pusrutulyje. Dar intensyviau tirps kalnų ledynai. Antarktidoje dėl padidėjusio kritulių kiekio ledo danga gali net pastorėti, tuo tarpu Grenlandijoje ledo tirpsmo vandens nuotėkio didėjimas pralengs kietųjų kritulių gausėjimą.

a)



b)



5.8 pav. Klimato modelių prognozuojami regioniniai oro temperatūros (a) ir kritulių kiekio (b) pokyčiai pagal A2 ir B2 emisijos scenarijus gruodį, sausį, vasarį (GSV) ir birželį, liepą, rugpjūtį (BLR) (Intergovernmental Panel on Climate Change, 2001)

Klimato modelių skaičiavimais, nors ateityje El Ninjo amplitudė mažai kis, jo sukelti klimato ekstremumai (sausros, liūtys ir potvyniai) gerokai suintensyvės. Didės ir musoninių liūčių intensyvumo metinė kaita.

Numatomi temperatūros pokyčiai Baltijos jūros regione vidutiniškai $0,9^{\circ}\text{C}$ viršys vidutinius globalius bendrosios cirkuliacijos modelių numatomus pokyčius. Anot regioninių klimato modelių, vidutinė metinė temperatūra Baltijos jūros baseine išaugs $3\text{--}5^{\circ}\text{C}$. Šiaurinėje Baltijos jūros baseino dalyje didžiausias atšilimas prognozuojamas žiemą, tuo tarpu pietuose sezoniniai atšilimo bruožai nėra tokie ryškūs. Pavyzdžiui, Pietryčių Lenkijoje kai kurių klimato modelių numatomi vasaros temperatūros pokyčiai ženkliai viršys jos pokyčius žiemą. Pietinėse baseino teritorijose prognozuojama ir didesnė kasmetė vasaros temperatūros kaita. Antra vertus, regioniniu masteliu skirtingų modelių prognozuojamas pokyčių spektras yra daug didesnis nei globaliu. Pavyzdžiui, šiaurinei Baltijos jūros baseino daliai klimato modeliai, remdamiesi skirtingais emisijos scenarijais, prognozuoja labai įvairius pokyčius: nuo 1°C vasarą (optimistinis scenarijus vasarai) iki 10°C žiemą (pesimistinis scenarijus žiemai). Paros temperatūros amplitudė ateityje turėtų sumažėti – ypač rudenį bei žiemą.

Manoma, jog augant oro temperatūrai kritulių kiekis didės – visur, išskyrus labiausiai į pietus nutolusias regiono teritorijas. Prognoziniai neaiškumai, susiję su kritulių kiekiu, yra didesni, kadangi pastarasis daug daugiau susijęs su vietos veiksniais (reljefu, paklotinio paviršiaus pobūdžiu). Numatoma, jog žiemą beveik visame Baltijos jūros baseine kritulių vis daugės, o vasarą pietinėje regiono dalyje numatomas neigiamas analizuojamo parametro trendas. Šiaurinėje baseino dalyje žiemos kritulių kiekis padidės $25\text{--}75\%$, o vasarą pokyčiai nebus tokie dideli (iki 35%). Tuo tarpu regiono pietuose (ir

Lietuvoje) žiemą kritulių daugės ($20\text{--}70\%$), o štai vasarą jų mažės (kai kur net iki 45%).

Vėjo rodikliai kis nežymiai. Tik ECHAM4 modelis prognozuoja statistiškai reikšmingus šio rodiklio pokyčius. Šio modelio išvesties duomenimis, mūsų regione vėjo greitis turėtų išaugti 8% (žiemą iki 12%). Mažėjant ledo dangai žiemą, sustiprės vėjai virš jūros paviršiaus – net iki 18% .

XXI amžiuje labai sumažės ir vandens atsargos sniege. Šie pokyčiai turi aiškią platuminę dedamąją: iki 62° š. pl. vandens atsargos sumažės $60\text{--}80\%$, $62\text{--}66^{\circ}$ š. pl. – $40\text{--}60\%$, o dar šiauriau – mažiau nei 40% . Ateityje plonės sniego danga bei mažės dienų su sniego danga skaičius. Sniego danga labiausiai plonės pietuose, o sparčiausiai sniego dangos laikymosi trukmė trumpės regiono šiaurėje.

Toks ženklus klimato atšilimas regione lems ir vegetacijos laikotarpio (kai vidutinė paros temperatūra $>5^{\circ}\text{C}$) didėjimą: nuo $20\text{--}50$ dienų regiono šiaurėje iki $30\text{--}90$ dienų – pietuose.

Oro temperatūros bei kritulių kiekio pokyčiai Baltijos jūros baseine bus veikiami ir atmosferos bei vandenyno cirkuliacijos pokyčių. Manoma, jog dėl slėgio mažėjimo šiaurinėje Šiaurės Atlanto dalyje ir Arkties vandenynė bei nedidelių slėgio pokyčių piečiau esančiuose Atlanto vandenyse, stiprės vakarų vėjų pasikartojimas virš Šiaurės Europos. Vien dėl šios priežasties oro temperatūra išaugs $0,2\text{--}0,6^{\circ}\text{C}$ bei padidės kritulių kiekis. Šie cirkuliacijos pokyčiai mažiausiai paveiks pačias piečiausias Baltijos jūros baseino dalis. Kita vertus, modeliavimo rezultatai, rodantys ganėtinai nedidelį atmosferos cirkuliacijos poveikį klimato rodikliams, prieštarauja daugelio tyrimų, atliktų analizuojant šiltas devinto ir dešimto XX amžiaus dešimtmečio sandūros žiemas regione, analizės rezultatams. Pastarieji rodo, jog pagrindinė tokio pašiltėjimo priežastis buvo intensyvesnė zoninė pernaša. Todėl dalis tyrinėtojų mano, jog klimato modeliais dar nepakankamai tiksliai įvertinamas

atmosferos cirkuliacijos jautrumas stiprėjančiam šiltnamio efektui.

Labai svarbu tiksliai įvertinti ir vandens cirkuliacijos vandenyne pokyčius. Galingas šiaurės krypties šilumos srautas (Golfo srovė) lemia santykinai šiltą klimatą šiaurinėje bei centrinėje Europoje, lyginant su kitomis toje pačioje platumoje esančiomis teritorijomis. Šiaurės Atlante atneštas vanduo grimzta gilyn ir formuojasi priešinga, pietų krypties, giluminė srovė. Tokio pobūdžio sistema vandenynuose vadinama termohaline cirkuliacija. Modeliavimo rezultatai rodo, jog termohalinė cirkuliacija Šiaurės Atlante silpnės. Tai lems sumažėjusį vandens tankį dėl aukštesnės vandens temperatūros ir sumažėjusio druskingumo (kurį mažins didėsi kritulių kiekis bei upių nuotėkis). Numatomų pokyčių dydis labai skiriasi: pagal vienus modelius prognozuojamas net iki 50% termohalinės cirkuliacijos intensyvumo sumažėjimas XXI amžiuje, tuo tarpu kiti modeliai numato tik labai nežymius pokyčius.

Kokią įtaką termohalinės cirkuliacijos pokyčiai turės Europos ir Baltijos jūros regiono klimatui? Modeliavimo rezultatai rodo, jog čia klimatas šils nepaisant minėtos cirkuliacijos susilpnėjimo, tačiau pokyčiai bus silpnesni. Vis dėlto kai kurie regioniniai modeliai prognozuoja nedidelę temperatūros sumažėjimą šiaurės vakarinėse Europos pakrantėse. Tai būtų susiję su lokaliu vandenyno ledo dangos plėtimusi dėl konvekcinių vandens sūmaišos silpnėjimo Šiaurės Atlante.

Kartu su vidutinių reikšmių pokyčiais keisis ir klimato ekstremalumas. Prognozuojama, jog pietinėje Baltijos regiono dalyje vasarą vidutiniai paros maksimumai išaugs netgi daugiau nei vidutinė temperatūra. Modeliavimo rezultatų analizė rodo, jog labai padažnės karščio bangos ir didės jų intensyvumas. Tuo tarpu karščio bangų trukmė nelabai pakis. Šalčio bangų bus daug mažiau. Tai susiję ir su ypač ženkliu šaltojo lai-

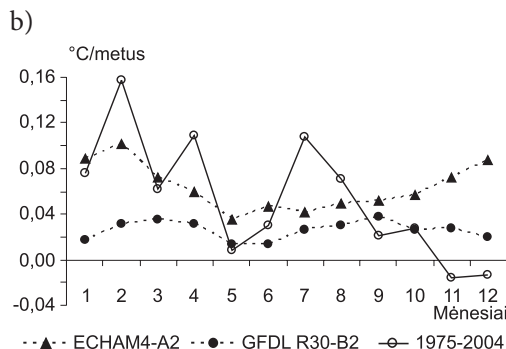
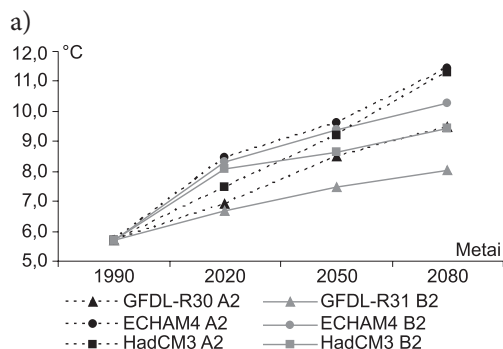
kotarpio vidutinės temperatūros augimu, ir su sniego dangos susiformavimo tikimybės mažėjimu. Vidutinės šalčiausių dienų 5-ojo procentilio reikšmės išaugs 4–7°C (kai kurie modeliai nurodo net 7–12°C).

Ekstremalių kritulių (>10 mm/parą) atei-tyje turėtų padažnėti. Žiemą tokių įvykių dažnumas augs proporcingai vidutinio kritulių kiekio didėjimui. Dauguma mokslininkų nurodo, jog ir šiltuoju metu, nepaisant vidutinio kritulių kiekio sumažėjimo pietinėje Baltijos jūros baseino dalyje, ekstremalių kritulių regione galima sulaukti dažniau.

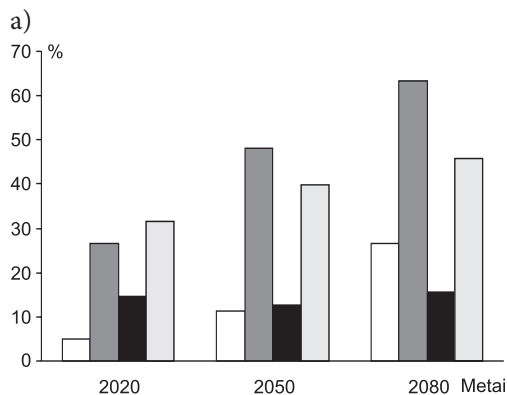
Lietuvai įvairių klimato elementų prognozės sudarytos ECHAM4, GFDL-R30 bei HadCM3 bendrosios cirkuliacijos modelių išvesties duomenimis pagal A2 ir B2 emisijos scenarijus. Didžiausius klimato pokyčius Lietuvos teritorijoje numato ECHAM4 modelis, GFDL-R30 – mažiausius (tai vadinamieji pesimistinis ir optimistinis variantai). HadCM3 modelio prognozuojami vidutiniai dydžiai įsitenka tarp dviejų aukščiau minėtųjų.

Klimato modeliai prognozuoja spartų oro temperatūros augimą Lietuvoje XXI amžiuje (5.9 pav.). Vidutinė metinė temperatūra Vilniuje išaugs nuo 5,7°C (1961–1990 m. vidurkis) iki 8,1°C 2080 metais (optimistinis scenarijus; GFDL-R30, B2 emisijos scenarijus) ar net 11,4°C (pesimistinis scenarijus; ECHAM4, A2 emisijos scenarijus).

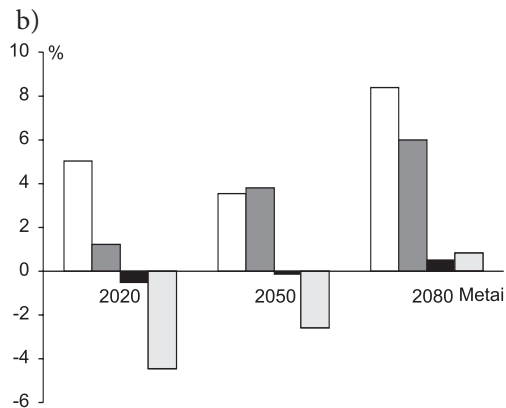
Visoje Lietuvos teritorijoje daug greičiau turėtų augti šaltojo laikotarpio oro temperatūra – tai dera su dabartinėmis klimato kaitos tendencijomis. Ypač staigiai didės vasario oro temperatūra: per artimiausią šimtmetį ji pakils 3–9°C. Tuo tarpu šiltuoju metų laiku oro temperatūra augs lėčiau. Lyginant dabartines oro temperatūros kaitos tendencijas su prognozuojamomis, akivaizdu, jog kai kuriais mėnesiais oro temperatūros augimas per paskutinius 30 metų buvo netgi didesnis už itin pesimistiškų scenarijų duomenis. Ypač dideli jos pokyčiai fiksuojami vasa-



5.9 pav. Numatoma vidutinės metinės oro temperatūros kaita Vilniuje XXI amžiuje GFDL-R30, ECHAM4, HadCM3 klimato modelių išvesties duomenimis (a) bei prognozuojami vadinamieji pesimistinis (ECHAM4 A2 scenarijus) ir optimistinis (GFDL-R30 B2 scenarijus) mėnesių oro temperatūros trendų (°C/metus) Vilniuje scenarijai, taip pat oro temperatūros trendai per paskutinius 30 metų (1975–2004)



□ HadCM3 A2 ■ ECHAM4 A2 ■ HadCM3 B2 □ ECHAM4 B2



□ HadCM3 A2 ■ ECHAM4 A2 ■ HadCM3 B2 □ ECHAM4 B2

5.10 pav. Prognozuojamas kritulių kiekio pokytis (%), lyginant su 1961–1990 metų vidurkiu šaltuoju (a) ir šiltuoju (b) metų laiku XXI amžiuje Vilniuje, remiantis ECHAM4 ir HadCM3 klimato modeliais (A2 ir B2 emisijos scenarijai)

rį–balandį bei liepą–rugpjūtį. Todėl galima teigti, jog šiuolaikinių klimato modelių pateikiami modeliavimo rezultatai gan tiksliai atspindi pokyčių tendencijas. Tik lapkritį bei gruodį oro temperatūra šiek tiek sumažėjo, nors, vertinant viso matavimų laikotarpio (1778–2004) kaitos tendencijas, šiais mėnesiais taip pat užfiksuotas gan ženklus oro temperatūros kilimas. Teritoriniai pokyčių skirtumai nebus dideli: pajūryje bei Žemaitijoje vidutinės metinės temperatūros augimas XXI amžiuje bus mažesnis – vos 0,3–0,5°C.

Visi klimato modeliai prognozuoja ir metinio kritulių kiekio didėjimą (5–15%) XXI amžiuje (5.10 pav.). Tačiau numatomų po-

kyčių sparta labai skiriasi. Tikėtinas kritulių kiekio padidėjimas šaltuoju metų laikotarpiu, o liepą–rugsėį kritulių turėtų sumažėti. Vadinasi, antroji vasaros dalis darysis sausringesnė. Metinės oro temperatūros amplitudės bei kritulių kiekio sezoninių skirtumų mažėjimas rodo, jog išliks pastarąjį dešimtmetį išryškėjusios Lietuvos klimato žemyniškumo mažėjimo tendencijos.

Šaltuoju metų laiku didžiausias santykinis kritulių kiekio padidėjimas tikėtinas tuose šalies regionuose, kuriuose dabar kritulių iškrinta mažiau. Žemaičių aukštumose bei Lietuvos pajūryje kritulių daugės lėčiau. Taigi teritoriniai kritulių kiekio skirtumai

sumažės. Didžiausius pokyčius numato ECHAM4 modelis – XXI amžiaus pabaigoje kritulių bus pusantro karto daugiau. Įvairių klimato kaitos modelių pateiktos prognozės dėl kritulių kiekio kaitos šiltuoju metų laiku gerokai skiriasi ne vien dydžiu, bet ir tendencija. Tiesa, šiltojo sezono kritulių kiekio pokyčiai XXI amžiuje neviršija 10% dabartinių reikšmių. Vis dėlto didesni teigiami kritulių kiekio pokyčiai tikėtini centrinėje ir rytinėje Lietuvos dalyse. Tuo tarpu remiantis B2 emisijos scenarijumi šiltuoju metų laiku XXI amžiuje prognozuojamas kritulių kiekio sumažėjimas visoje Lietuvoje.

Gerokai kintant šaltojo tarpsnio oro temperatūrai bei kritulių kiekiui ir jų fazinei sudėčiai, keisis ir sniego dangos charakteristikos. Tikėtina, jog iki XXI amžiaus vidurio vidutinė sniego dangos laikymosi Lietuvoje trukmė sumažės 15–25 dienomis. Mažės ir nuolatinės sniego dangos susiformavimo tikimybė. Prognozuojama, kad vakarinėje Lietuvos dalyje pastovi sniego danga susiformuos vos kartą per penkerius metus. Rytinėje šalies dalyje tokių ryškių pokyčių nebus.

Visi klimato kaitos modeliai prognozuoja nedidelius vidutinio vėjo greičio pokyčius XXI amžiuje: $\pm 0,3$ – $0,5$ m/s. Šiek tiek didesni vėjo greičio pokyčiai numatomi šaltuoju metų laiku. Didės vėjo greičio fluktuacijos, susijusios su dažnesnėmis audromis. Be dažnesnių audrų, išryškės ir kitų didėjančio klimato ekstremalumo požymių: ypač padažnės stiprių liūčių, perkūnijų, krušos atvejų.

Kaip jau minėta, didės vasarų sausringumas, ypač liepą–rugsėję.

5.5. Gamtinių ir socialinių sektorių jautrumas klimato kaitai ir pažeidžiamumas

Daugelis gamtinių ir socialinių–ekonominių sektorių (ekosistemos, vandens resursai, energetika, gyvenvietės ir kt.) yra jautrūs klimato pokyčiams. *Jautrumas* parodo klimato poveikio (teigiamo ar neigiamo) analizuojamai sistemai laipsnį. Poveikis gali būti tiesioginis (pvz., derlingumo pokytis dėl temperatūros augimo) arba netiesioginis (pvz., šiltėjančios žiemos lengvins augalų kenkėjų žiemojimo sąlygas). Sistemos *pažeidžiamumas* yra jautrumo bei gebėjimo adaptuotis funkcija. Jis parodo, kiek sistema gali pasikeisti dėl klimato pokyčių.

Gamtinės sistemos klimato pokyčiams yra ypač jautrios, kadangi jų adaptacinės galimybės ribotos. Labiausiai į juos reaguoja ledynai, koraliniai rifai ir atolai, mangrovės, borealiniai bei atogrąžų miškai, poliarinės ir alpinės ekosistemos ir kt. Gali labai sumažėti bioįvairovė, o kai kurios rūšys tiesiog išnykti.

Antropogeninės sistemos yra ne tokios jautrios, nes jų adaptacinis potencialas didesnis. Daugiausiai bus paveikti vandens resursai, žemės ūkis, krantai, energetika, pramonė, žmonių sveikata ir kt. Įvairių regionų jautrumo klimato kaitai ir pažeidžiamumo pobūdis yra labai įvairus.

Prognozuojamas neigiamas poveikis	Prognozuojamas teigiamas poveikis
- dėl temperatūros augimo galimas grūdinių kultūrų derlingumo mažėjimas tropikuose ir subtropikuose; - didėjantis vandens ištekliai stygius daugelyje nepakankamo drėkinimo rajonų (ypač subtropikuose); - epidemijų (maliarijos, choleros ir kt.) plitimas bei didėjantis dėl karščio bangų žmonių mirtingumas; - potvynių grėsmės gyvenamosiose vietovėse didėjimas dėl kylančio jūros lygio bei intensyvėjančių liūtnių kritulių; - kylant vasaros temperatūrai, didėjanti energijos reikmė oro kondicionavimui.	- grūdinių kultūrų derlingumo didėjimas vidutinėse platumose pamažu kylant temperatūrai; - potencialus medienos prieaugio didėjimas tinkamai tvarkomuose miškuose; - augantys vandens ištekliai kai kuriose nepakankamo drėkinimo regionuose (pvz., Pietryčių Azijoje); - mažėjantis žmonių mirtingumas žiemą; - mažesnės energijos reikmės šildymui vidutinėse bei aukštesiose platumose žiemą.

Lietuva nėra priskiriama jautriausioms klimato kaitai teritorijoms, tačiau ir mūsų šalyje klimato pokyčiai lems nemažas gamtinės bei žmogaus aplinkos permainas.

Kraštovaizdis, ekosistemos ir biologinė įvairovė. Numatoma ekosistemų eutrofikacija, sausėjimas, pusiausvyros sutrikimas bei buveinių kaita, sėkmes pokyčių greitinimas: rūšių nykimas ir naujų rūšių įsitvirtinimas. Suprastės saugomos teritorijos, netekusios kai kurių saugomų vertybių. Dėl vandens lygio kilimo bei audringumo didėjimo bus užlieta dalis Baltijos jūros bei Kuršių marių pakrantės. Kylant vandens lygiui, padažnės druskingo vandens skverbimasis į Kuršių marias ir ims laipsniškai keistis jų šiaurinės dalies ekosistema į eurihalinę. Dėl dažnesnių uraganų ir audrų padidės investicijos bei inovacijos krantų tvarkymui. Bus sunaikinti priekrančių ir pakrančių ekosistemų atskirų buveinių tipai.

Oros. Išaugės temperatūros inversijos tikimybė (ypač naktį), todėl blogės teršalų sklaidos sąlygos. Miestuose dažniau bus viršijamos leidžiamos ribinės užterštumo vertės. Augant oro temperatūrai padaugės ir kenksmingo priežemio ozono. Ilgėjant vegetacijai bei didėjant anglies dioksido koncentracijai ore, išaugės ir žiedadulkių koncentracija bei jų sukeltų alerginių ligų tikimybė.

Vanduo. Prognozuojamas upių nuotėkio persiskirstymas laike: dažnesni poplūdziai visais metų laikais, mažesni pavasario potvyniai ir didesnė minimalaus nuotėkio tikimybė vasarą. Tai padidins paviršinių vandenių biologinį užterštumą vasarą ir sumažins bendrą užterštumą pavasarį. Dėl dažnesnių ekstremalių kritulių padidės labai stiprių, neįprastose vietose lokalizuotų poplūdzių rizika. Augant oro ir vandens temperatūrai spartės eutrofikacijos procesai, prastės vandens išteklių kokybė. Kylantis jūros lygis bei dažnesnės žiemos audros lems ir dažnesnius potvynius Nemuno upės deltoje.

Dirvožemis. Daugėjant ekstremalių kritulių stiprės vandens erozija. Dėl mažesnės pašalo trukmės gali sutrumpėti laikotarpis, kada dirva atspari erozijai. Didėjantis vasarų sausringumas lems mažesnes vandens atsargas dirvoje, sustiprės vėjo erozija. Keisis ir dirvos struktūra.

Energetika. Šylant klimatui bendros energijos sąnaudos sumažės, nors išaugės energijos sąnaudos šaldymui ir kondicionavimui. Sumažės hidroenergetikos ištekliai. Dažnesni trumpalaikiai ekstremalūs vasaros krituliai kels pavojų mažųjų hidroelektrinių konstrukcijoms. Dideli vėjo greičio svyravimai neleis išnaudoti vėjo jėgainių galios. Dažnesnės audros, pūgos, škvalai, lijundra, ledo kruša kels pavojų antžeminėms elektros perdavimo linijoms. Didėjanti žiemą paros oro temperatūros kaita lems netolygų energijos poreikį, kas, savo ruožtu, gali dažniau trikdėti energetinės sistemos funkcionavimą.

Transportas. Dažnėjančios audros trikdytų navigaciją Klaipėdos uoste, didės nuostoliai dėl prastovų. Dažnos sausros bei poplūdziai apsunkins navigaciją vidaus vandenyse bei paveiks vandens transporto infrastruktūrą. Daugės transporto eismui pavojingų rūkų bei liūčių. Dėl dažnesnės perkūnijos, rūkų dažniau triks ir oro uostų veikla.

Pramonė. Kylant oro temperatūrai sumažės energijos sąnaudos produkcijos vieneto gamybai, kartu gaminio savikaina. Tačiau didėjantis klimato ekstremalumas gali dažniau sutrikdyti pramonės įmonių veiklą. Sausrų metu gali sutrikti įmonių, kurių gamybos procese sunaudojama labai daug vandens, veikla. Dažnesnis oro temperatūros svyravimas apie 0°C gali sustiprinti pastatų konstrukcijų šalčio dūlėjimą bei įrengimų ir technikos atmosferinę koroziją. Klimato atšilimas daugiau veiks pramonę netiesiogiai: teks didinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų išmetimo apribojimus bei taršos mokesčius.

Žemės ūkis. Numatomas vegetacijos il-

gėjimas ir aktyviosios temperatūros sumos didėjimas. Bus palankesnės šilumamėgių augalų vystymosi sąlygos. Stiprės fotosintezės produktyvumas, todėl galimas 5–10% grūdinių kultūrų derlingumo padidėjimas esant perteklinei drėgmei ir ryškus derlingumo padidėjimas (15–20%) optimalaus drėgnumo metais. Auganti oro temperatūra mažins energijos sąnaudas fermų ir kitų žemės ūkio pastatų šildymui. Antra vertus, daugės žemės ūkio kenkėjų ir ligų. Keisis dvimečių ir daugiamečių augalų žiemojimo sąlygos: trumpiau išsilaikys ir bus nepastovi sniego danga, dėl dažnų atlydžių galimas pasėlių išmirkimas ir iššutimas, grybelinių ligų plitimas, vegetacija gali atsinaujinti dar esant didelei šalčių tikimybei. Dėl liūčių bei krušos dažnėjimo sumažės šakniavaisių bei grūdinių kultūrų derlingumas, pablogės derliaus kokybė. Augs ir ilgalaikių sausrų tikimybė. Nuo karščio bangų bei užsitęsusių sausrų ims silpti gyvuliai, sumažės jų augimas ir produktyvumas.

Miškų ūkis. Didėjantis sausringumas didins miškų gaisringumą. Dažnesnės audros, škvalai didins vėjavartas. Šiltesnės žiemos lems naujų medžių ligų ir kenkėjų atsiradimą. Vienų medžių rūšių produktyvumas sumažės, kitų išaugs. Gali keistis ir medžių rūšių sudėtis (mažėti eglynų, daugėti lapuočių bei atsirasti naujų rūšių), o dirvos struktūra nebus optimali naujoms rūšims kurtis.

Gyventojų sveikata. Didės infekcinių ligų ir epidemijų pavojus. Dažnėjančios karščio bangos bei didesnė paros orų sąlygų svyravimai kels didesnę pavojų žmonėms, išsiskiriantiems jautrumu oro permainoms. Paviršinio bei požeminio vandens kokybės prastėjimas gali lemti didesnę su geriamojo vandens kokybe susijusių ligų bei epidemijų kilimo pavojaus didėjimą. Numatomas erkių, kraujasiurbių vabzdžių populiacijos didėjimas ir jų natūralių arealų plėtra. Vegetacijos ilgėjimas lems alerginių ligų plitimą.

Gyventojų migracija. Lietuvoje ir Europoje daugės pabėgėlių iš ekologinių nelaimių regionų, nukentėjusių dėl klimato kaitos (pvz., vandenyno apsemtų ar besiplečiančių dykumų teritorijų). Jų išlaikymui bei asimiliacijai kasmet bus skiriama vis daugiau ES bei nacionalinių lėšų. Aštrės konkurencija darbo rinkoje, augs socialinė įtampa.

5.6. Klimato kaitos švelninimo priemonės

Pastaraisiais dešimtmečiais pasiekta nemaža pažanga vystant technologijas, skirtas šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijai į atmosferą mažinti. Dauguma jų skirta energijos gavybos deginant iškastinį kurą efektyvumui didinti bei naujiems mažai anglies turintiems energijos šaltiniams diegti. Pavyzdžiui, buvo pradėti gaminti automobiliai su hibridiniais varikliais, kuriamos požeminės anglies dioksido saugyklos, įdiegtos visiskai azoto suboksido emisiją likviduojančios technologijos, jį panaudojant alpino rūgšties gamybai ir kt.

Apskaičiuota, jog šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos mažinimo potencialas dėl technologijų raidos bei jų diegimo sudarys iki 1,9–2,6 GtC per metus iki 2010 metų ir 3,6–5,1 GtC iki 2020 metų. Perpus sumažinti šią emisiją galima įdiegiant technologijas (pvz., susijusias su energijos taupymu), kurių teikiama tiesioginė nauda viršytų įdiegimo bei aptarnavimo sąnaudas. Kitos pusės priemonių kaina gali siekti 100 USD/tC (1998 m. kainomis). Tokių naujų technologijų įdiegimo kaštai kai kuriuose regionuose gali skirtis. Toliau tekste pateikiamos galimos klimato kaitos švelninimo priemonės įvairiuose ūkio sektoriuose.

Energetika. Energetikos sektoriuje galimi du pagrindiniai šiltnamio dujų emisijos mažinimo būdai. Pirmiausia būtina technologi-

nėmis priemonėmis didinti išmetamo į orą anglies dioksido „sugavimą“ arba mažinti jo emisiją modernizuojant energijos gamybos procesus bei prevenciškai perdirbant kuro žaliavą egzistuojančiose energijos gamybos įmonėse. Antras būdas – ekologiškai švaresnių energetikos įmonių statyba ir eksploatavimas.

Vienas itin dažnai minimų būdų, mažinančių šiltnamio dujų emisiją energetikos sektoriuje, yra platesnis atsinaujinančiųjų (Saulės, vandens, vėjo ir kt.) energijos išteklių panaudojimas. Tačiau net ir ypač didelė energetikos vystymosi sparta šioje srityje bus nepakankama, norint patenkinti nuolat augančias žmonijos energijos reikmes. Be to, daugelyje tankiai gyvenamų Žemės regionų hidroenergetikos plėtra yra ypač komplikauta dėl didelių užlajų plotų, kyla ir kitų ekologinių problemų. Bene perspektyviausias būdas mažinti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisiją energetikos sektoriuje yra atominės energetikos plėtra, kadangi čia anglies dioksido emisija vienai kilovatvalandei pagaminti yra ypač maža. Tačiau naudojant atominę energiją, kyla kitokios grėsmės: katastrofos tikimybė, panaudoto branduolinio kuro laidojimas bei atominio ginklo gamybai tinkamų medžiagų saugojimas. Be kita ko, labai dideli ir branduolinių jėgainių statybos kaštai. Gan perspektyvūs yra kuriami nauji išmetamo į orą anglies dioksido „sugavimo“ bei tolesnio panaudojimo metodai.

Bene didžiausia kliūtis visoms aukščiau išvardytoms priemonėms įdiegti yra finansinių mechanizmų, skatinančių energetikos pertvarką, stoka. Realii technologinių procesų modernizacija bei atsinaujinančiųjų energijos šaltinių panaudojimo galimybė yra neįmanoma, jei šios priemonės mažins investuotojų konkurencingumą. Todėl būtina lanksti finansinės paramos bei lengvatų sistema.

Transportas. Transportui tenka nemaža ir nuolat auganti šiltnamio efektą sukelian-

čių dujų emisijos dalis. Daugiausia dėmesio skiriama naujo kuro rūšių paieškoms bei variklių tobulinimui. Sukurti hibridiniai benzininiai (dyzeliniai) ir elektriniai varikliai, kurių kuro sąnaudos sumažėja daugiau nei 50%. Vis didesnę rinkos dalį užkariauja ekologiškai švaresnis biokuras. Taip pat daug dėmesio skiriama ekologiškai daug švaresnei „kuro elementų“ (*fuell cell*) technologijai vystyti. Antra vertus, mažesnės benzino sąnaudos atpigina kelionės kaštus, o tai skatina automobilių transporto plėtrą. Be to, toliau augant transporto priemonių skaičiui suminė teršalų emisija iš transporto sektoriaus nemažės.

Pramonė. Energijos panaudojimo naudingumo koeficiento didinimas yra svarbiausias vadinamųjų šiltnamio dujų emisijos mažinimo pramonės sektoriuje būdas. Diegiant naujas technologijas, būtina didinti gamybos ekonominį ir ekologinį efektyvumą. Siekti, kad gamyba augtų daug greičiau nei gamtos išteklių naudojimas. Vėlgi didžiausios problemos kyla dėl lanksčių finansinių skatinimo mechanizmų stokos. Griežti šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos apribojimai kai kuriose valstybėse problemų neišsprendžia, o tik skatina perkelti gamybą į mažesnius gamtosauginius reikalavimus keliančius planetos regionus.

Gyventojų būstas. Šioje sferoje klimato kaitos švelninimo priemonės asocijuojasi su pastatų konstrukcijų (langų, apšvietimo, termoizoliacijos, ventiliacijos, kondicionavimo ir kt.) tobulinimu, tiesioginiu Saulės ar geoterminės energijos panaudojimu. Taip pat daug dėmesio skiriama pastatų priežiūrai ir renovacijai. Vis dėlto energijos sąnaudos pastatuose vis auga, kadangi didėja įvairių elektros prietaisų teikiamo komforto reikmės, didėja vienam žmogui tenkantis gyvenamasis plotas.

Žemės ūkis. Šiltnamio efektą sukeliančių dujų emisijos sumažinimas gali būti pasiek-

tas pereinant (esant galimybei) iš gyvulininkystės į augalininkystę (ypač sumažėtų N_2O ir CH_4 patekimas į orą), įdiegiant priešėrozines priemones žemės ūkio naudmenose (išauga anglies sugėrimas dirvoje), mažinant žemės naudojimo intensyvumą, racionaliau drėkinant bei tręšiant ryžių laukus ir kt.

Atliekų tvarkyba. Šiame sektoriuje galimi du pagrindiniai teršalų emisijos ribojimo būdai: atliekų mažinimas ir atliekų perdirbimas. Pirmuoju atveju – tai mažaatliekės gamybos, daugkartinės taros naudojimo skatinimas ir kt., antruoju – daugkartinis atliekų perdirbimas ar jų deginimas, atliekų panaudojimas energijos gavybai (pvz., iš sąvartynų išsiskiriančių organinės kilmės metano dujų panaudojimas šildymo tikslams).

Sausumos ekosistemos vaidina svarbų vaidmenį pašalindamos CO_2 iš atmosferos. Fotosintezės būdu jos sukaupia labai didelius anglies kiekius biomasėje, negyvoje organinėje medžiagoje bei dirvoje. Antra vertus, anglies dioksidas į atmosferą grįžta vykstant oksidacijai – augalams kvėpuojant, organinės medžiagos irimo bei deginimo metu.

Augalijos biomasėje sukaupia apie 610 Gt anglies, o paviršiniame (iki 1 m gylio) dirvos sluoksnyje – apie 1580 Gt. Daugiausiai anglies sukaupia atogrąžų bei borealinių miškų zonose. Žmogus, keisdamas aplinką, labai sumažino anglies atsargas sausumos ekosistemose. Pavyzdžiui, dėl daugelio natūralių pievos ekosistemų pavertimo dirbama žeme anglies atsargos paviršiniame ariamos dirvos sluoksnyje sumažėjo apie 30%. Vien dėl šios priežasties anglies masė atmosferoje išaugo apie 50Gt. Dar didesnę poveikį turi biomasės (ypač miškų) mažėjimas, kuris labai sustiprėjo antroje XX amžiaus pusėje. Kasmet yra iškertama apie 15 mln. ha atogrąžų miško. Net 41% visų kirtimų tenka Lotynų Amerikai bei Afrikai. Iš kitos pusės, pastaraisiais metais labai išaugo ir naujai mišku apsodinti plotai. Iš viso dėl žemėnaudos pokyčių an-

glies atsargos sausumos ekosistemose iki XX amžiaus pabaigos sumažėjo apie 120 Gt.

Sausumos absorbcinio potencialo didinimas turėtų būti vienas klimato kaitos švelninimo politikos prioritetų. Siekiant šio tikslo, galimos trys pagrindinės strateginės kryptys:

- išsaugojimas: esamų anglies atsargų sausumos ekosistemose apsauga siekiant sumažinti jos emisiją į atmosferą;
- didinimas: esamų anglies atsargų papildymas, didinant absorbcinę sausumos ekosistemų galią;
- pakeitimas: biologinių produktų (pvz., biodegalų) panaudojimas vietoj iškastinio kuro, siekiant sumažinti CO_2 emisiją į atmosferą.

Šių strategijų efektas laiko skalėje labai skiriasi. Anglies išteklių *išsaugojimas* duoda staigų vienkartinį efektą, tuo tarpu *didinimo* poveikio rezultatų sulaukiama tik po kurio laiko, o vėliau šis poveikis pradeda silpnėti. *Pakeitimo* efekto taip pat sulaukiama tik po tam tikro laiko, bet vėliau jo poveikis praktiškai nesumažėja.

Šiuo metu Pasaulyje ypač aktyviai aptariamos, o kai kur ir diegiamos sausumos ekosistemų absorbcinę galią skatinančios konkrečios priemonės. Padidinti anglies sugėrimą bei atsargas dirvoje galima dviem būdais: keisti žemėnaudos formą (pavyzdžiui, ariamą žemę paverčiant mišku) arba pritaikyti anglies išsaugojimo dirvoje tikslais efektyvius ūkininkavimo metodus (pavyzdžiui, mažinti dirvos eroziją ar taikyti tinkamą sėjomainą).

Didelės organinės anglies atsargos sukauptos šlapžemėse (įvairių tyrinėtojų vertinimu, nuo 300 iki 600 Gt). Ypač daug anglies palaipsniui susikaupia durpėse. Antra vertus, toks kaupiamasis efektas iš dalies yra panaikinas didesne metano emisija iš šlapžemių. Anglies atsargų išsaugojimas šlapžemėse yra

ypač svarbus uždavinys, kadangi drenuotų šlapžemių panaudojimas žemės ūkiui labai padidina šiltnamio dujų emisiją.

Miškų saugojimo bei jų produktyvumo didinimo tikslais siūloma naudoti efektyvias apsaugos nuo gaisrų bei kenkėjų priemones, naudoti šiuolaikinius produktyvumą skatinančius miškų tvarkymo būdus, rūpestingai parinkti naujai sodinamų miškų medžių rūšis, taip pat atsižvelgiant ir į numatomus klimato pokyčius. Be to, miškų apsaugai labai svarbu efektyvus kertamo miško panaudojimas, siekiant kuo mažesnėmis sąnaudomis patenkinti augančias vartotojų reikmes.

Anglies dioksido sugėrimas vandenynuose yra panašus kaip ir sausumoje (atitinkamai 50 ir 60 GtC/ per metus). Tačiau yra vienas svarbus skirtumas: vandenyne nesukaupiamos didelės anglies atsargos. Nustatyta, jog vos 3 Gt anglies sukaupia jūrų biotoje (lyginant su 2500 Gt sausumos biomasėje bei dirvoje). Norint padidinti anglies sankaupas vandenyne, reikia organinę anglį paversti ištirpusia bei nuo atmosferos izoliuota neorganine anglimi. Taip gali atsitikti tada, kai organizmai (pvz., fitoplanktonas), fotosintezei imantys anglies dioksidą iš atmosferos, atiduoda anglį nugrimzdę bei irdami giliuose vandens sluoksniuose. Todėl šiuo metu daug eksperimentuojama, siekiant padidinti anglį absorbuojančių organizmų kiekį ir jų produktyvumą. Nustatyta, jog kai kuriuose Pasaulio vandenyno regionuose fitoplanktono trūksta dėl mikroelementų, pavyzdžiui, geležies, stokos. Apskaičiuota, jog 300 000 t geležies patekus į vandenyną, anglies sugėrimas iš atmosferos galėtų padidėti 0,8 Gt.

5.7. Gamtinių ir socialinių sferų adaptacija prie kintančio klimato

Adaptacija yra sistemos gebėjimas prisitaikyti prie kintančių klimato sąlygų: sušvelninti galimus nuostolius, gauti naudos iš

teikiamų galimybių arba kovoti su pasekmėmis. Skiriamos kelios adaptacijos formos:

prevencinė adaptacija – adaptacijos priemonės, kurių imamasi dar prieš atsirandant klimato poveikiui;

atsakomoji adaptacija – priemonės, kurių imamasis jau išryškėjus klimato poveikiui;

spontaniškoji adaptacija – tai natūralus nereguliuojamas gamtinių bei antropogeninių sistemų prisitaikymas prie kintančio klimato.

Taip pat gali būti skiriama planinė, asmeninė arba visuomeninė adaptacija.

Adaptacijos priemonės varijuoja priklausomai nuo sferos, kurioje jos gali būti taikomos. Nereguliuojamose gamtinėse sistemose adaptacija būna spontaniškoji bei atsakomoji. Tai procesas, kai rūšys, populiacijos bei ekosistemos pačios prisitaiko prie kintančių klimato sąlygų. Antropogeninėse sistemose galimos visos adaptacijos formos, o jų įgyvendinimas priklauso nuo privačių asmenų, organizacijų arba valdžios organų iniciatyvumo ir veiklos. Adaptacijos formų ir būdų pasirinkimas priklauso nuo paveiktos sistemos adaptacinių galimybių. Antropogeninėse sistemose jas lemia socialiniai ir ekonominiai veiksniai. Pagrindiniai jų – ekonominiai ištekliai, technologinis išsivystymas, visuomenės informatyvumas bei įgūdžiai, infrastruktūra, instituciniai resursai ir kt. Be jokios abejonės, turtingų technologijų atžvilgiu išsivysčiusių bei labiau išsilavinusių visuomenių adaptacinės galimybės yra žymiai didesnės. Adaptacijos priemonės dažnai yra gana brangios, o norint lėšas panaudoti efektyviai, reikia gerai pažinti sistemą bei aiškiai suvokti galimą grėsmę. Antra vertus, tinkama adaptacija padeda iš klimato pokyčių gauti daugiau naudos. Pavyzdžiui, rūšinis miškų plotų reguliavimas gali dar padidinti prognozuojamą biomasės produkcijos didėjimą juose.

Toliau tekste pateikti keli galimų adaptacijos priemonių pavyzdžiai.

Daugelis Europos valstybių susiduria su krantų erozija bei paplūdimių nykimu dėl jūros lygio kilimo. Todėl intensyviai rengiami planai pakrančių apsaugai. Pavyzdžiui, net 60% Olandijos teritorijos yra potencialaus pavojaus zonoje. Šioje valstybėje priimtas įstatymas, skelbiantis pakrančių eroziją „už įstatymo ribų“ ir įpareigojantis įvairiomis krantotvarkos priemonėmis (pilant smėlį, statant apsauginius pylimus ir kt.) stabilizuoti kranto liniją.

Augant pavasario oro temperatūrai galima anksčiau pradėti sėjos darbus žemės ūkyje. Anksčiau pasodintos grūdinės kultūros jau bus pribrendusios antroje vasaros pusėje, būtent tada, kada didžiausia ypač didelių karščių bei sausrų tikimybė. Be to, esant optimalioms sąlygoms, jų derlius bus didesnis. Tuo tarpu ankstesnio derliaus liekanų (pvz., nesuautos ražienos) palikimas žiemai gali sumažinti vėjo ir vandens eroziją bei, sumažėjus išgaravimui ir išaugus kritulių infiltracijai, išsaugoti drėgmę dirvoje. Panašus ir apsauginių augmenijos juostų sodinimo efektas.

Intensyviai tirpstant ledynams, kyla grėsmė visai Alpių žiemos turizmo infrastruktūrai. Todėl jau dabar labai dideli ledynų plotai yra dengiami įvairiomis Saulės spindulius atspindinčiomis medžiagomis. Nepaisant milžiniškų investicijų, taip bent iš dalies apsaugojus ledynus bus išvengta dar didesnių nuostolių dėl turizmo industrijos krizės.

5.8. Tarptautinė klimato kaitos švelninimo bei adaptacijos priemonių politika

XX amžiaus pabaigoje, padaugėjus mokslinių įrodymų dėl galimo Pasaulio klimato atšilimo, buvo priimti tarptautiniai nutarimai, raginantys skubiai sudaryti tarptauti-

nę sutartį šiai problemai spręsti. 1992 metų gegužės 9 d. delegatai iš daugiau kaip 150 valstybių Jungtinių Tautų būstinėje Niujorke priėmė Jungtinių Tautų Bendrąją klimato kaitos konvenciją. 2005 metų pabaigoje konvenciją iš viso buvo ratifikavusios 189 šalys. 1995 metais ją ratifikavo ir Lietuva. Galutinis šios konvencijos tikslas – pasiekti, kad šiltnamio efektą sukeliančių dujų koncentracija atmosferoje stabilizuotųsi tokiu lygiu, kuris netrikdytų klimato sistemos. Šis lygis turi nusistovėti per tam tikrą laikotarpį, kad ekosistemos natūraliai prisitaikytų prie klimato pokyčių, nenukentėtų maisto produktų gamyba ir būtų stabilus ekonominis vystymasis.

1996 metais buvo parengta ir Jungtinių Tautų Bendrosios klimato kaitos konvencijos įgyvendinimo nacionalinė strategija, kurios vykdymą organizuoja ir koordinuoja LR Aplinkos ministerija. Šioje strategijoje išdėstomi šiltnamio dujų emisijos mažinimo tikslai ir priemonės jiems pasiekti. Taip pat įvertinamas Lietuvos gamtinių ir socialinių–ekonominių sferų jautrumas klimato kaitai bei pažeidžiamumas, aptariamoms galimos adaptacijos priemonės. 2006 metais parengta bei pradėta svarstyti nauja konvencijos įgyvendinimo nacionalinė strategija.

Kyoto protokolas – Jungtinių Tautų *Bendrosios klimato kaitos konvencijos protokolas* (priimtas 1997 m. Kjote, Japonijoje), nurodantis, jog ratifikavusios konvenciją šalys užtikrina, kad bendras jų išmetamų šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekis neviršys joms nustatytų normų bei įsipareigoja laikotarpyje nuo 2008 iki 2012 metų sumažinti bendrą vadinamųjų šiltnamio dujų kiekį (palyginti su 1990 m.) bent 5%. Kyoto protokolas įsigaliojo 2005 vasarį, kai konvenciją ratifikavo šalys, kurių daliai tenkantis bendras anglies dioksido ekvivalentu išreikštas antropogeninis teršalų kiekis 1990 metais sudarė ne mažiau kaip 55% bendro globalaus emisijos kie-

kio. 2005 metų rugsėjį Kyoto protokolą buvo ratifikavusios 156 valstybės ir joms tenkantis anglies dioksido teršalų kiekis tuo metu sudarė 61,6%. Lietuva Kyoto protokolą ratifikavo 2002 metų lapkritį. Ratifikavus Kyoto protokolą, įsipareigota per 2008–2012 m. laikotarpį sumažinti į atmosferą išmetamą šiltnamio efektą sukeliančių dujų kiekį 8%, lyginant su baziniais 1990 metais.

Kyoto protokolas numato tris rinkos sąlygomis veikiančius įgyvendinimo mechanizmus: bendras įgyvendinimas, ekologiškai švari plėtra ir prekyba šiltnamio efektą sukeliančių dujų apyvartiniais taršos leidimais. Šių mechanizmų tikslas – didinti klimato kaitos pasekmių švelninimo ekonominę efektyvumą, šalims ieškant galimybių sumažinti išmetamą šiltnamio dujų kiekį ne tik šalyje, bet ir už jos ribų.

Literatūra

- Bubnienė R., Rimkus E., Štremeikienė D. (2006). *Klimato kaitos politikos pagrindai*. Vilnius.
- Bukantis A., Gulbinas Z., Kazakevičius S., Kilkus K., Mikelinskienė A., Morkūnaitė R., Rimkus E., Samuila M., Stankūnavičius G., Valiukevičius G., Žaromskis R. (2001). *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Vilnius.
- Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability* (2001). McCarthy J. J. et al. (eds). <http://www.ipcc.ch/>
- Climate Change 2001: Mitigation* (2001). Davidson O. et al. (eds). <http://www.ipcc.ch/>
- Climate Change 2001: The Scientific Basis* (2001). Houghton J. T. et al. (eds). <http://www.ipcc.ch/>
- Henderson-Sellers A., McGuffie K. (1999). *A Climate Modelling Primer*. Wiley.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (2001). <http://www.ipcc.ch/>
- Maslin M. (2004). *Global Warming: A Very Short Introduction*. Oxford.
- NASA Goddard Institute for Space Studies (2006). <http://www.giss.nasa.gov/>
- Special Report on Emissions Scenarios* (2000). Nakicenovic N., Swart R. (eds). <http://www.ipcc.ch/pub/reports.htm>

6. Pasaulio vandenynas globalios kaitos fone

6.1. Bendros žinios

Pasaulio vandenyno dydis ir skirstymas. Pasaulio vandenynas – vientisa hidrosferos dalis (okeanosfera), kuri vidutiniu 3795 m storio sluoksniu dengia apie 71% planetos paviršiaus, t.y. jos plotas sudaro 361 mln. km². Šios sferos vandenyje ištirpusių druskų koncentracija yra didesnė ir sąlygiškai jų sudėtis yra pastovesnė negu sausumos vandens. Okeaninio vandens didesnę tankį negu gėlo lemia druskingumas ir žema temperatūra. Pasaulio vandenynas vaidina lemiamą vaidmenį Žemės paviršiuje pasiskirstant šilumai bei daugeliui cheminių elementų (O₂, Ca ir kt.). Pasaulio vandenynas Žemės paviršiuje išsidėstęs netolygiai. Šiaurės pusrutulyje sausuma sudaro 39%, o Pietų – tik 19%.

Į atskiras dalis Pasaulio vandenynas pradėtas skirstyti gana seniai. Olandų geografas B. Varenijus 1650 metais skyrė penkis vandenynus: Arkties, Atlanto, Indijos, Pietų ir Ramųjį. 1878 metais vokiečių okeanografas O. Kriumelis beskiria tik Atlanto, Indijos ir Ramųjį vandenynus. Arkties vandenyną jis priskiria Atlantui. Šis požiūris randa šalininkų ir šiandien, nes Arkties vandenynas mažiausias, sekiausias (6.1 lentelė) ir net 50% jo dugno ploto užima ne okeaninio, o kontinentinio tipo Žemės pluta. Šiandien dauguma okeanografų Pasaulio vandenyną skirsto

į keturis okeaninius baseinus: Arkties, Atlanto, Indijos ir Ramiojo vandenyno.

Kaip matyti iš 1 lentelės, vandenynai labai skiriasi ne tik dydžiu, bet ir gyliu, vandens tūriu, salingumu ir kitomis charakteristikomis.

Jūromis vadinamos Pasaulio vandenyno dalys, kurias nuo kitų akvatorių įvairiu laipsniu juosia sausuma, povandeninio reljefo pakilumos ir kurios skiriasi nuo vandenyno hidrologinėmis arba hidroklimateinėmis ypatybėmis. Pagal geografinių požymių kompleksą jūros dažniausiai skirstomos į vidines, pakraštines ir tarpsalines. Vidinės jūros išsidėsčiusios tarp kelių žemynų (tarpžemyninės), plyti tektoniškai aktyviose zonos, pavyzdžiui, Viduržemio, Raudonoji, Karibų. Gali būti tiesiog vidinės šelfinės jūros, plytinčios viename žemyne. Tai Azovo, Baltijos, Geltonoji ir kitos. Pakraštinės – tai prie žemyno esančios akvatorijos, nuo vandenyno atskirtos salų, pusiasalių ar dugno reljefo. Tai Šiaurės, Karos, Geltonoji ir kitos jūros. Pakraštinėms jūroms priskirtinos ir atvirosios, pavyzdžiui, Norvegijos, Arabijos, Filipinų. Tarpsalinių jūrų akvatorijos atskirtos tik salų. Dažniausiai jos yra gilios, o jų hidrologiniai bruožai nedaug skiriasi nuo atvirojo vandenyno. Tokių jūrų daug Sundos salyne: Sulos, Bandos, Fidžio ir kt. Jūromis tradiciškai vadinamos įvairaus dydžio akvatorijos, kartais neturinčios ryšio su Pasaulio vandenynu, kartais net nedidelės jūrų dalys.

6.1 lentelė. Svarbiausios morfometrinės vandenynų charakteristikos (Frolov, 1971)

Vandenyno pavadinimas	Plotas (be salų), mln. km ²	Didžiausias gylis, m	Vidutinis gylis, m	Tūris, mln.km ³	Salų plotas, mln. km ²
Ramusis	178,7	11 022	3957	707,1	3,9
Atlanto	91,7	9207	3602	330,1	1,1
Indijos	76,2	7450	3736	284,6	0,8
Arkties	14,8	5449	1131	16,7	3,8
Pasaulio	361,3	11 022	3704	1338,5	9,6

Uždaresnės jūrų ir vandenynų akvatorijos vadinamos įlankomis, sąsiauriais, užtakiais, lagūnomis, fiordais.

Dugno reljefas. Pasaulio vandenyno gylio pasiskirstymas ir dugno reljefas ėmė ryškėti tik XIX a., pradėjus tiesti povandeninius transatlantinius ryšių kabelius. Tačiau tiek tada, tiek vėliau – iki pat gylmačio išradimo, dugnas pažintas tik fragmentiškai. Vėliau gylį registruoti gylmačiais buvo įpareigoti visi dideli prekybos laivai, o duomenys plaukė į keletą pasaulinių centrų. Taip pamažu ryškėjo Atlanto, o vėliau ir kitų vandenynų dugno vaizdas.

Šiandien vandenyno dugnas jau žinomas neblogai. Jame skiriami tokie mūsų planetos morfostruktūros elementai, kaip povandeninis žemyno kraštas, tarpinė zona, vandenyno guolis, vandenynų vidurio kalnagūbriai. Jie skirstomi į antrines reljefo formas (6.2 lentelė).

Geriausiai yra ištirtas kontinentinis šelfas – povandeninė žemyno tąsa iki gylio, sulig kuriuo staigiai pakinta dugno nuolydis. Šelfo plotis įvairiose akvatorijose gali būti iki 1500 km, o vidutiniškai sudaro apie 80 km. Geografinė ir socialinė šelfo sampratos skiriasi. Brėžiant valstybių ekonomines zonas, šelfui priskiriama iki 200 km pločio zona, o

eksploatuojant naudingąsias iškasenas, ypač naftą ir dujas, šelfas išplečiamas iki galimo eksploatacijos gylio (šiandien jis siekia net 500–600 m). Kontinentiniam šelfui priskiriamos ir priekrantės reljefo formos: povandeninės baros, rifai, sėkliai ir kt.

Sudėtingas vandenyno dugno reljefas yra tarpinėje zonoje su pakraštinių jūrų įdubomis, kurias nuo vandenyno guolio skiria statūs kalnų grandinių šlaitai arba lankais nusidriekusių salų virtinės. Kitose šių virtinių pusėse aptinkamos pačios giliausios Pasaulio vandenyno vietos – loviai. Giliausi iš jų yra Marijanų – 11 022 m – Ramiajame vandenyne, Puer-to Riko – 8742 m – Atlante, Sundo – 7209 m – Indijos vandenyne. Arkties vandenyne tipišku lovių nėra, giliausia vieta – 5449 m – yra į šiaurę nuo Špicbergeno salyno.

Ryškiausia vandenyno guolio reljefo forma yra vidurio kalnagūbriai, kurie driekiasi visais vandenynais ir kurių bendras ilgis viršija 80 tūkst. km. Be to, vandenynų dugne yra horstinių ir vulkaninių kalnagūbrių, vulkaninės kilmės kalnų – gajotų, ilgų ir gilių transforminių lūžių. Didžiausius vandenyno dugno plotus užima vandenyno guolis, kur vyrauja lyguminis reljefas.

Dugno nuosėdos. Jūrų ir vandenynų dugno nuosėdos žmonės domino nuo seniai, bet

6.2 lentelė. Pasaulio vandenyno dugno morfostruktūrinių elementų klasifikacija (Leontjev, 1982)

Pagrindinės reljefo formos	Antrinės reljefo formos	Plotas	
		mln. km ²	%
Povandeninis žemyno krantas	Šelfas Kontinentinis šlaitas Kontinentinė papėdė	736	20,3
Pereinamoji zona	Pakraštinių jūrų įdubos Vidinės iškilumos Salų lankai Giliavandeniai loviai	360	100
Vandenyno guolis	Abisalinės dugno lygumos Povandeninės plynaukštės Gajotai ir vulkaninių salų grandinės Vandenynų dugno kalvagūbriai	200,3	55,0
Vandenynų vidurio kalnagūbriai	Riftiniai slėniai Kalnagūbrių šlaitai	53,2	14,7

detalesnį jos pradėtą tyrinėti tik nuo pirmojo tikro mokslinio tyrimo laivo „Čelindžerio“ („Challenger“) ekspedicijos 1872–1876 metais. Iki tol nebuvo techninių galimybių paimti tyrimams dugno nuosėdų iš didelio gylio. Šios nuosėdos skirstomos pagal daugelį kriterijų, tačiau dabar plačiausiai naudojama genetinė–dinaminė nuosėdų klasifikacija (6.3 lentelė).

Į Pasaulio vandenyną nuosėdos patenka įvairiais keliais. Jų atneša upės, vėjas, daug organinės medžiagos sukaupia jūriniai planktoniniai organizmai: diatomėjos, radioliarijos, foraminiferai ir kt., taip pat nuosėdų patenka su ledais ir ledkalniais, išmeta besiveržiantys vulkanai. Nemažai nuolaužinės (terigeninės) medžiagos į vandenynus nuplauna ardančios krantų bangos, be to, jų susidaro ir vykstant vandenyje cheminiams procesams.

Vandenynuose nuosėdos kaupiasi labai mažu. Be to, nuosėdinių uolienų danga ploniausia vandenynų centrinėse dalyse ir storėja žemynų link. Nustatyta, kad centrinėse vandenynų dalyse slūgsantys raudonieji giliavandeniai moliai kaupiasi tik po 0,3 mm

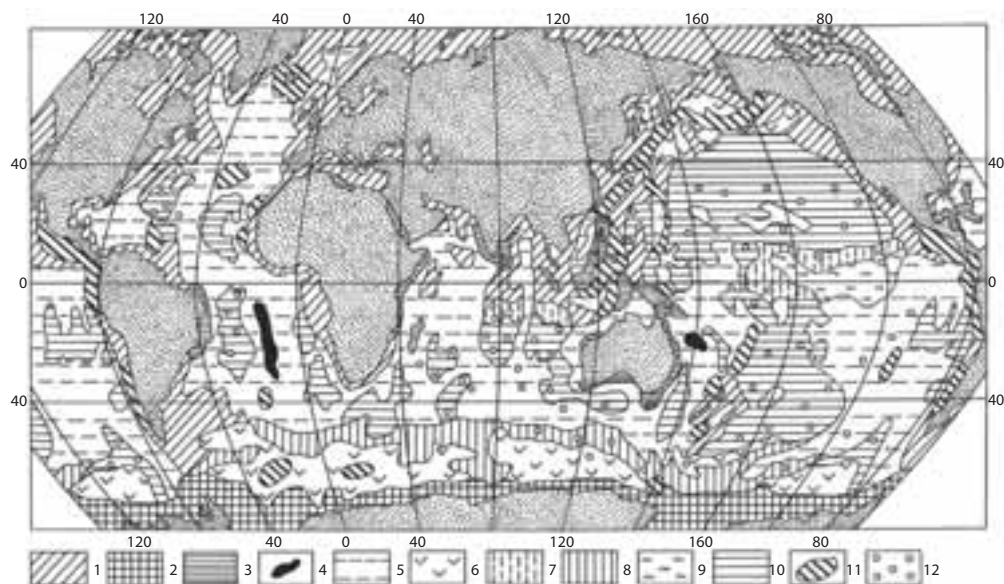
per 1000 metų greičiu. Greičiausiai nuosėdos kaupiasi giliavandenyse loviuose, priekontinentinėse jūrose, netoli upių žiočių ir ypač ten, kur grimzta Žemės pluta. E. Seiboldas nustatė, kad Juodojoje jūroje per 1000 metų susikaupia 400 mm nuosėdų, o Amerikos žemyno Kalifornijos priekrantėse net 1 mm sluoksnis per metus. Koraliųjų rifų medžiaga kaupiasi dar greičiau: per 1000 metų išauga net 10 m. Giliavandenyse loviuose nuosėdų storimė siekia net kelis kilometrus: Javos – apie 2 km, o Puerto Riko – net 5 km.

Pačius didžiausius dugno plotus dengia biogeninės–foraminiferinės nuosėdos – apie 38,8% viso dugno, didelį plotą sudaro ir giliavandeniai raudonieji moliai – apie 24,2%, taip pat juosianti terigeninių nuosėdų danga – maždaug 15,7% dugno ploto (6.1 pav.).

Vandenynų ir jūrų plotai, dugno reljefas ir nuosėdos iš pirmo žvilgsnio atrodo, kad yra stabilios būklės, bet iš tikrųjų ir šiems elementams būdinga globali kaita, susijusi tiek su bendra Žemės plutos raida, tiek su antropogeniniu poveikiu. Pirmoji priežastis lemia bendruosius endogeninius ir egzogeninius procesus, nuo kurių priklauso

6.3 lentelė. Genetinė–dinaminė jūrinių nuosėdų klasifikacija (Bezrukov, Petelin, Aleksina, 1970)

Nuogulų genetinės grupės ir pogrūpiai	Nuogulų tipai	Nuogulų mechaninė sudėtis
Terigeninės	Terigeninės Ledkalninės	Pseftai, psamitai, Aleuritai, pelitai
Biogeninės a) karbonatinės	Foraminiferinės Kokolitinės Koralinės Kriauklinės Pteropodinės	Psamitai, aleuritai, pelitai Aleuritai, pelitai Pseftai, psamitai Aleuritai
b) silicinės	Radioliarinės Diatomėjinės	Aleuritai, pelitai
c) silicinės–karbonatinės	Diatomėjinės–foraminiferinės Radioliarinės–foraminiferinės	Aleuritai, pelitai
Vulkanogeninės	Vulkanogeninės	Psamitai, aleuritai
Chemogeninės	Geležies–mangano Fosforitinės Karbonatinės Glaukonitinės	Konkrecijos, oolitai, žievės Psamitai, aleuritai
Poligeninės	Giliavandeniai raudonieji moliai	Pelitai



6.1 pav. Dugno nuosėdų paplitimo žemėlapis: 1 – terigeninės nuosėdos (be ledkalnių); 2 – ledkalninės; 3 – kriauklinės ir koralinės; 4 – pteropodinės; 5 – foraminiferinės ir kokolitinės; 6 – diatomėjinės; 7 – radioliarinės; 8 – mišrios diatomėjinės ir foraminiferinės; 9 – mišrios radioliarinės ir foraminiferinės; 10 – giliavandeniai raudonieji moliai; 11 – vulkanogeninės; 12 – geležies–mangano kongrecijų laukai (Leontjev, 1982).

dugno reljefas, kranto linijų kontūrai ir kt. Dėl antropogeninių procesų poveikio didėja žemynų aplinkinių akvatorių maistingumas, biogeninių nuosėdų kaupimosi greitis. Dirbamos žemės plotų didėjimas stiprina vėjo eroziją ir dirvožemio dalelių išnešimą į vandenyno akvatorijas. Paviršinio vandenynų sluoksnio ir atmosferos temperatūros kilimas keičia nusistovėjusių karbonatų apykaitą tarp vandenyno ir atmosferos. Regioniniu ir lokaliu lygiais žmonių veiklos poveikis hidrosferai dar akivaizdesnis: keičiamas upių kietasis nuotėkis, stiprėja jūros krantų arda, didėja jūrų priekrantinių akvatorių dugno antropogeninis užterštumas.

6.2. Vandenyno pažinimo istorija

Vandenyno pažinimo istorija yra neatskiriama nuo visos civilizacijos raidos. Šiandien neginčijamai įrodyta, kad žmonių bendruomenės visada kūrėsi prie vandens: upių,

ežerų, jūrų. Čia buvo lengviau išgyventi, saugiau, daugiau maisto, didesnės galimybės keliauti ir pažinti aplinką. Pačios pirmosios žmonių sukurtos transporto priemonės buvo taip pat skirtos keliauti vandeniu: plaustas, luotas, valtis, laivas. Atsiradus laivams jūras ir vandenynus buvo galima tyrinėti ne tik nuo kranto.

Pirminis žinių apie vandenyną kaupimo etapas. Salų, jūrų bei vandenynų pakrančių gyventojai jau senovėje plaukė į atvirą jūrą. Nors senųjų jūrininkų valtys šiandien atrodo primityvios, jos atlaikydavo jūrų audras, o jomis plaukioję žmonės pasiekdavo tolimus kraštus. Kad senosios civilizacijos Europoje, Amerikoje arba Afrikoje nebuvo visiškai izoliuotos viena nuo kitos, įrodė kelionės, atliktos laivais, kokiais plaukiojo ir mūsų protėviai. Tarp tokių kelionių žinomiausia balzos medžio plaustu „Kon Tiki“ iš Pietų Amerikos į Polinezijos salas atlikta norvegų keliautojo

ir etnografo T. Hejerdalo vadovaujama ekspedicija. Plačiai pagarsėjo ir to paties keliautojo ekspedicijos papiruso laivais „Ra – 1“ ir „Ra – 2“ iš Šiaurės vakarų Afrikos į Ameriką arba jo ekspedicija po Indijos vandenyną laivu „Tigris“. Atlikta ir daugiau panašių kelionių. 1976–1977 m. kelionę jaučio odų valtimi iš Britanijos į Ameriką organizavo ir atliko anglas Timas Severinas, įrodęs, kad senovės keltai Amerikos žemyną pasiekdavo daug anksčiau už normanus.

Žinoma, kad vieni pirmųjų tolimas keliones atliko finikiečiai. Jie žinojo Britanijos salas (Kasiteridę), buvo apiplaukę Afriką. Senovės graikai taip pat žinojo Kasiteridę ir netgi Tulę (Norvegiją). Arabai net senaisiais laikais neblogai pažinojo Indijos vandenyno šiaurinę dalį, o kinai dar XII a. pasiekdavę Korėją. Senajame pasaulyje buvo ne taip mažai mąstytojų, pažinojusių ne tik jūrą, bet ir atlikusių tam tikrus tikslinius stebėjimus bei juos užrašiusius (Aristotelis ir kt.).

Ankstyvasis mokslinio pažinimo etapas. Nauja Pasaulio vandenyno pažinimo epocha prasidėjo kartu su didžiaisiais geografiniais atradimais. Daugiausia jūrinių ekspedicijų surengė Ispanija, Portugalija, Anglija, Prancūzija, Olandija. Svarbiausias šių ekspedicijų tikslas buvo labai materialus: atrasti iki tol nežinomų turtingų žemių. Kartu buvo tobulinama orientavimosi vandenyne įranga, žemėlapiai. Atrandant naujas žemes, buvo aprašinėjami tolimi maršrutai, nežinomų jūrų gamtinė aplinka, t.y. vėjai, srovės, farvaterių ypatybės, krantų pobūdis ir kt.

1492 metais K. Kolumbas atranda Ameriką. Be to, K. Kolumbas bene pirmasis aptiko Golfo srovę, bandė matuoti jos greitį. Šioje epochoje Vasco da Gama randa kelią į Indiją aplink Afriką, Amerigo Vespuči apiplaukė rytinę Pietų Amerikos dalį. F. Magelano kelionė aplink Pasaulį įrodė, kad Žemė tikrai yra apvali. XVI a. pradėta tyrinėti Šiaurės

Amerikos šiaurinė dalis, kur daug atradimų padarė J. DAVISAS, M. FROBISHERIS, H. HUDSONAS, W. BAFFINAS, G. CABOTO ir daugelis kitų. XVII a. S. Dežniovas su F. Popovu apiplaukė arktinius Sibiro krantus, rado sąsaurį tarp Amerikos ir Azijos. 1820 metais F. G. von BELINGSHAUSENAS ir M. LAZAREVAS randa Antarktidos žemyną.

Ankstyvasis vandenyno pažinimo etapas išsiskyrė ne vien bendrąja Žemės paviršiaus pažinimo plėtra. Kartu vystėsi ir mokslas. XV a. ir XVI a. geografinius atradimus labai paskatino M. KOPERNIKO ir G. GALILĖJAUS mokymas apie Žemę – Saulės sistemos planetą arba senieji L. da VINCI jūrinės aplinkos tyrinėjimai. Vėliau pasirodė fundamentalios I. NIUTONO, P. S. LAPLASO, J. L. LAGRANŽO ir daugelio kitų mokslininkų sukurtos teorijos apie jūrų bangų, potvynių ir atoslūgių bei kitų reiškinių prigimtį. Šiam vandenyno pažinimo etapui tenka priskirti ir 1865 m. dano F. FORCHAMERIO revoliucinę išvadą apie įvairių Pasaulio vandenyne ištirpusių druskų santykio pastovumą bei garsiuosius Č. DARVINO darbus apie rūšių teoriją. Labai svarbu tai, kad šiame etape 1725 m. pasirodo L. MARSILJIO okeanologijos srities darbas „Jūros fizikinė istorija“.

Okeanologijos mokslo kūrimosi etapas. Grynai mokslinis vandenynų tyrimas tam tikslui pritaikytais laivais, pasitelkus įvairių sričių specialistus, prasidėjo nuo 1872 metų. Tada į pirmąją ekspediciją aplink Pasaulį išvyko Britanijos karališkojo laivyno fregata „Čelindžeris“. Per 1872–1876 metų laikotarpį ši ekspedicija paėmė 354 vandenyno dugno nuosėdų ėminius, surado 4417 naujų organizmų rūšių ir 715 šeimų, atliko daugybę atviro vandenyno gylio matavimų, išmatavo paviršiaus ir gelmių temperatūrą. Tai buvo pirmasis moksliniams tyrimams specialiai įrengtas laivas, ekipiruotas netgi garine gerve. Ekspedicijos dalyvių ataskaitoms pa-

ruošti (50 tomų) prireikė dar 15 metų. Šioje ekspedicijoje tarp kitų garsių mokslininkų dalyvavo ir V. Tomsonas, vėliau gavęs lordo Kelvino titulą. „Čelindžerio“ ekspedicija šiandien laikoma tikslingų okeanologijos tyrimų etapo pradžia.

Šiame etape buvo įvairiapusiškai tyrinėjami vandenyno fizikos, chemijos, biologijos ir geologijos procesai, atliktos garsios F. Nanseño ir N. A. E. Nordenšeldo bei daugelio kitų mokslininkų kelionės bei tyrimai.

Vandenynų tyrinėjimo tempai ypač pagreitėjo XIX ir XX amžių sandūroje, kai pasirodė fundamentalūs V. Ekmano, M. Knudseno, J. M. Šokalskio, O. Krummelio, H. Viusto ir daugelio kitų žymių mokslininkų darbai. Šie darbai paskatino iki XX a. vidurio gana detaliai ištyrinėti daugumą okeane vykstančių procesų, o mokslas apie vandenyną tapo nepaprastai svarbus ir praktikai, ir fundamentaliam atmosferos, hidrosferos, litosferos ir biosferos vertinimui.

Šiuolaikinis vandenyno pažinimo etapas. Jo pradžia įvardyti ne taip paprasta, tačiau ją žymi keli būdingiausi šio pažinimo etapo bruožai.

Pirmasis ir labai būdingas šio etapo skiriamasis bruožas – tai nepaprastai glaudaus daugelio valstybių bendradarbiavimo tiriant Pasaulio vandenyną pradžia. Dar XIX amžiaus pabaigoje tapo aišku, kad vienai, netgi turtingai šaliai vykdyti plataus masto eksperimentus Pasaulio vandenynė yra per brangu. Todėl dar 1882–1883 m. buvo nutarta konsoliduoti lėšas ir mokslo pajėgas, pradedant *Pirmuosius tarptautinius poliarinius metus*. Šis bendradarbiavimas išryškino būtinumą visose šalyse standartizuoti prietaisus bei vertinimo vienetus. Tai buvo padaryta 1902 m., įkūrus šiam tikslui *Tarptautinę tarybą*.

Plataus masto tarptautinis bendradarbiavimas prasidėjo tik po Antrojo pasauli-

nio karo, kai 1957–1959 m. buvo paskelbti *Tarptautiniais geofiziniais metais*. Šiuo laikotarpiu Pasaulio vandenynė pagal suderintas programas dirbo virš 70 mokslinio tyrimo laivų, priklausiusių net 17 šalių. Buvo organizuota netoli 300 ekspedicijų. Šį laikotarpį ir būtų tikslingiausia laikyti aptariamojo etapo pradžia.

Antrasis šiuolaikinių tyrimų bruožas – tyrimų kompleksiskumas. Ankstesniuose etapuose svarbiausias dėmesys buvo skiriamas atskirų reiškinių arba procesų pažinimui, o šiame – daugybės procesų sąveikai. Šiandien kartu tiriama atmosferoje, hidrosferoje ir litosferoje vykstančių procesų sąveika, jos rezultatai. Tyrimams plačiai naudojami geofizikiniai ir nuotoliniai metodai, kosminės ir automatizuotos priemonės, daugybė laivų. Glaudžiai bendradarbiaujant buvo tiriama Kuro Šio srovė, priešsrovės, rasti milžiniški ratai (jų tinklas) – viena tipiškiausių dinaminų sistemų, atlikti atogrąžų zonos tyrimai pagal projektą „Poligon“ (1970), taip pat globalių atmosferos procesų tyrimai virš vandenyno pagal projektą „Pigap“ (1974). Šie ir daugelis kitų projektų parodė egzistuojančią glaudžią vandenyno ir atmosferos sąveiką, todėl aštuntojo dešimtmečio pabaigoje buvo vykdomas didžiulis šiai sąveikai tirti projektas „Polimode“.

Trečiasis šiuolaikinio tyrimo etapo bruožas – tai vis dažniau įgyvendinamas perėjimas nuo gamtinio eksperimento prie modeliavimo. Dėl kompiuterinės technikos pažangos nuo maždaug devintojo dešimtmečio procesus ir jų sąveikas galima nebenagrinėti natūroje, o sukuriant atitinkamas skaitmenines situacijas.

Trečiojo etapo specifika išryškino dar vieną jūrų ir vandenynų šiuolaikinių tyrimų bruožą – globalios monitoringo sistemos būtinumą. Mažesnėse jūrų akvatorijose bei priekrantiniuose vandenynuose monitoringas vykdomas plačiu mastu, bet vandenyno

akvatorijoje tokių duomenų dar trūksta. Be konkrečių matavimų, pasitelkiami distanciniais metodais gauti duomenys.

Šiandien Pasaulio civilizacija yra priversta ne tik vykdyti globalų monitoringą, bet ir imtis konkrečių veiksmų dėl gamtinės aplinkos pagerinimo bei išteklių pagausinimo. Tai laivų ir laivybos technologijų gerinimas, biologinių ir kitų išteklių globalus reguliavimas, taršos reguliavimas ir kt.

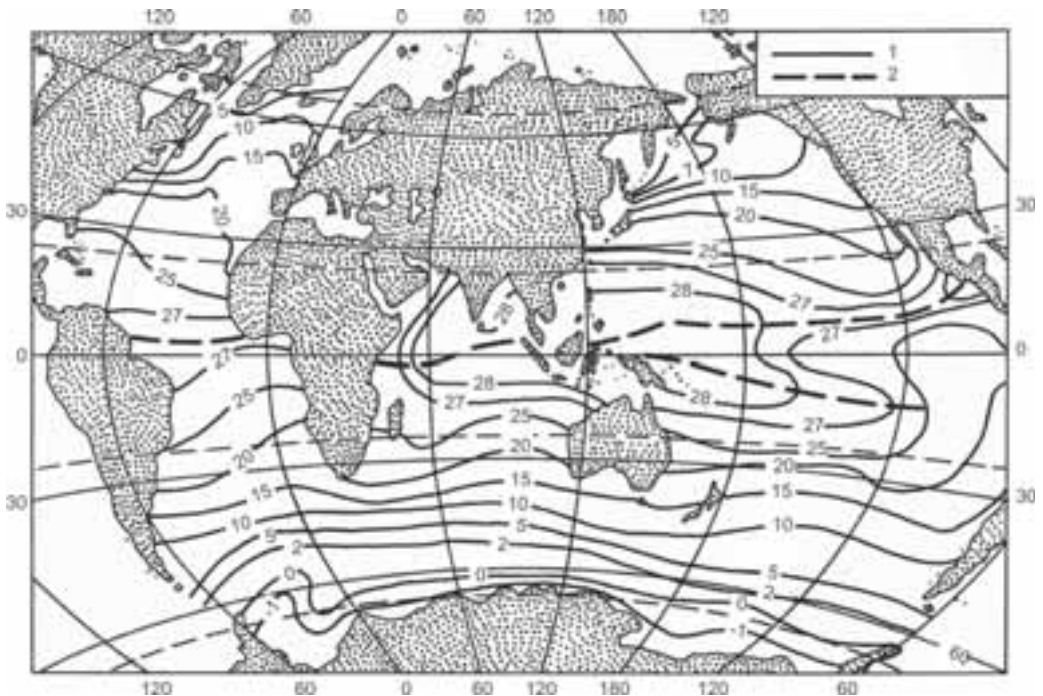
6.3. Vandens masės ypatybės

Temperatūros pasiskirstymas. Jūrų ir vandenynų vandens temperatūra imta matuoti dar XVII a., kai tik buvo išrastas termometras. Nepaisant to, vandenyno paviršiaus temperatūros pasiskirstymo dėsningumai nebuvo žinomi iki pat XIX a. vidurio. Pirmus Atlanto vandenyno mėnesių izotermų žemėlapius 1852 m. parengė M. F. Mori. Tik

pirmoje XX a. pusėje pasirodę V. F. Makdonaldo, G. Šoto ir kitų tyrinėtojų darbai paaiškino jūrų ir vandenynų paviršiaus temperatūros pasiskirstymą.

Giluminio vandens temperatūros pasiskirstymo dėsningumai buvo išaiškinti tik XX a. pirmoje pusėje, po daugelio tyrinėtojų atliktų darbų.

Vandenyno paviršiaus temperatūra labiausiai susijusi su Saulės spinduliuotės kiekiu, todėl priklauso nuo geografinės platumos. Per parą paviršinio vandens temperatūra vidutiniškai kinta vos $0,5^{\circ}\text{C}$, labiausiai žemosiose platumose – iki 1°C , o aukštosiose svyruoja apie 0°C . Metinė temperatūros amplitudė daug didesnė ir priklauso nuo sezoninio Saulės spinduliuotės balanso, srovių, įvairiose platumose vyraujančių vėjų. Ekvatoriaus zonoje vandens temperatūros amplitudė gali siekti tik 2°C , subtropikuose – iki 6°C , o poliariniuose rajonuose – dar daugiau. Jūri-



6.2 pav. Vidutinės metinės temperatūros pasiskirstymo vandenyno paviršiuje žemėlapis: 1 – izotermių linijos; 2 – aukščiausios temperatūros linijos (Stepanov, 1974)

nių baseinų paviršiaus temperatūros metinės amplitudės daug didesnės. Didžiausios būna vidutinių platumų jūrose: Juodojoje – 19°C (7–8°C žiemą ir iki 28°C vasarą), Šiaurės jūroje – 15°C, Viduržemio jūroje – apie 14°C. Vidutinė metinė Baltijos jūros temperatūros amplitudė yra apie 17°C, be to, ji gerokai skiriasi pietinėje ir šiaurinėje jūros dalyse. Jūrų vandens temperatūros ypatumus, be geografinės platumos, lemia jų gylis, išsimašymas ir kt. savybės. Žemiausia vandens temperatūra būna užšalanciose jūrose: Amundseno, Karos, Laptevų – 1,8°C. Aukščiausiomis atviro vandenyno temperatūromis (28°–29°C) išsiskiria terminis ekvatorius, t.y. tarp 5° ir 10° šiaurės platumos esanti akvatorija. Aukščiausia vandens temperatūra Raudonojoje jūroje – 32°C ir Persijos įlankoje – 35,6°C.

Nors Pasaulio vandenynui būdingas platuminio temperatūros pasiskirstymo dėsningumas, tačiau yra ir nuokrypių nuo jo. Jie būtų tokie:

1. Nevienoda temperatūra vakarinėse ir rytinėse vandenynų dalyse, ypač žemose ir vidutinėse platumose. Palei rytinius vandenynų krantus vandens temperatūra žemesnė, daugelyje vietų teka šaltosios srovės.
2. Nevienoda temperatūra tose pačiose platumose Atlanto, Indijos ir Ramiojo vandenynų Antarktidos sektoriuje, nes Atlanto ir Indijos vandenynuose Antarktidos krantai driekiasi 65°–66° p. pl., o Ramiajame – net 73° p. pl. Todėl tose pačiose platumose Ramiajame vandenyne vanduo šiltesnis.
3. Aukštesnė negu kituose vandenynuose Šiaurės Atlanto vandens temperatūra, kurią 7–8°C pakelia šiltųjų Golfo srovių sistema.

Vertikalusis vandenyno vandens temperatūros pasiskirstymas taip pat keičiasi pagal geografinę platumą. Skiriami trys temperatūros vertikaliosios kaitos tipai: poliarinis,

subpoliarinis bei vidutinių ir atogrąžų platumų.

Pasaulio vandenynas, kurio vidutinė vandens temperatūra tik 3,8°C, yra šalta sfera. Nepaisant to, dėl didžiulio šios sferos šilumos imlumo viršutinis vandenyno sluoksnis žemosiose platumose sorbuoja šilumą, kurią atiduoda aukštesioms platumoms. Be to, didesnę šilumos kiekį vandenynas sugeria vasarą ir atiduoda žiemą, išlygindamas tiek platuminius, tiek sezoninius temperatūros skirtumus. Taip Pasaulio vandenynas švelnina ir reguliuoja visos Žemės temperatūrą. Dėl žemos temperatūros šiaurinėse ir pietinėse vandenynų dalyse susidaro dideli ledo dangos plotai. Arktyje susidaro daugiamečio ledo, o nuo Antarktidos jo kiekvienais metais išplukdoma į vidutines platumas. Ledo šiluminis laidumas net 5 kartus didesnis už nesusalusio vandens ir 8 kartus – už sniego. Manoma, kad dėl didelio šilumos laidumo ledas gali storėti iš apačios. Ledas ir sniegas gerai atspindi Saulės spindulius. Švarus vanduo gali sugerti apie 80% į jį krinčiančios Saulės spinduliuotės, o ledas gali atspindėti jos iki 80%. Dėl šios priežasties apledėję Žemės rajonai gerokai sumažina mūsų planetos paviršiaus temperatūrą.

Šiltėjant dabartiniam globaliam klimatui ledo dangos plotas mažėja. Tai, savo ruožtu, mažina Žemės atspindimos Saulės spinduliuotės dalį, ir dar pagreitina šiltėjimo procesą.

Druskingumas. Atsiradus gana tiksliais cheminės analizės metodams, 1865 m. d. nanas F. Forhameris iškėlė mintį apie pastovų įvairių Pasaulio vandenyne ištirpusių druskų santykį. Vėliau įrodyta, kad įvairių druskų santykis vandenyne nepriklauso nei nuo geografinės padėties, nei nuo gylio. Be to, paaiškėjo, kad vidutinis vandenyno druskingumas yra artimas 35‰. Dabar žinoma, kad ištirpusių druskų koncentracija įvairiose jūrose gali

skirtis, bet jonų tarpusavio santykis išlieka pastovus. Druskingumo lygį vandens paviršiuje atvirame vandenyne lemia vandens balanso elementai, t.y. krituliai ir garavimas. Jei vandens išgaruoja daugiau negu iškrinta kritulių, kaip Atlanto vandenyne prie Azorų salų, druskingumas padidėja net iki 37,9‰ (6.3 pav.). Arkties vandenyne, kur dėl žemos temperatūros ir ledo dangos garavimas nedidelis, be to, daug gėlo vandens atneša didžiosios upės, druskingumas yra tik apie 32‰. Centrinėje Baltijos jūros dalyje druskingumas tik 7–8‰. Jis didžiausias jūros pietinėje dalyje, o Botnijos įlankoje sumažėja iki 3–4‰. Tai lemia didelis kritulių kiekis ir daug vandens atnešančios į Baltiją įtekančios upės. Atvirame vandenyne didžiausias druskingumas būna atogrąžų zonoje ir tokiose jūrose, kaip Viduržemio, Raudonojoje. Be minėtų priežasčių, druskingumą keičia vandenynų srovės, upių atneštas vanduo, ledo susidary-

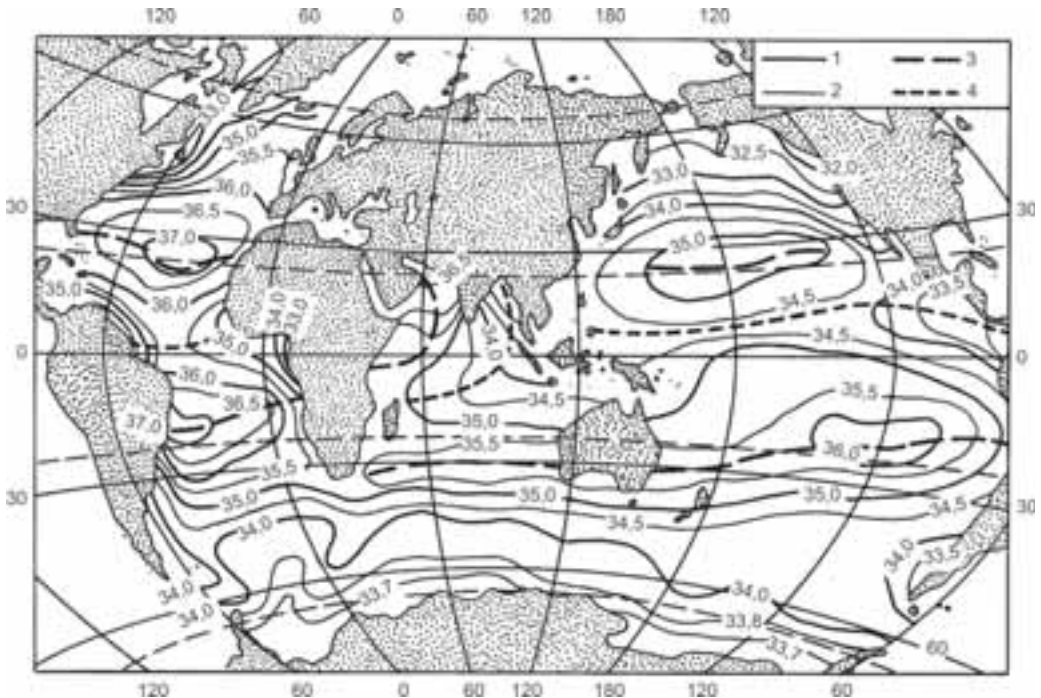
mas arba tirpimas bei kitos priežastys.

Vertikaloji druskingumo kaita (6.4 pav.) labai priklauso nuo temperatūros pasiskirstymo. Šiltesni vandenys paprastai yra druskingesni negu šalti. Tarp vandenynų didžiausiu druskingumu išsiskiria Atlantas.

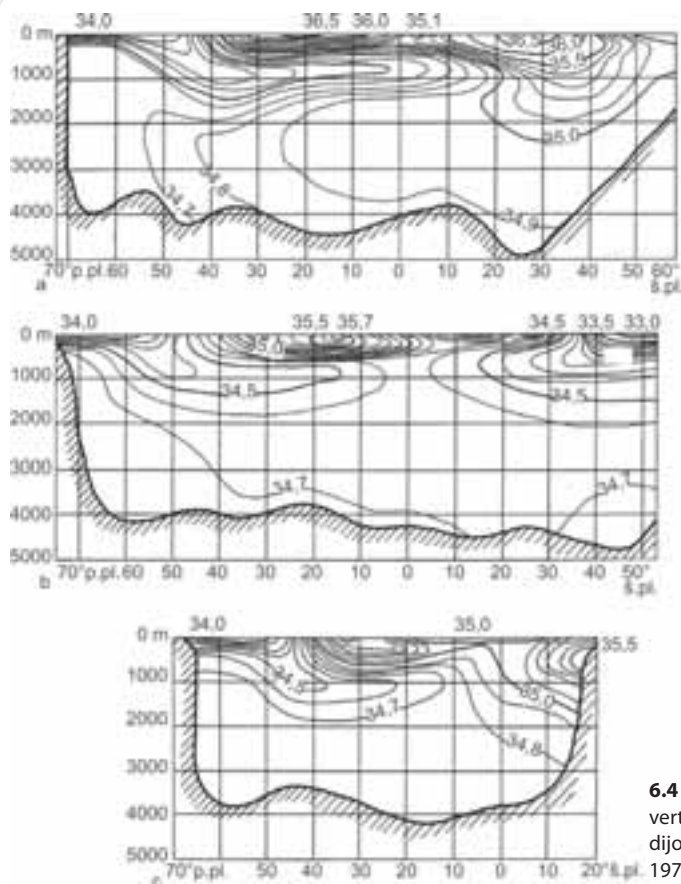
Vandens masės. Druskingumas, kaip ir temperatūra, yra labai svarbios vandens savybės, kurios vandenyno paviršiuje daug priklauso nuo geografinės platumos. Skirtingose platumose susidaro tam tikrų savybių vandens masės. Be to, temperatūra ir druskingumas lemia ir vandens tankį. Tankesnė vandens masė grimzta gilyn. Taip susidaro gana stabilios vertikalios struktūrinės zonos.

Paviršinė struktūrinė zona apima viršutinį 200–300 m vandens sluoksnį, susidarantį dėl bangų ir srovių poveikio besimaišant vandeniui.

Tarpinės struktūrinės zonos apatinė riba



6.3 pav. Vidutinių metinių Pasaulio vandenyno paviršiaus druskingumo reikšmių pasiskirstymo žemėlapis: 1, 2 – izohalinės ir druskingumo reikšmės (‰); 3 – didžiausio druskingumo zonos; 4 – mažiausio druskingumo zonos (Stepanov, 1974)



6.4 pav. Druskingumo (‰) pasiskirstymas vertikaliuose Atlanto (a), Ramiojo (b) ir Indijos (c) vandenynų pjūviuose (Stepanov, 1974)

formuojasi nuo 600–800 m iki 1000–1200 m gylyje. Ji susidaro veikiant tiek paviršiniams, tiek giliau slūgsantiems šaltiems vandenims. Didelį poveikį jos savybėms daro jūriniai vandenys: Atlanto vandenyne – Viduržemio, Indijos vandenyne – Raudonosios jūros.

Giluminės vandens masės yra paplitusios iki 3000–4000 m gylio. Jos savo savybes įgauna aukštųjų platumų šelfuose maišantis paviršiniams ir tarpinės zonos vandenims. Atlante jos susidaro Grenlandijos jūroje, kur atšalęs vanduo grimzta, o Pietų pusrutulyje – prie Antarktidos.

Priedugnio vandenys pasižymi žemiausia temperatūra ir didžiausiu tankiu. Atšalę prie Grenlandijos arba Antarktidos jie grimzta ir

priedugniu nuolydžio kryptimi juda ekvatoriaus link. Šios zonos storis – nuo 500 iki 1000 m.

Taigi temperatūra ir druskingumas lemia vandens masių susidarymą bei savybes ne tik paviršiuje, bet ir visoje vandens storumėje.

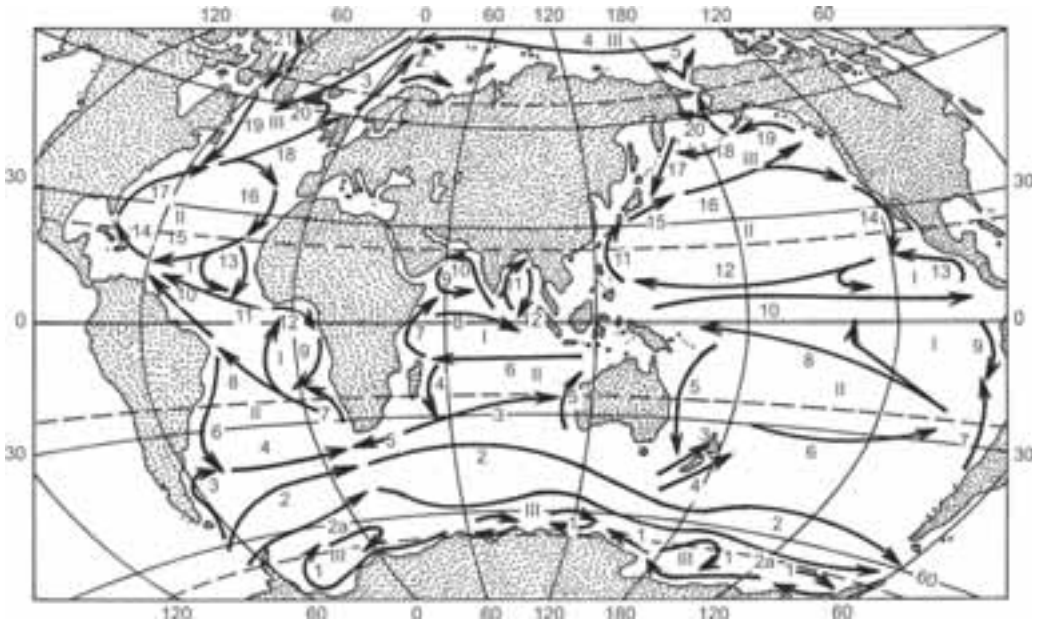
Globali klimato kaita gali keisti vandens masių savybes bei dinamiką. Tankio skirtumai lemia ne tik konvekcinių vertikalų vandens maišymąsi, bet ir horizontalų vandens masių judėjimą. Tai ypač aktualu sąsiauriuose, jungiančiuose skirtingo tankio vandens baseinus: Gibraltaro, Dardanelų ir netgi Klai-pėdos. Visais šiais atvejais tankesnė vandens masė skverbiasi į mažesnio tankio terpę.

6.4. Vandens dinamika vandenyne

Viena Pasaulio vandenyno savybių – nuolatinis vandens masių judėjimas nuo pat paviršiaus iki dugno. Šis judėjimas yra ir horizontalaus, ir vertikalaus pobūdžio, nors ne mažiau svarbi ir turbulencinė vandens sąmaiša. Be šios sąmaišos, nuo atmosferos išilęs vandens paviršius dėl molekulinės konvekcijos šilumą perduotų tik plonam vandens sluoksniui, kuris nesugebėtų reguliuoti mūsų planetos paviršiaus temperatūros. Dėl turbulencinio maišymosi vasarą vandenynas įšyla iki kelių šimtų metrų gylio. Be to, dėl vandens maišydamosi tolygiau visoje story-

mėje pasiskirsto deguonis, į vandens paviršių išnešama daugiau maistingų druskų.

Vandenyno vandens dinamika priklauso nuo gana daug priežasčių. Viena svarbiausių – netolygus sausumos ir vandens išilimas skirtingose geografinėse platumose, dėl kurio susiformuoja stacionarūs arba besikeičiantys oro masių srautai, o šie išjudina paviršinių vandens sluoksnių. Hidrodinaminis procesus skatina ir potvynius bei atoslūgius sukeliančios jėgos – Koriolio jėga ir daug kitų veiksnių. Dėl jų poveikio vandenynas be perstojo banguoja, vyksta potvyniai ir atoslūgiai, keičiasi kai kurių akvatorių bei viso vandenyno vandens lygis, susidaro tam



6.5 pav. Svarbiausių paviršinių jūrų srovių schema:

Pasaulio vandenyne: 1 – Antarktidos priekrantinė, 2 – Vakarų vėjų (Antarkties cirkumpoliarinė), 2a – Pietinė cirkumpoliarinės srovės atšaka; Atlanto vandenyne: 3 – Falklando, 4 – Pietų Atlanto, 5 – Adatos kyšulio, 6 – Brazilijos, 7 – Benguelos, 8 – Pietų pasatinė, 9 – Angolos, 10 – Gvianos, 11 – Ekvatorinė priešrovė, 12 – Gvinėjos, 13 – Žaliojo kyšulio, 14 – Antilų, 15 – Šiaurės pasatinė, 16 – Kanarų, 17 – Golfo, 18 – Šiaurės Atlanto, 19 – Labradoro, 20 – Irmingerio, 21 – Baffino, 22 – Vakarų Grenlandijos; Indijos vandenyne: 3 – Pietų Indijos vandenyno, 4 – Madagaskaro, 5 – Vakarų Australijos, 6 – Pietų pasatinė, 7 – Somalio, 8 – Ekvatorinė priešrovė, 9 – Vakarų Arabijos, 10 – Rytų Arabijos, 11 – Vakarų Bengalijos, 12 – Rytų Bengalijos; Ramiajame vandenyne: 3 – Vakarų Naujosios Zelandijos, 4 – Rytų Naujosios Zelandijos, 5 – Rytų Australijos, 6 – Pietų Ramiojo vandenyno, 7 – Peru, 8 – Pietų pasatinė, 9 – Peru–Čilės, 10 – Ekvatorinė priešrovė, 11 – Mindanao, 12 – Šiaurės pasatinė, 13 – Meksikos, 14 – Kalifornijos, 15 – Kuro Šio, 16 – Šiaurės Ramiojo vandenyno, 17 – Oja Šio, 18 – Aleutų, 19 – Aliaskos, 20 – Vakarų Beringo jūros; Arkties vandenyne: 1 – Norvegijos, 2 – Nordkapo, 3 – Rytų Grenlandijos, 4 – Vakarų Arkties, 5 – Ramiojo vandenyno. Romėniškais skaitmenimis pažymėtos makrocirkuliacijos sistemos: I – cikloninės tropikų, II – anticikloninės subtropikų, III – aukštųjų platumų cikloninės.

tikros krypties vandens srovės, vertikalioji cirkuliacija.

Srovės bei globalios cirkuliacinės sistemos. Žvelgiant į jūrą nuo kranto didžiausią įspūdį daro jūros bangos. Tačiau net ir įspūdingo dydžio vandenyne kylančios bangos išjudina, išmaišo tik viršutinį vandens sluoksnį ir lemia tam tikrų savybių pasiskirstymą. Visos okeaninės vandens srovės ypatybės lemia vandens tankio skirtumo sukelta cirkuliacija. Vandenyne vykstantys procesai tarpusavyje yra glaudžiai susiję. Vandenyne srovės sudaro milžiniškus ratus (6.5 pav.), kuriuose vandens masės teka kaip cikloninės arba anticikloninės oro masės. Didžiausiu galinumu ir stacionarumu išsiskiria anticikloninės srovių sistemos, o jose pastovumu – pasatinės srovės. Srūdomos abipus terminio ekvatoriaus iš rytų į vakarus ir pasiekusios vakarinius krantus, jos šakojasi ir pasuka į aukštesnes platumas. Jos suteikia stiprų impulsą greičiausioms srovėms: Golfo, Gvianos, Antilų, Madagaskaro, Somalio, Kuro Šio, Rytų Australijos ir kt. Vidutinėse platumose veikiami vakarų vėjų šie srautai pasuka į rytus, sudarydami Šiaurės Atlanto, Šiaurės Ramiojo vandenyno ir kt. sroves. Prie vandenynų rytinių krantų ši vandens masė pasuka pusiaujo link, sudarydama anticikloninę srovių ratą.

Cikloninėms atogrąžų srovių sistemoms pradžia duoda šaltos kompensacinės Kanarų, Benguelos, Kalifornijos, Peru srovės, tekančios palei vakarinius vandenynų krantus.

Anticikloninio tipo srovių sistemose vandens masė Šiaurės pusrutulyje sukasi pagal laikrodžio rodyklę, o Pietų pusrutulyje – prieš ją. Milžiniško anticikloninio sukuriu viduryje dėl Koriolio jėgos suplūsta paviršinio sluoksnio vandens. Tai vadinamoji konvergencijos zona, kurioje paviršinio vandens masė grimzta. Grimzdimo vietos vadinamos *daunvelingais*. Cikloninėse srovių sistemose

ratų viduryje paviršinio sluoksnio vandens masė sklinda į šalis, todėl šioje vietoje iš gelmių kyla priedugnio vanduo. Vietos, kur vanduo sklinda į šalis, vadinamos divergencijos zonomis, o vandens kilimo procesas – *apvelingu*.

Skirtingose platumose bei vandenynų vietose susidarantys srovių ratai perskirsto šilumą, toli perneša maisto medžiagų, žuvų ikrų bei lervučių, dideliuose planetos paviršiaus plotuose pakeičia klimatą. Kildamos iš gelmių vandens masės į paviršių išneša maistingas azoto ir fosforo druskas (vadinamąsias biogenines medžiagas), o grimzdamos į priedugnio zoną paskleidžia vandenyje ištirpusį deguonį.

Jūrose susidaro regioninio masto cirkuliacinės sistemos. Jos formuojasi pagal panašius principus, todėl visose Šiaurės pusrutulio jūrose srovės sudaro prieš laikrodžio rodyklę nukreiptas ratų sistemas. Tokia sistema vyrauja ir Baltijos jūroje: palei rytinius, t.y. Lietuvos, Latvijos, krantus, srovės teka į šiaurę, o palei Švedijos krantus – į pietus. Tokios srovių sistemos vyrauja ir Rygos, Suomijos, Botnijos įlankose.

Bangavimas, potvyniai ir atoslūgiai. Pasaulio vandenyne banginiai vandens judesiai kyla dėl Mėnulio ir Saulės potvynius ir atoslūgius sukeliančių jėgų, vėjo, atmosferos slėgio pokyčių (anemobarinės bangos), Žemės drebėjimų vandenyno dugne (seisminės, arba cunamio, bangos), kietųjų kūnų judėjimo vandens paviršiumi (laivų sukeltos bangos) bei kitų priežasčių. Dažniausiai jūrose ir vandenyne kyla vėjinės bei potvyninių ir atoslūgių bangos.

Įprastas bangas jūroje sukelia vėjas. Atviroje jūroje – tai tik vandens dalelių svyravimai, kurie judesiai pusiau uždaroje orbitomis. Bangų parametrai priklauso nuo jų išibėgėjimo atstumo bei vėjo greičio. Be to, tarpusavio priklausomybėmis susiję ir bangos il-

gis, aukštis bei periodas, taip pat ir sklidimo greitis. Pati aukščiausia vandenynė išmatuota banga siekė 34 m, o vyrauja 3–5 m aukščio bangos. Intensyviausias bangavimas visose vandenynuose nustatytas 40°–50° platumoje – tiek Šiaurės, tiek Pietų pusrutuliuose. Jūroms taip pat būdingos vėjinės bangos, o vandenynams – inercinės.

Be vėjo, ilgo periodo bangas sukelia ir kosminės priežastys, t.y. Mėnulio trauka. Kai Saulė, Mėnulis ir Žemė atsiduria vienoje tiesėje (t.y. sutampa jų elipsoidų didžiosios ašys) (6.6 pav.), Saulės ir Mėnulio traukos jėgos sumuojasi ir potvynis būna 20% aukštesnis už normalųjį. Jis vadinamas *siziginiu*. Kai Saulė ir Mėnulis vienas kito ir Žemės atžvilgiu išsidėsto stačiu kampų (t.y. Saulės potvynis sutampa su Mėnulio atoslūgiu), jų traukos jėgos iš dalies slopina viena kitą ir susidaro maždaug 20% mažesnis už normalųjį potvynis; toks kylantis potvynis vadinamas *kvadratinu*.

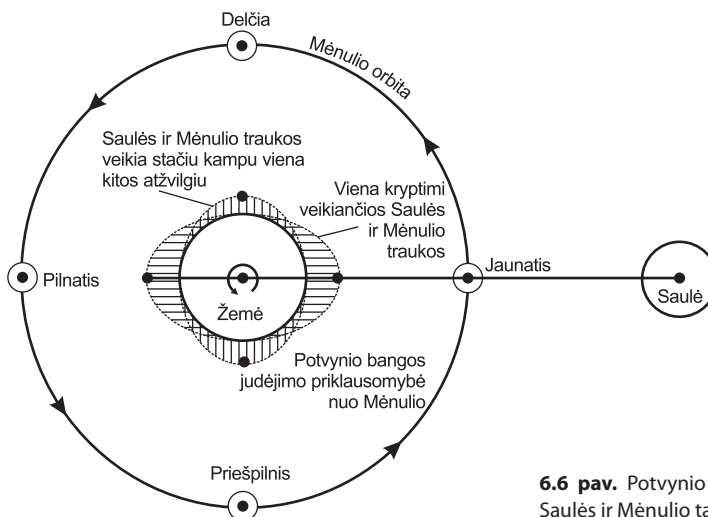
Be to, Mėnulis apie Žemę skrieja elipsine orbita, visą kelią ja įveikdamas per 27,55 paros. Priklausomai nuo to, ar jis būna apogėjuje, t.y. toliausiai nuo Žemės, ar perigėjuje, potvynių reikšmės dėl skirtingo poveikio arba 20% sumažėja, arba tiek pat padidėja. Šios ir dar daug kitų priežasčių lemia tai, kad

Pasaulio vandenynė potvyniai būna skirtingo dydžio, o laiko atžvilgiu pasiskirsto arba kas pusė paros, arba kas para. Potvyniai ir atoslūgiai labai svarbūs praktiniu požiūriu. Kaip ir bangavimas, jie išmaišo vandens mases (ypač priekrantėse), padeda jas išotinti deguonimi, dėl ko yra labai svarbūs mari-kultūrai. Svarbūs jie ir navigacijai, nes didieji laivai į daugelį upių įplaukia tik potvynių metu.

Europoje dideliais potvyniais garsėja Šiaurės jūros priekrantės (iki 15 m), Atlanto pietvakarinės priekrantės prie Argentinos krantų (iki 12,6 m) bei šiaurės vakarinėje priekrantėje esančios Frobišerio (15,6 m) ir Fandžio (18 m) įlankos.

Žemė drebėjimų sukeltos cunamio bangos išsiskiria dideliu ilgiu, mažu aukščiu ir milžinišku sklidimo greičiu, siekiančiu 800–900 km/h. Katastrofinius padarinius jos sukelia priartėjusios prie lėkštų ir piltuvo formos kranto linijos krantų. Čia jos deformuojasi, iškyla ir didžiule vandens mase užgriūva krantą.

Artėdamas prie kranto visos bangos ima deformuotis. Gylyje, kuris lygus maždaug pusei bangos ilgio, judančias orbita atskiras vandens daleles ima veikti trinties su dugnu jėga. Apatinėje orbitos dalyje dėl trinties jų



6.6 pav. Potvynio dydžio priklausomybė nuo Žemės, Saulės ir Mėnulio tarpusavio padėties bei Mėnulio fazių

greitis sumažėja. Todėl bangos ketera ima statėti, bangos gožti. Gylyje, kuris maždaug lygus 1,3 bangos aukščio, banga visiškai sugošta.

Baltijos jūroje prie Lietuvos krantų potvynių ir atoslūgių poveikio praktiškai neįaučiama. Vandens lygio kaitą prie kranto dažniausiai sukelia tik vėjinės banginės patvankos ir nuotvankos. Prie mūsų šalies krantų jūros vandens lygio amplitudė viršija 2,5 m. Per stipriausią XX a. audrą, praėjusią 1967 m. rudenį, patvanka siekė net 184 cm. Tikėtina, kad ji gali viršyti 2 metrus. Vandens lygio svyravimą Baltijoje sukelia ir seišos, t.y. barinės kilmės ilgaperiodes bangos, kurių aukštis atviroje jūroje neviršija 0,6 m. Jei jų poveikis sutampa su ekstremalaus dydžio upių potvyniais, galimi net pakrantės miestų ir uostų užliejimai. Tokių atvejų būta Sankt Peterburge.

Daugumos specialistų nuomone, Baltijos jūros regione vidutinis vėjo greitis per pastutinius dešimtmečius šiek tiek sumažėjo. Antra vertus, padažnėjo ypač stiprūs vėjai, sukeliantys stiprų bangavimą. Tokie stiprūs bangavimai kilo 1999 m. gruodį per uraganą „Anatolijus“, o 2005 m. – užgriuvus pakrantę uraganui „Ervinas“.

6.5. Vandenynas kaip gyvybinė erdvė

Sausumoje gyvenančių gyvūnų vertikalūs paplitimas ribotas. Jie užima erdvę nuo aukščiausių medžių viršūnių ir kelių metrų gylio nuo Žemės paviršiaus. Pasaulio vandenyne gyvybė egzistuoja nuo vandens paviršiaus iki pat dugno ir netgi jo nuosėdose. Taigi galima teigti, kad okeanosfera gyviesiems organizmams yra tinkamesnė gyventi terpė.

Tai lemia fizinės bei cheminės vandens savybės. Pirmosioms priskiriama šviesos laidumas, temperatūra, dinamiškumas, tankis ir kt., o cheminėms – mineralizacijos laips-

nis, biogenų kiekis, cheminės reakcijos rodiklis pH bei daugelis kitų.

Šviesos laidumas užtikrina fotosintezę. Nuo temperatūros priklauso vandenyje ištirpusio deguonies, anglies dioksido, azoto ir kitų dujų kiekis, daugelio medžiagų tirpimas. Pavyzdžiui, koralai gali egzistuoti tik ne žemesnės kaip 18–20°C temperatūros vandenyje, nors yra organizmų, galinčių gyventi net lede. Vandens temperatūra, jos pasiskirstymas skirtingose geografinėse platumose lemia tam tikrų gamtinių zonų susidarymą su joms būdingais gamtos kompleksais. Nuo vandens temperatūros priklauso net dugno nuosėdų pobūdis. Atitinkamas dugno nuosėdas sudarantys diatomėjiniai dumbliai būdingi tik šaltiems vandenims, o dumbliai sargasai tarpsta Sargasų jūroje, kur temperatūra 22–23°C. Šilti vandenys visada turtingesni rūšių, o vėsesni – individų.

Vandens tankis yra šimtus kartų didesnis už oro. Kad sausumos gyvūnas galėtų judėti, jam būtinos tvirtos galūnės ir raumenys, o vandens gyvūnai gali gyventi skendėdami. Dėl didelio aplinkos tankio jūrų gyvūnai sunaudoja daug mažiau energijos įveikti traukos jėgai negu sausumos gyvūnai, bet pirmiesiems reikia daugiau energijos įveikti vandens pasipriešinimą judant. Todėl dramblio masė net 30 kartų mažesnė už stambiausio vandens gyventojo – mėlynojo banginio.

Iš vandens cheminių savybių gyvajam pasauliui itin svarbu vandens druskingumas ir cheminė reakcija, t.y. vandenilio jonų aktyvumas (pH). Nuo druskingumo priklauso gyvųjų organizmų vidaus organų osmosinis slėgis, kuris lemia įvairių druskų bei ištirpusių dujų skverbimosi pro vidaus organų sienelės kryptį ir greitį. Tai lemia gyvybiniam procesams reikalingų medžiagų kiekį organizme. Jūrų gyvūnai negali egzistuoti ten, kur druskingumas mažesnis negu 5–8‰. Todėl Juodojoje jūroje arba Baltijoje jūrinių organizmų rūšių yra kur kas mažiau negu

Pasaulio vandenyne arba Viduržemio jūroje. Vandens jonų aktyvumas (pH) garantuoja organizmų gyvybingumą, maitinimosi intensyvumą, maisto įsisavinimo trukmę ir kt. Augalų mitybai sausumoje būtinos ištirpusios maistingos medžiagos, kurias jie siurbia šaknų sistema, o jūros vandenyje visur gausu augalų mitybai būtinų junginių. Tai daugiausia nitratai ir fosfatai. Kad savo ląstele juos paimtų, žaliasis dumblis turi judėti. Dėl to vieni dumbliai judėjimui turi žiuželius, kiti aukštyn arba žemyn juda vykstant dujų apykaitai.

Deguonies pasiskirstymas vandenyne. Deguonies vandenyne gauna iš atmosferos. Šaltinis vanduo deguonies gali sorbuoti daugiau negu šiltas. Vandeniui šiltėjant daugiau dujų atiduodama atmosferai. Be to, deguonies kiekis visada didesnis gerai aeruojamose vandenyse. Bangavimas padidina vandens paviršiaus sąlyčio su atmosfera plotą, o vandeniui maišantis šių dujų patenka ir

į giluminius sluoksnius. Dėl to vandens paviršiuje deguonies daugiausiai būna poliarinėse srityse (6.7 pav.). Paviršinio vandens grimzdimo vietose deguonimi išotrinamos ir vandens gelmės.

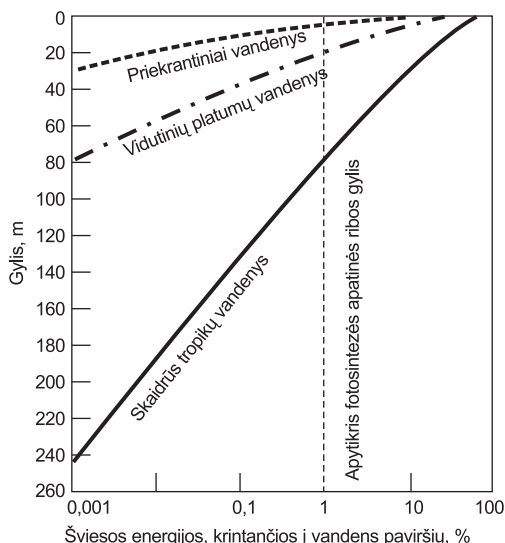
Paviršiniame vandenyje deguonies koncentracija keičiasi nuo 4–4,5 ml/l pusiaujo zonoje iki 8 ml/l antarktinuose vandenyse. Deguonies visada daugiau šaltųjų srovių veikiamose akvatorijose. Be to, viršutiniame vandens sluoksnyje tarpstantys žalieji dumbliai, maitindamiesi biogeninėmis medžiagomis, deguonies išskiria daugiau negu suvartoja. Gilesniuose sluoksniuose, į kuriuos nuskęsta mirę organizmai, deguonies yra daug mažiau. Priedugnio zonoje, kurioje bakterijos skaido organinę medžiagą, deguonis tik vartojamas. Jeigu tokios medžiagos yra daug, o priedugnio vandens nepaspildo šviežios ir deguonimi išotintos vandens masės, šioje zonoje ima kauptis sieros vandenilis. Sieros vandenilio zonos susidaro ir giliausiose Baltijos jūros vietose.



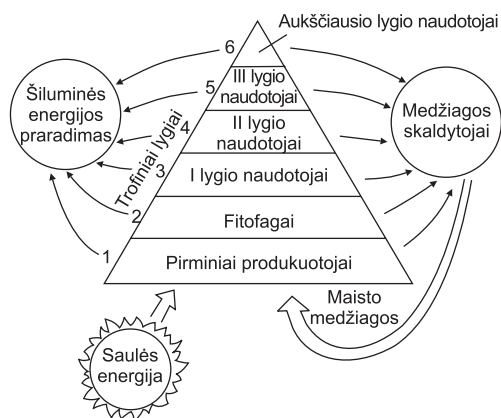
6.7 pav. Ištirpusio deguonies (ml/l) pasiskirstymo Pasaulio vandens paviršiuje žemėlapis (Stepanov, 1983)

Fotosintezė ir trofiniai lygiai. Svarbiausias procesas, garantuojantis gyvybinę veiklą mūsų planetoje, yra fotosintezė.

Fotosintezė gali vykti tik tuose vandens sluoksniuose, kuriuos pasiekia Saulės šviesa. Skirtingose vandenyno zonose šviesos skvarba skiriasi (6.8 pav.). Tik gerai apšviestoje aplinkoje gali tarpti žalieji augalai, kurie fotosintezės būdu sukuria organinę medžiagą



6.8 pav. Saulės šviesos sklindimo priklausomybė nuo vandens masių savybių (Jerlov, 1980)



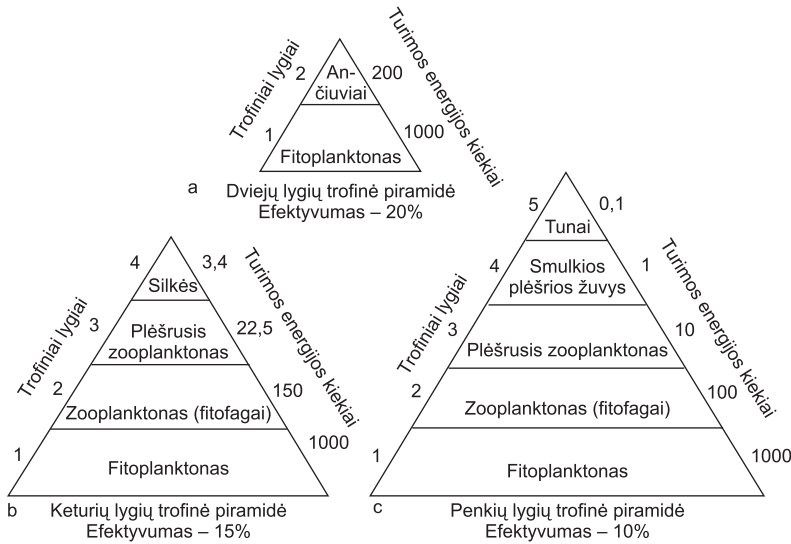
6.9 pav. Trofinių lygių piramidė. Trofiniai lygiai skaičiuojami nuo pagrindo, kurį sudaro maisto medžiagos ir energija. Maisto medžiagas gyvieji organizmai perduoda iš vieno lygio į kitą lygį laipsniškai prarasdami energiją (Duxbury, Duxbury, 1991)

ir sudaro pirminę maistinės (trofinės) grandinės grandį.

Vandenyno ekosistemoje yra daug komponentų, tarp kurių svarbiausi gyvieji organizmai (augalai, gyvūnai, bakterijos) bei jų liekanos (biogeninės, organinės detritas), taip pat anglies dioksidas, deguonis bei maisto medžiagos (fosforas, azotas, silicis bei kt. elementai). Gyvieji organizmai pagal gyvenimo ypatybes sudaro tam tikras grupes: planktoną, nektoną ir bentosą. Planktonas – tai smulkūs augalai (fitoplanktonas) arba gyvūnai (zooplanktonas), kurie neturi aktyvių plaukiojimo organų, todėl nešiojami tik srovių arba vėjo. Nektonui priklauso žuvis, moliuskai, žinduoliai, kurie gali aktyviai plaukioti. Bentosui priskiriami ant dugno arba nuosėdose gyvenantys organizmai. Taigi vandenyno ekosistemoje susidaro įvairios trofinės grandinės arba piramidės, kurių pagrindas – pirminiai produkuotojai – žalieji dumbliai. Jais gali misti zooplanktonas arba žuvis, moliuskai. Jomis, savo ruožtu, maitinasi dar aukštesnio lygmens organizmai (6.9 pav.).

Kuo daugiau trofinių lygių yra ekosistemoje, tuo didesnė energijos dalis suvartojama perėjimui iš vieno lygio į kitą lygį ir tuo mažiau jos tenka piramidės viršuje esantiems vartotojams (6.10 pav.)

Įvairios organizmų grupės sukuria labai nevienodą vandenyno bioprodukcijos dalį: fitoplanktonas – apie 550 mlrd. t organinės medžiagos per metus, zooplanktonas – 56 mlrd.t/m., nektonas – tik apie 0,2 mlrd.t/m. Taigi pirminė fitoplanktono bioprodukcija apie 10 kartų viršija zooplanktono ir nektono kiekį. Be to, daugiau kaip 50% vandenyno ploto bioproduktyvumas yra mažas, neviršijantis 50 mg/m³. Didelio (< 200 mg/m³ zooplanktono) produktyvumo plotai, kuriuose sukuria apie pusę bioprodukcijos, nesudaro nė ketvirtadalio visos vandenyno akvatorijos. Dėl to didelio bioproduktyvumo



6.10 pav. Trofinių piramidžių efektyvumų skirtumai kuriant organinę medžiagą įvairiose akvatorijose: a – apvelingo zonoje; b – priekrantės zonoje; c – atvirajame vandenyne. Žmogui dažniausiai prieinama tik viršutinių piramidės lygių bioprodukcija (Duxbury, Duxbury, 1991)

plotai netolygiai pasiskirsto tiek metų sezonu, tiek akvatorių atžvilgiu.

Didžiausiu derlingumu išsiskiria šelfai bei tos vandenynų dalys, kuriose dėl apvelingo į paviršių iškyla biogeninės medžiagos. Tai vandenys, skalaujantys Čilę, Peru bei Kalifornijos pakrantes Ramiajame vandenyne, Šiaurės Vakarų bei Pietvakarių Afriką Atlante, taip pat kai kurios Indijos vandenyno akvatorijos. Dideliu produktyvumu išsiskiria lagūnos, estuarijos bei kiti priekrantės vandenys.

Taigi tiek tam tikros akvatorijos bioproduktyvumą, tiek ekosistemos būklę gali paveikti cheminė tarša, naftos plėvelė vandens paviršiuje, stabdanti apykaitos procesus su atmosfera, drumstumo padidėjimas, invazinių, tai ekosistemai nebūdingų, organizmų rūšių atsiradimas bei daug kitų dalykų.

6.6. Vandenyno pokyčiai, susiję su globalia klimato kaita

JAV Nacionalinės mokslų akademijos specialistai dar XX a. devintajame dešimtmetyje prognozavo, kad anglies dioksido

ir kitų šiltnamio efektą sukeliančių dujų į atmosferą XXI a. laikotarpiu bus išmetama gerokai daugiau. Šis procesas Žemės paviršiaus temperatūrą gali pakelti 1,5–4,5°C. Tai, glaciologų nuomone, sukels Žemės „ledo kepurį“ tirpimą, o ledinis Vakarų Antarktidos skydas pasidalys į kelias dalis. Ledynų tirpimo vandens per kelis artimiausius šimtmečius Pasaulio vandenyno lygį gali pakelti net 5–7 m. Žvelgiant į ateitį, klimato šiltėjimas neišvengiamai bus susijęs ir su okeaninio vandens tūrio didėjimu dėl šiluminio plėtimosi. Dėl šio proceso vandenyno vandens lygis gali pakilti dar metra.

Bendras atmosferos temperatūros kilimas turi padidinti ir kontinentinių ledynų plastiškumą bei jų slinkimo greitį. Nuslinkę kontinentiniai Vakarų bei Rytų Antarktidos, taip pat kiti ledynai turėtų nepaprastai pakelti vandenyno vandens lygį, kas pakeistų net mūsų civilizacijos išlikimo prielaidas.

Ne visi specialistai pateikia tokias niūrias prognozes. Štai vienoje tų pačių JAV atliktų konkrečių prognozių pateikiami duomenys, kad iki 2080 m. jūros lygis, neįvertinant Antarktidos ledynų tirpimo, turėtų pakilti apie 80 cm. Buvo manoma, kad 1 m per 100 metų

pakilęs jūros lygis Misisipės deltoje, žemose Meksikos įlankos bei Rytinės Atlanto vandenyno pakrantėse atneš nuostolių ne mažiau kaip už 3 mlrd. dolerių. Šiandien, kai jau yra katastrofinio N. Orleano užliejimo patirtis, prognozuojamas tokių nuostolių mastas didinamas apie 100 kartų. Be to, į šiuos nuostolius dar neįskaičiuojama grunto vandens užteršimas bei uždruskėjimas, geriamo vandens šaltinių sunykimas, organizmų, tarpstančių jūros priekrantės lagūnose bei estuarijose, sunaikinimas.

Vandenynų paviršinio vandens temperatūros padidėjimas neišvengiamai pakeis vandens cirkuliaciją dėl tankio skirtumo. Kai kuriose akvatorijose paviršinis šiltesnis vanduo gali tapti druskingesnis ir imti grimzti. Kitur – atvirkščiai, paviršiniam sluoksniui įšilus ir tapus mažesnio tankio, vertikalioji cirkuliacija beveik sustos, kaip šiuo metu yra didelėse tropikų ir subtropikų platumų akvatorijose. Net grimztant viršutiniam sluoksniui, šiltesnis ir mažai deguonimi įsotintas vanduo šiomis dujomis menkai praturtins gilesnius vandens sluoksnius. Panaši situacija šiandien susiklosčiusi Arabijos jūros šiaurinėje dalyje.

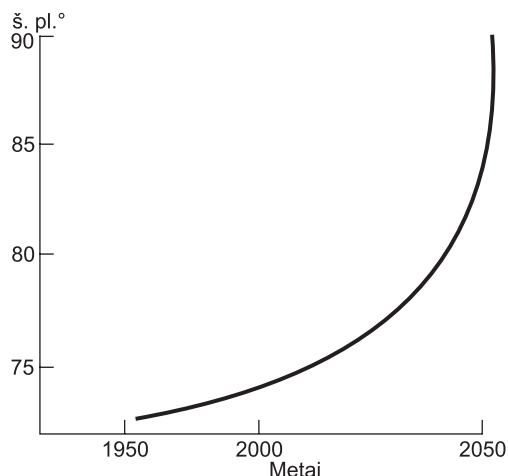
Vandenyno paviršinio sluoksnio įšilimas gali nepaprastai pakeisti atmosferos bei vandenyno sąveiką. Šiuo metu iš vandenyno per metus išgaruoja 452 000 km³ vandens. Vienam gramui vandens išgarinti vidutiniškai suvartojama 580 cal energijos. Energijos mainuose, vykstančiuose tarp atmosferos ir okeano, šilumos perdavimas visada nukreiptas temperatūros išsilyginimo kryptimi. Dėl šios priežasties vandenynas suvienodina Žemės paviršiaus temperatūrą ir laike, ir erdvėje, t.y. tarp įvairių platumų.

Kuo didesnis temperatūros skirtumas tarp vandens ir oro, tuo didesnis šilumos perdavimo greitis. Besiribodamas su šiltesniu vandeniu oras labiau įšyla, sorbuodamas iki prisotinimo didesnę vandens garų kiekį. Taigi atmosferai iš vandens perduodama ši-

luma susideda iš tiesioginės ir slaptosios garavimo šilumos.

Norint sušildyti 1 g garais prisotinto oro nuo 0° iki 1°C, reikia išiekvoti 0,24 cal tiesioginės ir 0,12 cal slaptosios garavimo šilumos, o orui sušildyti nuo 29° iki 30°C reikia tiek pat tiesioginės ir net 1,0 cal slaptosios garavimo šilumos. Vadinasi, 1° C pakelti virš vandens esančio oro temperatūrą tropikuose reikia 3 kartus daugiau šiluminės energijos negu poliariniuose rajonuose. Jei tropinėje zonoje vandenyno visai nebūtų, oro temperatūra čia būtų daug aukštesnė ir vargu ar čia galėtų gyventi žmonės. Atmosferos temperatūros pokyčio padarinių vandenynui prognozė yra labai sudėtinga, nes turėtų keistis gamtinių zonų ribos, apvelingo ir daunvelingo zonos, gali pakisti atmosferos slėgio centrai bei globali cirkuliacija.

Kai kurių autorių nuomone, XXI amžiaus viduryje Arkties vandenynas gali visai nebelikti ledo dangos (6.11 pav.). Tai savo ruožtu sumažins ledų atspindimą energijos dalį ir dar paskatins vandenyno paviršiaus išilimą.



6.11 pav. Arkties vandenyno jūrinių poliarinių ledų pietinės ribos kaitos kreivė 1950–2050 m. laikotarpiu (Budyko, Berliand, Efimova, 1978)

Vandens temperatūros kilimas turėtų labiausiai išryškėti priekrantės akvatorijose: viršutinėje šelfo dalyje, estuarijose, sekliose

įlankose. Vandenyne ištirpusio deguonies kiekis tiesiogiai priklauso nuo temperatūros, todėl jai kylant priekrantės akvatorijos pirmosios pajus deguonies stygių. Atsižvelgiant į tai, kad priekrantės lagūnos, estuarijos ir maršai yra bioproduktyviausi rajonai, deguonies stygius sukels negrįžtamų ekosistemos pokyčių. Daugelyje vietų gali atsirasti sieros vandenilio zonos.

6.7. Globali vandenyno kaita, susijusi su tiesiogine žmonių veikla

Tarp visų antropogeninio poveikio rūšių, darančių didžiausią įtaką artimai aplinkai, pats pavojingiausias – gyventojų koncentracija tam tikroje vietoje. Tuo tarpu mūsų planeta apgyventa labai netolygiai. Didžiuliuose atogrąžų miškų ir dykumų, tundrų bei Sibiro taigos plotuose vienam gyventojui tenka daugiau kaip 1 km². Antra vertus, nemažai yra ir tokių vietų, kur 1 km² gyvena net keli tūkstančiai gyventojų. Tai kai kurios Sundos salyno vietos, Pietų ir Pietryčių Azijos pakraščiai, kai kurie Europos ir kitų žemynų regionai. Dabar 10% sausumos teritorijos susitelkę 70% Pasaulio gyventojų. Tankiausiai gyvenamoms teritorijoms priskiriamos ir pajūrių teritorijos. Be to, vis daugiau vidinių teritorijų gyventojų kraustosi gyventi arčiau jūros. Šios tendencijos nuolat stiprėja.

1950 metais prie jūros esančioje 50 km pločio juostoje gyveno 27,6% visos žmonijos, o 200 km juostoje – net 50,3% visų gyventojų. 1980 metais toje pat 50 km juostoje gyveno jau 34% Žemės gyventojų, o 80 km juostoje – jau virš 50%. Šiuo metu 50 km pajūrio juostoje jau susitelkę apie 41% visos žmonijos. Be to, negalima pamiršti, kad bendras Žemės gyventojų skaičius labai augo ir nuo 1960 iki 2000 metų padidėjo nuo 3 iki 6 milijardų, t.y. padvigubėjo.

Gyventojų koncentracija visada lemia ir

ūkio koncentraciją, o pastaroji – taršos. Tai nenuostabu, nes vandenyno pakrantėse susitelkę didžioji dalis pasaulio metalurgijos, naftos perdirbimo, naftos chemijos bei daugelio kitų šakų pramonės įmonių. Dalykas tas, kad žmonių visuomenė savo ekosistemoje nesukuria uždaro ciklo: iš aplinkos ima viską, ko reikia, ir į aplinką išmeta tai, kas nereikalinga. Kadangi mūsų planeta yra sąlyginai uždaroji sistema, tai atliekos kaupiasi. Idealiausias pavyzdys – vandens suvartojimas didžiausiuose pasaulio miestuose. Vienam gyventojui per dieną jo vidutiniškai tenka nuo 300 iki 600–700 litrų. Vadinasi, didieji miestai „pagamina“ ir adekvatų kiekį nuotekų, kurios ne visur ir ne iki galo išvalytos ilgainiui patenka į vandenyną. Tankiausiai gyvenamose vietose, t.y. pakrantėse ir priekrantėse, jos kaupiasi greičiausiai. Dėl minėtų priežasčių labiausiai užteršti jūriniai baseinai yra Viduržemio, Baltijos, Juodoji, Azovo, Airijos jūros, Meksikos, Biskajos ir kt. įlankos.

Pavyzdžiui, Baltijos jūroje didžiausią teršiančių medžiagų dalį sudaro junginiai, patenkantys su upių vandeniu. Tarp tokių junginių didžioji dalis tenka vadinamiesiems biogenams, t.y. azoto ir fosforo junginiams: iki 70–80 tūkstančių tonų fosforo ir iki 1000–1200 tūkstančių tonų azoto. Šie maistingi junginiai skatina organinės medžiagos sintezę. Didelę dalį susidariusios organinės medžiagos priedugnyje suskaldo bakterijos, bet šiame procese jos sunaudoja daug deguonies, kurį pakeičia sieros vandenilis. Užterštas priedugnio vanduo šviežiu ir prisotintu deguonies Šiaurės jūros vandeniu pakeičiamas tik stipriausių audrų metu. Todėl be gyvybės sieros vandenilio zonos plotas Baltijoje „pulsuoja“ priklausomai nuo upių vandeningumo (nuoplovų dydžio) ir atitinkamo laikotarpio audringumo. Skirtinguose vandenyno rajonuose gali būti prioritentinė ir kitų medžiagų tarša, tačiau priekrantės akvatorijose eutrofikacijos didėjimas yra kone visuotinis.

Pakrančių gyventojai visada emocingiausiai reaguoja į tanklaivių, chemovežių bei kitų laivų avarijas, kurios susijusios su koncentruotąja tarša, bet iš tikrųjų globaliu lygmeniu ji nėra tokia pavojinga, kaip nuolatinė išsklaidytoji tarša. Nuodingųjų chemikalų patekimas į vandenyną, kaip, beje, ir naftos, nuo XX a. aštuntojo dešimtmečio labai sumažėjo. Tai pasiekta daugeliu tarptautinių konvencijų, reglamentuojančių laivų įrangą ir konstrukciją, jų krovos uostuose technologijas, ribojančias emisijas į vandenį arba į orą atitinkamo tipo laivų mašinoms ir kt. Vis dėlto, vandenyne vis dar didelis benzpireno, chloroorganinių angliavandenilių, sunkiųjų ir kitų metalų kiekis. Globalūs taršos nulemti vandenyno gamtinės aplinkos pokyčiai nėra sukelti tikslingos žmonių veiklos, tačiau ekosistemos pokyčius ir ypač biologinių išteklių mažėjimą dideliu mastu lemia ir tikslinga žmonių veikla, t.y. besaikis šių išteklių naudojimas. Vien per XX amžių žuvų valksnos padidėjo apie 23 kartus, t.y. nuo 4 mln. tonų per metus iki 92,4 mln. tonų (6.3 lentelė).

Svarbiausia, kad žvejybos pastangos dažniausiai buvo nukreipiamos arba žvejybai kurioje nors akvatorijoje, kol to rajono žuvų ištekliai būdavo tiesiog nualinami, arba išskirtiniam verslo dėmesiui tam tikroms žuvų rūšims. Taip dar XX a. Šiaurės jūroje buvo sunaikinta plekšnės banda, XX a. pradžioje – pikšos (juodalopė menkė). Panašus likimas XX a. trečiajame dešimtmetyje ištiko menkė ir pikšą prie Norvegijos, vėliau – menkė prie Islandijos, jūrų ešerį – prie Njufaundlendo ir kt. Netgi tais atvejais, kai žuvų bandos sumažėjimas būdavo mokslininkų tiksliai prognozuojamas, verslininkai beatodairiškai gaudymo nenutraukdavo. Tipiškas pavyzdys – ančiuvio pergaudymas Peru priekrantėse

XX a. aštuntajame dešimtmetyje. Šis pergaudymas sutapo su El Ninjo (El Nino) reiškiniu, ir ančiuvio laimikiai, kritiniais 1970 m. siekė 12,3 mln. tonų, iki 1972 m. sumažėjo iki 4,6 mln. tonų per metus. Buvo manoma, kad šios rūšies banda prie Peru bus sunaikinta, bet, sumažinus gaudymą, ji palaipsniui atsikūrė. XX a. devintajame dešimtmetyje jau buvo konstatuojama, kad biologiniai ištekliai ištisuose rajonuose (Šiaurės rytų Atlantas, Šiaurės vakarinė Ramiojo vandenyno dalis) sumažėjo 20–25%. 1982 metais pagaliau buvo pasirašyta JT konvencija apie 200 mylių ekonominės apsaugos zonas, o žuvų sugavimo kvotos nepaprastai griežtai sureguliuotos. Vis dėlto, žuvų ištekliai ir dabar nuolat mažėja. Štai per pastaruosius 10–15 metų beveik pakirsta menkių banda Baltijoje, jūrų ešerio – Barenco jūroje ir kt. rajonuose.

Mažėjant žuvies laimikiams, kuriamos vis naujos žvejybos technologijos ir gaudymo būdai. Žuvis išmokta naktimis į guotą privilioti šviesa, magnetiniu lauku ir kitomis priemonėmis. Iš guoto arba gaubiamojo tinklo žuvis tiesiog įsiurbiamos į laivą. Išmokta gaminti tinklus iš skaidrių polimerinių siūlų, todėl žuvis, nematydamos tinklo, į jį įsipainioja. Traluojuant buvo bandoma prieš tralą dugnu vilkti sunkias grandines ir taip išbaidyti žuvis iš jų slėptuvių. Daugelio minėtų ir nepaminėtų žvejybos būdų taikymas dabar ribojamas arba visiškai uždraustas.

Tarp globalių, su vandenynu susijusių, problemų paminėtina ir energetinių išteklių gavybos rajonų perkėlimas iš sausumos į vandenyną. Sausumoje naftos ir dujų atsargos senka, o dauguma naujų radimviečių yra jau ne žemynuose, o vandenyno dugne. Jūrinės naftos eksploatavimas, prasidėjęs 1934 m. prie Amerikos krantų, šiandien įgavo didžiulį

6.3 lentelė. Žuvų valksnų kaita (mln. t per metus) Pasaulio vandenyne 1850–2000 metais (FAO duomenys)

Metai	1850	1900	1930	1950	1960	1970	1975	1980	1990	2000
Mln. t/m.	1,1	4,0	18,0	36,0	40,8	71,4	71,0	75,5	86,1	92,4

masť. Tai Persijos sekli įlanka su milžiniškomis naftos atsargomis, taip pat Meksikos įlanka, Šiaurės jūra, Gvinėjos įlanka, Marakaibo įlanka Venesueloje ir Mažųjų Antilų salų šelfas bei daugelis kitų rajonų. Didžiulės dujų atsargos rastos Arkties vandenyno šelfe, ypač vadinamojoje Pečioros jūroje (rytinė Barenco jūros dalis), taip pat Karos jūroje.

Nors naftos gavybos technologijoms keliai vis didesni reikalavimai ir naftos platformų avarijos nėra dažnos, jos didina bendrąją išskaidytąją taršą. Avarijų kyla ne tik platformose, bet ir vamzdynuose. Naftos platformos kelia didžiulę grėsmę ir laivybai, nes, baigus gręžimo arba eksploatavimo darbus, jos dažniausiai demontuojamos tik virš vandens. Platformos neretai tik parverčiamos ir lieka dugne, keldamos problemas tiek transporto laivams, tiek žvejybai. Šios problemos masinį pobūdį įgavo Šiaurės jūroje prie judriausių laivybos kelių, Meksikos įlankoje ir kituose rajonuose.

Šiandien dar sunku pasakyti, ar globalių socialinių katastrofų nesukels radioaktyviųjų atliekų laidojimas arba cheminio ginklo laidojimo vietos.

Žmonių veikla sukelia ir tokią globalaus pobūdžio kaitą, kurios pasekmės dažnai nelengva aptikti. Tai invazinių rūšių plitimas, ypač susijęs su tanklaivių balastinio vandens išpylimu tolimose akvatorijose. Su tokiais vandenimis visiškai nebūdingoje aplinkoje kartais atsiranda rūšys, sukeliančios nepageidautiną konkurenciją autochtoninėms rūšims.

6.8. Globalios krantodaros tendencijos visuotinės klimato kaitos ir antropogeninės veiklos kontekste

Krantodaros tendencijos dėl gamtinių priežasčių. Tarp priežasčių, kurios lėmė visuotinį kranto traukimąsi, specialistai įvardija šias:

1. Pasaulio vandenyno vandens lygio kilimas;

2. Naujų kranto povandeninio šlaito pusiausvyros profilių susidarymas;
3. Holocene įvykęs daugelio upių žiočių užliejimas arba atskyrimas nuo jūros akumuliacinėmis formomis.

Kranto zona šiuo metu nešmenimis maitinama iš trijų svarbiausių terigeninės medžiagos šaltinių: upių „kietojo nuotėkio“, ardomo klifinio kranto sausumoje ir ardomo povandeninio kranto šlaito.

Paleogeografiniai duomenys rodo, kad prieš 5–2 tūkstančius metų vandenynų bangos prie krantų artėdavo mažo nuolydžio povandeniniu šlaitu, kuriame buvo pakankamai didelės nešmenų atsargos. Patirdamos refrakciją bangos prie kranto priartėdavo stačiu kampu ir, palaipsniui prarasdamos energiją, transportavo nešmenis priekrantės povandeniniu šlaitu į viršų, t.y. sausumos link. Kaip tik taip aiškinamas holocene vykęs barų, barjerinių salų, nerijų ir plačių paplūdimių formavimasis JAV Atlanto pakrantėse, Meksikos, Pietų Amerikos, Vakarų Afrikos, Australijos ir kitose pakrantėse. Deja, per laikotarpį maždaug nuo XIX a. vidurio iki XX a. vidurio Pasaulio vandenyno vandens lygis ėmė kilti lėčiau ir terigeninės medžiagos atsargos kranto povandeniniame šlaite pradėjo mažėti. Be to, priekrantės šlaitu į viršų bangos transportuoja ne visą medžiagą, o tik tam tikras jos frakcijas. Tik iš jų formuojasi priekrantės ir kranto akumuliaciniai dariniai. Likusi smulki medžiaga akumuliacinių reljefo formų nesudaro. Vandens lygiui pamažu kylant (apie 1,5 mm per metus), į bangų poveikio zoną ima patekti buvusių akumuliacinių formų (paplūdimių, kranto volų, nerijų, barų) šlaitai, kurių nuolydis gerokai didesnis negu kranto povandeninio šlaito. Tokiomis sąlygomis krantą pasiekia didesnės energijos bangos negu prieš 1000 ar net 300 metų. Prasidėjo netgi ryškių akumuliacinių formų arda. Australijos krantotyrininko prof. Eriko

Birdo duomenimis, daugiau kaip 70% akumuliacinių krantų šiandien yra ardomi ir atsitraukia daugiau kaip 10 cm per metus. Be to, apie 20% visų smėlio ir gargždo krantų traukiasi daugiau negu 1 m per metus.

Per paskutinius 150 metų ženkliai sumažėjo į jūrą upių išnešamos medžiagos kiekis, kuris anksčiau siekė apie 19,3 mlrd. tonų per metus. Didelė šios medžiagos dalis nusėda užliejamose upių žiotyse, nes, kylant erozijos bazei, sumažėjo ir upių gilinamoji erozija. Taip atsitiko todėl, kad paskutinės poledyninio laikotarpio baigiamosios stadijos transgresuojanti jūra užtvindė daugelį upių žiočių ir net žemupių. Susidarė daug lagūnų, limanų, estuarijų. Jose dabar nusėda didelė dalis upių atneštos medžiagos. Smulkioji upių nešamos medžiagos dalis nukeliauja į jūros gilavandenę zoną. Tik maždaug 3 mlrd. tonų smėlio, žvirgždo, gargždo dabar lieka paplūdimių ir kranto zonai papildyti, ir šis kiekis tikrai nekompenso bangų nuardyto medžiagos kiekio.

Krantodaros tendencijų antropogeninės priežastys. Žinoma, kad Pasaulio vandenyno vandens lygio kilimas bei su juo susiję neigiami krantodaros pokyčiai yra įvairiu laipsniu susiję su žmonių veikla, lėmusia šiltnamio efekto susidarymą. Atmosferoje vykstantys procesai tik netiesiogiai veikia krantų raidą per vandens lygio kilimą ir kitų fizinių geografinių komponentų kaitą. Tačiau yra nemažai žmonių veiklos sričių, kurios tiesiogiai veikia krantodaros procesus.

Pirmiausia tai upių reguliavimas. Išsivysčiusiose šalyse liko visai nedaug stambių upių, kurios nebūtų pertvertos hidroelektrinių užtvankomis. Į susidariusias vandens talpyklas nusėda medžiaga, kuri anksčiau maitino jūros krantus. Geras pavyzdys – Asuano užtvanka ant Nilo upės. Ją pastačius, Nilo delta ėmė trauktis nuo jūros po 40 m per metus (Bird, 1985). Kai kuriose vietose

per beveik šimtmetį kranto linija atsitraukė beveik 12 km. Manoma, kad per XX amžių upių kietasis nuotėkis sumažėjo maždaug 50%. Ši aliuvinės medžiagos netektis pirmiausia bus kompensuota iš akumuliacinių formų, anksčiau susidariusių iš upių nešmenų.

Labai svarbi ir krantų apgyvendinimo tendencija. Urbanizacijos procesas reikalavo vis didėjančio statybinių medžiagų kiekio, todėl smėlis, žvirgždas, gargždas dažnai imami iš kranto zonos. Vien Gruzijoje 1940–1970 m. laikotarpiu iš paplūdimių buvo iškasta apie 30 mln. m³ smėlio bei gargždo. Tai sukėlė katastrofinių padarinių: 70% šalies kranto apėmė abrazijos procesai.

Jūrų krantuose per paskutinį šimtmetį buvo pastatyta tūkstančiai uostų, kurių molai stabilizavo milijardus kubinių metrų nešmenų iš priekrantinių cirkuliacinių sistemų. Pavyzdžiui, atvirame Baltijos jūros krante Lenkijoje stambūs hidrotechniniai įrenginiai yra kas 13,5 km.

XX a., įsivyravus nuomonei, kad inžinerinėmis priemonėmis galima stabilizuoti visus krantus, buvo masiškai imta statyti bunas, atramines sienes, bangolaužius. Tik amžiaus antroje pusėje suvokta, kad minėtos priemonės ne visada duoda pageidaujamą efektą, be to, jos brangios ir nėra ilgaamžės. Pasirodė, kad suirus minėtiems įrenginiams, kranto abrazija tik sustiprėjo. Tai akivaizdu žvelgiant į senuosius inžinerinius įrenginius, pastatytus Sembos krantuose: atitrūkusios nuo kranto bunos tik didina jų ardą, o paplautos atraminės sienelės tik doko paplūdimių vaizdą. Šiandien čia sprendžiamas klausimas dėl minėtų įrenginių demontavimo.

Kone iki XX a. vidurio tropinės zonos mangrovių krantai dar nekėlė didelių problemų. Augant pakrantėse gyventojų skaičiui ir šie krantai patyrė stulbinančią antropogenizaciją: mangrovės buvo išnaikintos, o vietoj jų įrengti ryžių laukai, žuvininkystės baseinai, kurortinė infrastruktūra. Anksčiau

mangrovės sušvelnindavo sausumos ir jūros sąveiką „sugerdamos“ didžiausią Pasaulyje litomasės nuoplovą nuo paviršiaus šlaitų ir palaipsniui plėsdamos mangrovių juostą. Savo ruožtu mangrovės sušvelnindavo uraganinių audrų poveikį krantams. Išnaikinus 40% mangrovių Pietryčių Azijoje labai paastrėjo krantosaugos problema, krito priekrantinių vandenų bioproduktyvumas.

Tuo atveju, jei vandens lygis per 100 metų pakiltų 100 cm, krantuose šis procesas atsispindėtų progresinio pobūdžio arda, o daugelis pajūrio miestų būtų užtvindyti arba juos ištiktų katastrofos, susijusios su inžinerinių tinklų niokojimu. Tūkstančiai kilometrų labai žemo, bet tankiai gyvenamo kranto būtų užlieta, prasidėtų masiška gyventojų migracija nuo jūros į iškilesnes vietas. Šios problemos neaplenktų ir Lietuvos, nes jūros krantas Palangos–Šventosios atkarpoje ne daug tepakilęs nuo jūros lygio, kaip ir nemaža Nemuno deltos dalis.

6.9. Antropogeninės veiklos ir technologijų kaita Pasaulio vandenyne

Dvidešimtojo amžiaus 7–8 dešimtmečiais iš esmės baigė formuotis svarbiausi Pasaulio ūkio bruožai, griuvo kolonijinė sistema. Gamyba koncentravosi keliuose dideliuose regionuose: Šiaurės Amerikoje, ypač JAV, ir Vakarų Europoje, taip pat Japonijoje bei kitose Pietryčių Azijos šalyse. Energetikoje anglis didele dalimi pakeitė nafta, kurios gavyba koncentravosi Persijos įlankos rajone. Nusistovėjo ir kiti žaliavų gavybos rajonai: rūdų, anglių, medienos, žemės ūkio produktų. Tokiomis sąlygomis ypač sparčiai vystėsi jūrų transportas, vienintelis galėjęs užtikrinti tarpkontinentinius pervežimus ir Pasaulio ūkio funkcionavimą. Aštuntojo dešimtmečio pabaigoje bendra jūrinio transporto krovinių

nių apyvarta pasiekė 4 mlrd. tonų per metus. Laivų statybos tempai pasiekė neregėtą lygį. Tuo pat metu nepaliaujamai didėjo ir laivų talpa. Aštuntajame dešimtmetyje prancūzų pastatytas tanklaivis „Batilus“ buvo 414 m ilgio, 63 m pločio, o jo borto aukštis siekė beveik 36 metrus. Tanklaivio talpa viršijo 0,5 mln. tonų. Laivų talpos didėjimo tendencijas ypač paskatino Izraelio ir Egipto karas, dėl kurio 1967 m. ilgam laikui buvo uždarytas Sueco kanalas, ir laivai iš Persijos įlankos į Europą turėjo plaukti aplink Afriką. Tik prasidėję vandenyno globalaus užterštumo ir ekosistemos pokyčiai parodė, kad nežabota laivybos plėtra veda prie katastrofos. Šią nuomonę patvirtino labai skaudžios didžiųjų tanklaivių avarijos.

Pavyzdžiui, vien per trejus metus avarijas su naftos išsiliejimu 1977 m. prie Pietų Afrikos krantų patyrė 325 000 tonų talpos „Venail“, 1978 m. prie Bretanės krantų – 225 000 tonų talpos „Amocco Kadis“, 1979 m. Karibų jūroje 293 000 tonų talpos „Atlantic Impress“ laivai. Ir tai tik pačios didžiausios avarijos. Vien 1980 metais iš tanklaivių į jūrą išsiliejo 187 tūkst. tonų naftos. Avarijos ištiko net 79 laivus, kurių talpa viršijo 10 000 tonų.

Ne mažesnę nerimą dėl ateities, be laivybos, kėlė ir staigus biologinių išteklių sumažėjimas. Kartu ėmė lėtėti Pasaulio ūkio vystymosi tempai, ir daugybė didžiųjų laivų lūkuriavo prie krantinių.

1982 metais gruodžio 10 d. Jamaikoje pasirašomas *Jūrų konvencijos* baigiamasis aktas. Jame net 17 dalių ir 320 straipsnių reglamentavo jūrinę laivybą, jūrinių gyvūnų apsaugą ir verslą, įvairiausią veiklą kontinentinio šelfo zonoje bei šios zonos ribas, naudingų iškasenų paiešką bei naudojimą, šalių jurisdikcijos vandenyne ribas, ginčų sprendimą ir kt.

Šių susitarimų pagrindu prasidėjo pirmasis tausojančiosios veiklos vandenyne etapas. Aštuntojo dešimtmečio pabaigoje ir

devintojo pradžioje tanklaiviai ima mažėti, juose statomos efektyvesnės, bet ekologiškesnės jėgainės. Vis mažiau didžiųjų tanklaivių varoma tik vienu sraigtu, kuris neužtikrina pakankamo laivo manevringumo. Iškeliamas visiškai švaraus naftos pervežimo reikalavimas. Pradedami statyti laivai dvigubu dugnu arba kombinuotosios paskirties laivai pervežti skystiesiems ir biriesiems kroviniams. Jų vidinės talpos paprastai skirtos skystiesiems kroviniams gabenti, o išorinis korpusas – mažesnio pavojingumo – biriesiems. Šios tendencijos darosi vis ryškesnės ir mūsų regione. Po kelerių metų Baltijos jūroje viengubo korpuso tanklaiviai visai nebegalės būti eksploatuojami. Atsirado nauji techniniai sprendiniai, pagerinantys laivo manevringumą bei švartavimosi operacijas uoste: suaktyvinti vairai, įrengtos turbinos skersai laivų korpusų, kad laivas galėtų judėti ne tik išilgai ilgosios ašies. Tai sumažino avaringumą uostuose.

Patys uostai taip pat labai keičiasi. Dauguma uostų tapo universalesni ir gali priimti įvairios klasės bei paskirties laivus. Be to, uostuose įrengti specializuotieji terminalai, kuriuose didelis krovo efektyvumas dera su ekologiškomis technologijomis. Šiuo metu Europos uostuose jau didelė retenybė, kad naftos būtų perpilama pripildant arba iškraunant tanklaivius, taip pat terminaluose veikia apsaugos nuo dulkių perkraunant biriuosius krovinius – cementą, durpes, trąšas ir kt. produktus sistema. Tie uostai, kurie neturi specializuotųjų terminalų, tokių dulkes keliančių krovos darbų visai atsisako dirbti arba ieško priemonių dulkėjimui mažinti. Pavyzdžiui, Ventspilio uoste kraunamos anglys yra drėkinamos.

Visi uostai privaloma tvarka iš laivų turi priimti įvairias nuotekas, fekalinius arba nafta užterštus vandenį ir juos nukenksminti savo valymo įrenginiuose. Kiekviename uoste dabar yra specialūs laivai, surenkantys

vandenyje plūduriuojančias šiukšles arba naftą nuo vandens paviršiaus, naudojami bوناي – plūduriuojančios užtvartos, neleidžiančios plisti išsiliejusiai naftai. Šios priemonės naudojamos ir uostuose, ir jūroje.

Nors itin didelių tanklaivių šiandien nebestatoma, visi transokeaniniai laivai tapo didesni. Didėjant laivams, turi būti nuolat gilinamos uostų akvatorijos ir įplaukos kanalai. Ypač problematiška padėtis tiems uostams, kurie įsikūrę upėse. Gilinant ir valant kanalus, nuo kelių iki keliasdešimt milijonų kubinių metrų nuosėdų per metus iškasama Londono, Roterdamo, Hamburgo, Antverpeno ir kt. uostuose. Iki 2 milijonų kubinių metrų grunto per metus iškasa ir Klaipėdos uostas. Šios nuosėdos dažniausiai išpilamos jūroje atokiau nuo uosto. Kadangi į povandeninius sąvartynus išverčiamas grunto kiekis dažniausiai kelis kartus viršija kietąjį upių nuotėkį, o uostai įrengti praktiškai prie didesniųjų upių, ši nešmenų perskirstymo problema tampa globalia. Upių nešmenų nebepatenka į kranto zoną, todėl greitėja krantų abrazijs. Siekiant nors kiek sušvelninti uostų gilinimo poveikį krantams, Baltijos jūros šalys, remdamosi *Helsinkio konvencija*, pareikalavo racionaliau tvarkyti uostuose iškastą gruntą: smėlį pilti ne į atokiau uosto jūroje įrengtus sąvartynus, o į kranto zoną, kitą gruntą plačiau naudoti formuojant naujas sausumos teritorijas, statybose ir kitur. Į sąvartynus rekomenduota plukdyti tik kitiems reikalsams netinkamą, bet švarų gruntą.

Ne mažiau problematiškas ir uosto hidrotechninių įrenginių, t.y. molų bei bangelaužių, poveikis kranto zonai. Minėtieji įrenginiai stabilizuoja milijonus kubinių metrų išilgai kranto migruojančio smėlio, kuris taip pašalinamas iš litodinaminių sistemų. Atsižvelgiant į tai, kad, tarkim, Danija turi apie 350 didelių ir mažų uostų, Lenkija – apie 55, Švedija – beveik 400, Latvija – apie 20, uostų poveikis Baltijos jūros kranto zonai tampa

labai reikšmingas. Ekonomiškai stiprios šalys arba šalys šilto klimato zonoje uostų turi gana daug, todėl jų poveikis Viduržemio, Šiaurės, Karibų ir kitų jūrų krantams yra irgi gan didelis.

6.10. Klimato kaitos poveikis Baltijos jūros regionui

Visuotinės klimato kaitos poveikio neišvengia ir Baltijos jūros regionas. Tarp nepageidautinų klimato kaitos sukeltų problemų svarbiausia yra jūros vandens lygio kilimas, didėjanti jūros eutrofikacija ir sieros vandenilio zonų plėtimasis, šių reiškinių poveikis krantams, biologinių išteklių mažėjimas, upių reguliavimo ir uostų statybos sukelti nešmenų balanso pokyčiai kranto zonoje, invazinių organizmų rūšių plitimas ir daugelis kitų.

Vandens lygio kilimo problema. Numatoma, kad per XXI amžių Pasaulio vandenyno vandens lygis turėtų pakilti 60 ± 35 cm. Tai neblogai atitinka dabartinės kasmetinio jo aukštėjimo prognozes – 3,9 mm per metus. Jei dabartinės tendencijos nesikeis, per XXI amžių Baltijos jūros vandens lygis paaukštės 65 cm. Šis procesas labiausiai paveiktų ardumus jūros krantus, kurių ardą lemia nemažai veiksnių:

1. Padidėja bangų ir srovių galimybė pasiekti aukščiau vidutinio vandens lygio esančias kranto profilio vietas; tokiomis sąlygomis labiau performuojamas profilis, o išplauta medžiaga nusodinama kranto povandeniniame šlaite.
2. Pakilus vandens lygiui, bangos su didesne energija pasiekia plaunamas kranto vietas ir jas stipriau paplauna.
3. Didėjant priekrantės gyliui, silpnėja prie kranto artėjančių bangų refrakcija ir didėja nešmenų pernaša išilgai kranto.

4. Padidėja nešmenų pernašos iš išorinių šaltinių į kranto zoną galimybės; vandeniui užliejant upių žiotis ir deltas, nepasiekę jūros daug nešmenų nusėda upių žemupiuose.

Aukštėjantis vandens lygis labiausiai paveiktų žemus Pietų ir Rytų Baltijos krantus, ypač žemas Zelandijos ir Lolando salų vietas Danijoje, Riūgeno salą Vokietijoje, Greifsvaldo ir Ščecino bodenų pakrantes Vokietijoje, Pucko, Aistmarių, Kuršių marių, Rygos įlankos krantus. Kadangi Švedijos krantai aukštesni, o šiauriniai Baltijos krantai kyla sparčiau negu vandens lygis, šie krantai didelių pokyčių turėtų išvengti.

Sieros vandenilio zonų susidarymas. Baltija yra viena jūrų, turinčių teigiamą gėlo vandens balansą: kritulių ir upių vandens prietaka čia didesnė negu vandens netektis dėl garavimo. Dėl to Baltijos vandens lygis šiek tiek yra aukštesnis negu Šiaurės jūroje ir Danijos sąsiauriuose, kur vyrauja ištekančios srovės.

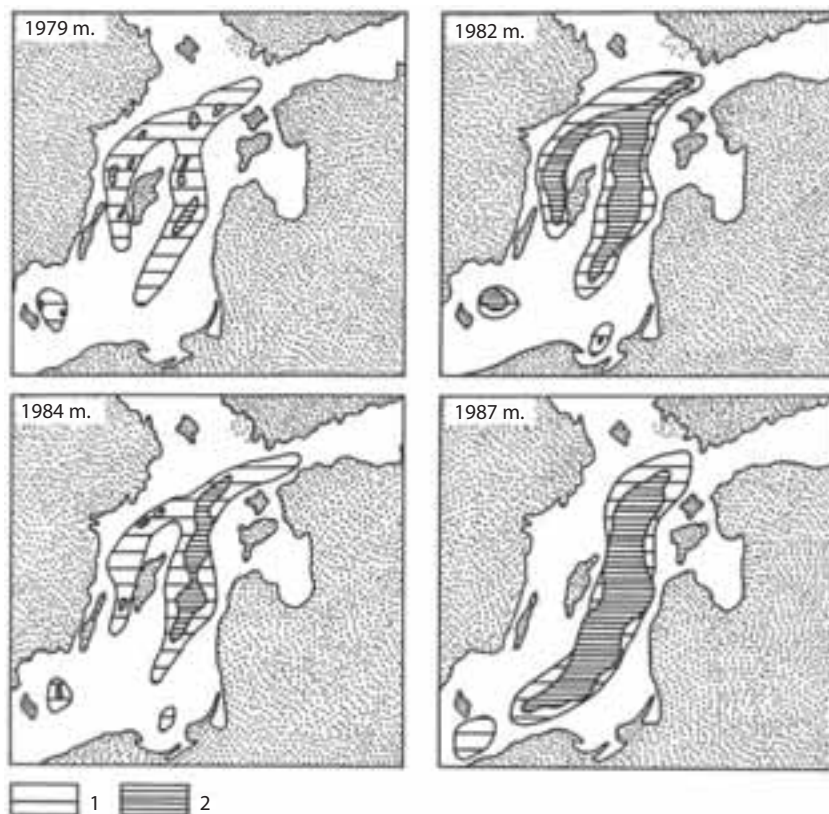
Kadangi Baltijos jūros viršutinė vandens masė yra apgėlėjusi, ji nuolat yra mažesnio tankio už giluminę, todėl nesimaišo ir laikosi paviršiniame sluoksnyje. Baltijos jūros valstybės ekonomiškai yra stiprios, bet, deja, dar nesugeba subalansuoti nei būtino trąšų kiekio, reikalingo kultūriniais augalams, nei visiškai išvalyti į jūrą patenkančių nuotekų. Į jūrą patekęs didelis biogenų kiekis lemia aukštą Baltijos jūros eutrofikacijos lygį. Dalis organinės medžiagos srovių yra išnešama iš jūros, bet didelė dalis nugrimzta į priedugnį. Šią medžiagą skaldančios bakterijos suvartoja labai daug deguonies. Iš viršutinių vandens sluoksnių deguonies į priedugnį nepatenka, nes vandens storumė stabiliai stratifikuota.

Deguonies į Baltijos priedugnio zoną gali patekti tik su druskingais ir deguonimi įsotintais Šiaurės jūros vandenimis. Šie vandenys pro aukštus Beltų bei Zundo sąsiaurių slenksčius perteka tik tada, kai Skagerake

stiprių audrų metu susidaro aukšta vandens patvanka. Tokia situacija turi išsilaikyti pakankamai ilgai, kad Šiaurės jūros vandens pakaktų prisipildyti visiems giliesiems Baltijos jūros duburiams. Kadangi eutrofikacija didėja, sieros vandenilio zonos, priklausomai dar ir nuo Šiaurės jūros vandens įplūdžių, tai padidėja, tai sumažėja (6.12 pav.). Vandens lygio kilimas turėtų šiek tiek paspartinti priedugnio vandens atsinaujinimo procesą.

Biologinių išteklių mažėjimas. Biologiniai Baltijos jūros ištekliai – tai daugiausia verslinės žuvys: menkės, strimelės, plekšnės, bretlingiai, uotai ir kt., taip pat vertingos praeivės žuvys – žiobriai, lašišos, unguriai, upėtakiai ir kt. Didžiausią verslinę vertę turi pirmosios keturios žuvų rūšys. Be to, men-

kės, plekšnės, uotai yra trofinės piramidės viršūnėje, o strimelės ir bretlingiai – pelaginės žuvys, kurių racione didelę dalį sudaro planktoniniai organizmai. Dėl šios priežasties plėšriųjų žuvų visada mažiau negu, pvz., strimelių. Pastaraisiais metais ypač sumažėjo vertingiausių žuvų, t.y. menkių. Tai lėmė stagnuojantys priedugniniai vandenys, dideli šių žuvų išgaudymo kiekiai. Pavyzdžiui, 2000 m. Lietuvos žvejai numatytas menkių sugavimo kvotas viršijo, t.y. jas išnaudojo net 104,3%, strimelių – vos 15%, o bretlingių – 55,1%. Be to, menkių sugavimas 1995 m. siekė 3707 tonų, 1998 m. padidėjo iki 4187 tonų. Šiandien menkių sugavimo kvotos mažinamos visoms Baltijos valstybėms kartu keliant klausimą apie visišką šių žuvų gaudymo uždraudimą keleriems metams.



6.12 pav. Sieros vandenilio paplitimas Baltijos jūros priedugnyje: 1 – sieros vandenilio paplitimo arealai; 2 – arealai, kuriuose deguonies yra mažiau kaip 2 ml/l (HELCOM duomenys)

Nemažai rūpesčių kelia strimelių banda. Didžiąją dalį problemų sudaro nerštaviečių mažėjimas. Strimelės neršia jūros sekliavandenėje zonoje, 2–8 m gylyje sudėdamos ikrus ant stabilaus substrato: akmenų, furceliarijų ir kitų vandens augalų sąžalynų. Tokių sąžalynų gausumą lemia stabilus vandens druskingumas ir stabilus substratas. Todėl, vykdant kranto zonoje dampingą ar keičiant gėlo vandens prietaką, iš karto sunaikinamos ir strimelių nerštavietės. Taip yra ir prie Lietuvos krantų. Nerštaviečių plotai ženkliai sumažėjo šiauriau Klaipėdos. Strimelės neretai sukrauna ikrus ant priekrantės makrofitų Kuršių mariose, įplaukę su druskingo vandens įplūdžiais. Tokie įplūdžiai dažnėja gilinant Klaipėdos sąsiaurį. Kadangi mariose druskingas vanduo pastoviai neišsilaiško, ikrai ant žolių žūva. Jei 2001 m. menkių Baltijoje buvo išgaudoma 105 000 tonų, tai 2004 m. – tik 61 000 tonų, strimelių atitinkamai nuo 300 000 t sumažėjo iki 143 349 tonų ir tik bretlingių sugavimai didėjo: nuo 355 000 iki 420 000 tonų. Tai puikiai iliustruoja Baltijos ekosistemos kaitą.

Nešmenų balanso pokyčiai kranto zonoje. Ši problema itin būdinga Pietų ir Pietryčių Baltijos kranto zonai, kurios krantai prioritetiškai sudaryti iš smėlio nešmenų. Holocene susidaręs kranto ir priekrantės reljefas, tuomet maždaug atitikęs pusiausvyros profilį, pakito. Kartu išseko nuosėdų atsargos kranto povandeniniame šlaite. Baltijos regiono upių režimo reguliavimas, daugelio upių pertvėrimas užtvankomis, hidrotechninių įrenginių pastatymas kartu su bendruoju vandens lygio kilimu labai sumažino paplūdimių nešmenų atsargas, jie ėmė degraduoti. Dar

prisidėjo uostų akvatorijų ir įplaukos kanalų gilinimas, iškastą gruntą skandinant jūroje (6.4 lentelė).

Kaip matyti iš lentelės, daugiausia iškasa ir sąvartynuose grunto nuskandina Latvija, visus uostus turinti prie smėlingų krantų. Šiuo požiūriu geriausioje padėtyje atsiduria Švedija, kurios uostai natūraliuose giliuose užtakiuose.

Apie uostų poveikį nešmenų balansui galima spręsti ir iš duomenų apie grunto kasimo apimtis Klaipėdos uoste. Mažiausiai grunto buvo iškasta 1905–1957 m. laikotarpiu. Tuomet nešmenų stygiaus kranto zonoje dar nebuvo, nes kasimo apimtys vidutiniškai sudarė tik 75 000 m³ per metus. Tuo tarpu 1995–1997 m. kasimo apimtys išaugo – sudarė net po 1846 000 m³ per metus. Šiuo laikotarpiu staigiai padidėjo paplūdimių degradavimo tempai.

Labai įdomius tyrimus atlikęs Klaipėdos universiteto profesorius S. Oleninas nustatė nepaprastai intensyvių invazinių organizmų rūšių skaičiaus augimą Baltijos jūroje. Ant laivų korpusų bei su balastiniais vandenimis į Baltiją iš tolimų tropinių arba šaltų arktinių rajonų atkeliauja įvairių organizmų, kurie kartais suranda palankią ekologinę nišą ir palaipsniui įsitvirtina. Kartais jie maisto grandinėje užima vietą, priklausiusią autochtoniniams organizmams. Tai gali sutrikdyti Baltijos ekosistemos stabilumą, o ir būti didžiulių materialių nuostolių priežastis. Pastaraisiais metais dažnėja laivagraužio invazijos į Baltiją atvejų. Jei jis paplis, sukels katastrofinę padėtį XIX ir XX a. pirmoje pusėje statytuose uostuose. Jų molai daugiausia statyti naudojant medines polines arba rentinines konstrukcijas, kurias laivagraužys naikina.

6.4 lentelė. Kai kurių Baltijos jūros šalių uostuose XX ir XXI amžių sandūroje (1999–2001) iškasto ir jūroje palaidoto grunto kiekiai (tūkst. m³) (HELCOM 2003 m. duomenys)

Suomija	Estija	Latvija	Lietuva	Lenkija	Vokietija	Švedija
2670	1050	8340	4070	700	3710	200

6.11. Kuršių marios globalios kaitos kontekste

Bendrosios žinios. Kuršių marios – tai trikampio formos lagūna, susidariusi Litorinos jūros stadijoje, t.y. maždaug prieš 5000 metų. Tuo laikotarpiu susiformavusi Kuršių nerija atskyrė nuo jūros nemažą įlanką (pietinė marių dalis) ir Nemuno deltą. Vėliau, kaupiantis Nemuno nešmenims, rytinėje marių dalyje nuo naujai susidariusios lagūnos atsiskyrė Krokų Lankos ežeras, susiformavo priekrantinės Tyrų, Svencelės ir kt. pelkės. Pamažu marių kranto linija įgavo maždaug šiandieninius kontūrus. Bendras marių plotas – 1584 km², Lietuvai priklauso tik 381,6 km² marių akvatorijos. Marių dugno reljefas nėra sudėtingas, bet kai kuriose marių dalyse turintis savitų bruožų. Pagal įvairius požymius Kuršių marios tradiciškai skirstomos į 3 dalis: šiaurinę, Vidmares ir pietinę – Būdumą. Pastaraisiais metais Klaipėdos sąsiauris buvo itin intensyviai gilinamas ir performuojamas. Dėl to pačią šiaurinę apie 12 km ilgio marių dalį – Klaipėdos sąsiaurį dabar reikėtų laikyti atskira, didžiausią antropogeninį poveikį patiriančia dalimi.

Vidutinis marių gylis – tik apie 3 m. Lietuvai priklauso sekiausia marių dalis. Palei Kuršių neriją driekiasi giliausia jos vieta – Panerijos duburys, kur gylis – 6–8 m, o marių šiaurės rytinė dalis yra visai sekli – vyrauja 0,7–1,5 m gylis. Į marias įteka Nemunas ir kelios mažesnės upės: Nemunynas, Deimėna, Danė, Tovė ir kt. Vidutinis į marias atnešamo vandens kiekis sudaro apie 23 km³ per metus. Į marias įsilieja ir nemažas jūros vandens kiekis.

Vandens druskingumo kaita. Jūros vandens prietaką reguliuoja slenkščio aukštis ir hidrometeorologinės sąlygos. Dėl Klaipėdos uosto gilinimo didėja galimybės druskingam Baltijos vandeniui skverbtis į marias. Jūros ir

marių vandens lygių skirtumai, susidarantys pučiant stipriems vakarinių rumbų vėjams, sudaro idealias sąlygas jūrinio vandens plūsmui į Kuršių marias. Kadangi Baltijos jūros audringumas yra sezoninio pobūdžio, tai ir druskingas jūros vanduo į marias dažniau įsiveržia rudenį (37% atvejų) negu pavasarį (apie 10% atvejų). Vidutiniškai į marias per metus patenka apie 5–7 km³ jūrinio vandens. Dėl upių vandens prietakos Kuršių marių vandens lygis yra kiek aukštesnis negu jūroje. Pasibaigus patvankos procesams, Klaipėdos sąsiauryje išivyruoja jūros link tekanti srovė ir druskingesnis vanduo vėl pasuka į jūrą.

Pastaraisiais metais labai pagausėjo atvejų, kai 3–4‰ druskingas vanduo ties Juodkrante laikosi net kelias savaites, o šiek tiek padidėjusio druskingumo vanduo vis dažniau pasiekia Bulvikio rago–Ventės rago kranto ruožą. Vis dažnesni padidėjusio druskingumo vandens proveržiai vasarą, kai labai sumažėja Nemuno upės nuotėkis. Tai vienas globalios klimato kaitos faktų. Druskingo vandens įplūdžius skatina ir bendras jūros vandens lygio kilimas, nes sumažėja jūros ir marių vandens lygių gradientas. Tokiomis sąlygomis didesnio tankio jūros vandeniui daug lengviau Klaipėdos sąsiaurio priedugniu veržtis į mažesnio tankio baseiną – marias. Žvelgiant iš hidrologijos pozicijų, Kuršių marios šiandien tapo tipiška estuarija, t.y. baseinu, kuriame sąveikauja jūriniai ir gėli sausumos nuotėkio vandenys.

Vandens lygio kaita. Kuršių marių vandens lygio kaitos tendencijos įgavo naujų bruožų. Dėl bendrosios klimato kaitos paankstėjo ir tapo trumpesni Nemuno potvyniai. Dėl to aukščiausias Kuršių marių vandens lygis iš kovo–balandžio mėnesių pasistūmė į vasarį–kovą. Žemiausias vandens lygis dabar būna gegužę, nors ne ką aukštesnis ir rugpjūčio–spalio mėnesiais. Tuo tarpu šaltuoju metų laiku, t.y. lapkritį–kovą, vandens

lygis būna aukštesnis už vidutinį (1994–2004 m. duomenimis). Tokią tendenciją lemia vis trumpiau išsilaikanti ledo danga.

Didėjančios vandens lygio kaitos amplitudės ir bendras lygio aukštėjimas neigiamai veikia Kuršių marių kranto zoną. Aukšto vandens lygio sąlygomis didėja bangų ardomoji veikla, ypač nerijos krante, kur kopos leidžiasi tiesiog į vandenį. Šiaurinėje marių dalyje, kur bangoms įsibėgėti nėra vietos, krantai labiau nukenčia nuo nešamų pavasarį ledų ardos.

Ekosistemos kaita. Beveik visą XX amžių palaipsniui didėjo marių tarša. Ypač augo biogeninių medžiagų prietaka. Todėl priekrantėse plėtėsi makrofitų sąžalynai, keitėsi ir faunos sudėtis, kurią galima parodyti žuvų rūšių kaita žvejų valksnose. Laimikiuose nuo 30% iki 16% sumažėjo vertingų praeivių žuvų ir daugėjo hipertrofikuotiems baseinams būdingų kuojų ir karšių. 1926–1938 metais jos sudarė 18% visų laimikių, 1950–1970 m. – 38%, 1971–1990 m. – 65% ir 1991–1994 metais – 61%.

Per paskutinį dešimtmetį, vis labiau keičiantis marių šiaurinės dalies druskingumui, ima keistis ir ekosistema. Vis dažniau į šią dalį užsuka jūrinės žuvis, o gėlavandenės žuvis, ypač karšiai, su ištekančio gėlo vandens mase migruoja pasiganyti ir į jūrą. Mariose atsirado jūrinių planktono bei bentoso atstovų. Tos žuvis, kurioms netinka druskingas vanduo, tokių įplūdžių metu traukiasi į pietus.

Globali klimato kaita, lėmusi trumpesnį ir staigesnį Nemuno pavasario potvynį, taip pat Klaipėdos sąsiaurio gilinimas, polderių įrengimas Nemuno deltoje irgi negali nesukelti ekosistemos pokyčių. Žuvų rūšys, kurios neršia pavasarinėse marių užlajose, gali nebespėti išneršti ir jų banda ims mažėti.

Kadangi Klaipėdos sąsiaurio priedugnyje didžiąją metų dalį vanduo būna pastoviai druskingas, jo įplūdžiai į marias padidėjo

maždaug iki 7 km³ per metus. Atitinkamai padaugėjo ir iš marių ištekančio apgėlėjusio vandens. Plisdami jūroje šiaurės kryptimi šie vandenys palaipsniui keičia ir jūros priekrantės ekosistemą. Pavyzdžiui, prieš 30 metų ant stabilaus dugno augo furceliarijos vos 6 km į šiaurę nuo Klaipėdos, tuo tarpu šiandien jų sąžalynai prasideda tik prie Palangos. Šie augalai sunkiai pakelia mažo druskingumo aplinką, todėl, didėjant apgėlėjusio vandens išnašai Klaipėdos sąsiauriu, furceliarijų arealas traukiasi į šiaurę.

Taigi natūralūs globalios kaitos procesai bei prie jų prisidėjusi žmonių ūkinė veikla lėmė lokalaus pobūdžio įvairaus pobūdžio kaitą: Kuršių marių vandens lygio, druskingumo ir pagaliau – ekosistemos. Pokyčiai Kuršių mariose savo ruožtu veikia Baltijos priekrantės gamtą.

Šios kaitos negalima vertinti vien neigiamai. Jau apie 10 metų, kai Kuršių mariose palaipsniui mažėja tarša iš Nemuno. Į marias vėl grįžta kai kurios žuvų rūšys, kurios jau buvo beišnykstančios (lašišos, perpelės), gilinant Klaipėdos sąsiaurį vėl daugėja praeivių žuvų.

6.12. Lietuvos jūros krantų raida veikiant gamtiniais ir antropogeniniams procesams

Lietuvos jūros krantų raida visiškai atitinka visame Pasaulio vandenyne arba visoje Baltijos jūroje išsivyravusias tendencijas: kylant vandens lygiui ir mažėjant nešmenų atsargoms, kranto zonoje spartėja krantų abraziijos procesai. Kita vertus, Lietuvos kranto atkarpos krantodara turi tik jai būdingų bruožų, susijusių su nešmenų balanso pokyčiais, hidrotechniniais įrenginiais bei krantotvarkos strategijos įgyvendinimu.

Nešmenų balanso pokyčiai. Lietuvos jūros krantai dėl savo ekspozicijos vyraujančių vėjų atžvilgiu daugiausia yra maitinami Sem-

bos pusiasalio priekrantės dugno bei krantų abrazijos medžiaga. Ją papildydavo ir pietinės Kuršių marių dalies ardomo kranto smėlis. Nors Sembos pusiasalio krantai buvo intensyviai tvirtinami nuo XIX a. vidurio, šios priemonės nedavė didesnio efekto, ir mūsų kranto maitinimas nešmenimis dėl to nesutriko. Devintajame bei paskutiniame XX a. dešimtmečiuose Sembos ir nerijos pietinės dalies krantosaugai buvo pritaikytos naujos Rusijos specialistų technologijos – paslankūs arba ažūriški bangų energiją slopinantys įrenginiai. Jie (naudojant senas automobilių padangas) gerokai sudarkė kranto vaizdą, bet davė pakankamą efektą. Jų taikymo vietose kranto abrazijos procesai iš esmės buvo sustabdyti. Dėl šių priemonių bei išsekus nešmenų atsargoms Sembos priekrantėje, mūsų krantų maitinimas nešmenimis, atsargiais vertinimais, sumažėjo nuo trečdalis iki pusės ankstesnio kiekio.

Nešmenų kiekio sumažėjimas nešmenų srauto maitinimo zonoje Kuršių nerijos krantams didelio poveikio neturėjo, kai kur situacija netgi pagerėjo. Tai lėmė ir Klaipėdos uosto molų rekonstrukcija. Pailgintas pietinis molas labai sumažino nešmenų plūsmą į šiaurę ir sudarė galimybes Kuršių nerijos kranto zonoje formuotis kvazisavarankiškai litodinaminei sistemai. Galima daryti išvadą, kad ši situacija gali trukti dar apie 10 metų, kol prisipildys nešmenimis priešvėjinis kampas tarp uosto molo ir Kopgalio kranto ir pakils jūros vandens lygis.

Hidrotechninių įrenginių poveikis. Kranto zonoje tarp Klaipėdos ir Liepojos uostų hidrotechniniai įrenginiai išsidėsto vidutiniškai kas 26 km, o tarp Palangos ir apieito Papės uosto Latvijoje – kas 13 km. Vien Lietuvos kranto zonoje uostų hidrotechniniai įrenginiai (Klaipėdos, Palangos ir Šventosios) stabilizavo ir iš apykaitinės sistemos pašalino mažiausiai 5 mln. m³ nešmenų. Po

Klaipėdos uosto vartų rekonstrukcijos šis kiekis vis didėja. Klaipėdos uosto poveikis krantams yra daug didesnis negu Palangos arba Šventosios dėl daugelio priežasčių:

1. Klaipėda yra žemyninio kranto ruožo pradžioje (einant nešmenų srauto judėjimo kryptimi) ir reguliuoja tolesnio kranto maitinimą;
2. Klaipėdos uosto įrenginiai patenka į išorinę gožos zonos dalį, todėl beveik perkerta didžiausią nešmenų pernašos zoną tarp 0 ir 8–9 m izobatų;
3. Į išgilintą iki 14,5 m kanalą patekę nešmenys yra iškasami ir dažniausiai iš apykaitos sistemos pašalinami;
4. Pro uosto vartus tekantis Kuršių marių vandens srautas smulkesnius nešmenis nubloškia į didesnius gylius;
5. Didėsniame gylyje migruojantys ir uostą aplenkę nešmenys šiauriau Klaipėdos patenka už povandeninių moreninių gūbrių, kurie plytėdami iki 18–23 m izobatų zonos, apsunkina nešmenų apykaitą su sekliavandene kranto zonos dalimi. Be to, smulkioji nešmenų frakcija gali suformuoti tik lėkštus ir kietus paplūdimius.

Minėtos priežastys lemia tai, kad šiauriau Klaipėdos plytintis krantas vietoj anksčiau gaunamų 400 000–500 000 m³ nešmenų, tegausa jų tik apie 150 000 m³ per metus.

Pirminė Palangos tilto paskirtis buvo laivų prieplauka. Tarp tilto polių sukrauti akmenys iš dalies sulaikydavo išilgai priekrantės migruojančius nešmenis, todėl paplūdimys išsiplėtė. Nuo tilto pietvakarių kryptimi nusidriekusi moreninė sekluma vaidino bangolaužio vaidmenį, todėl taip pat lėmė nešmenų akumuliaciją krante. Tuo tarpu povandeniniame šlaite, kur paprastai susikaupia maitinantis paplūdimį smėlis, nešmenų tėra tik maždaug iki 3–5 m izobatų. Perstačius Palangos tiltą ir padarius jį laidesnį nešmenims, prasidėjo staigi paplūdimių

degradacija. Ją tuo pat metu skatino jūros vandens lygio kilimas, uraganinių audrų dažnėjimas ir Klaipėdos uosto rekonstrukcijos darbai. 2005 m. po uraganinės „Ervin“ audros paplūdimiai vietomis susiaurėjo iki 14 metrų. 2004 metais prie tilto buvo pastatyta buna, tiesiogiai apsauganti prie tilto esančią kranto atkarpą.

Šventosios uostas, esantis 4 km nuo sienos su Latvija, vaidina panašų vaidmenį kaip senasis Palangos tiltas. Pietinio – ilgojo uosto molo dėka ties Šventąja susidarė iki 80 m pločio paplūdimys, o nešmenų akumuliacijos atkarpa į pietus nusidriekia iki Ošupio. Užuovėjinėje molo pusėje susiformavo įlanka, bet šiaudien čia jau neutralus, kartais įgyjantis abrazyjos požymių, krantas. Šventosios problema ta, kad senasis molas niekada nebuvo remontuotas ir prižiūrimas. Šiuo metu bangų ir ledų veikiamas jis kas metai sutrumpėja po 12,5 m. Vidurinė jo dalis yra beveik pilnai pralaužta. Jeigu šis molas galutinai suirs, prie Šventosios prasidės analogiški Palangai procesai. Paplūdimys bus negrįžtamai nuplautas, o nešmenų atsargos šio ruožo maitinimo zonoje, t.y. Palangoje – minimalios.

Palangos–Šventosios krantas daugelyje vietų vos iki 1 m pakilęs virš jūros lygio. Patvankos sąlygomis nuo užliejimo jį saugo tik laipsniškai degraduojantis kopagūbris. Kylant vandens lygiui, Palangos–Šventosios atkarpa pirmiausia pajus periodiškų užtvindymų grėsmę.

Krantosaugos galimybės. Kuršių nerijos krantai, būdami geros būklės, reikalauja tik nuolatinės priežiūros: profiliuoti pažeistas kopagūbrio vietas, pridengti jas šakomis arba šlaito papėdę sutvirtinti žabtvių pinučiais.

Klaipėdos uostas tikriausiai dar ir toliau bus plečiamas, todėl naujuose projektuose būtina numatyti stacionarią įrangą smėliui perpumpuoti iš uosto pietinės pusės į šiauri-

nę. Tokios technologijos Pasulyje yra išbandytos ir pasiteisinusios.

Palangos krantą bet kuriuo atveju teks pamaitinti nešmenimis. 2006 m. jūroje atlikti tyrimai parodė, kad 20–24 m gylyje yra smėlio santalkų, kurios tiktų Palangos krantui. Norint padidinti plaunamo kranto plotį šiauriau promenadinio tilto, kartu su pamaitinimu svarstytinas ir bangolaužio (povandeninio arba viršvandeninio) įrengimo variantas.

Šventosios kranto atkarpą gali išgelbėti kuo greičiau pradėtas vykdyti uosto atstatymo projektas. Jį numatyta įgyvendinti iki 2013 metų. Jei iki to laiko, kol bus pastatyti nauji molai, senasis molas iširs, visą Šventosios kranto ruožą taip pat teks pamaitinti smėliu.

Žinoma, kad Palangoje XX a. trečiajame dešimtmetyje poilsiautojams užteko maždaug 1 km įrengto paplūdimio. 1939 metais toks paplūdimys užėmė jau 2,6 km kranto. 1983 metais prireikė 12,5 km, o šiaudien – apie 15 km. Dėl poilsiautojų koncentracijos nyksta kranto augalija, krantas degraduoja. Ateityje turėtų būti įrengta paplūdimio infrastruktūra, skatinanti poilsiautojų decentralizaciją. Tokios priemonės pradėtos įgyvendinti 2006 metais. Kituose kranto ruožuose dideli krantosaugos darbai nebūtini, reikia tik išsaugoti juose vykstančius natūralius procesus.

Literatūra

- Barth M. C., Titus J. G. (1984). *Greenhouse Effect and Sea Level Rise A Challenge for This Generation*. New York.
- Barth M. K., Titus J. G. (1989). *Okean nastupaet? Moskva* (rusiškai).
- Bird E. C. F. (1985). *Coastal Changes A Global Review*. Wiley.
- Bird E. C. F. (1990). *Izmeneniya beregovojo linii: Globalnyj obzor*. Leningrad (rusiškai).
- Broecker W. S. (1974). *Chemical Oceanography*. New York.
- Brown J., Colling A. et al. (1989). *Ocean Circulation*. Oxford.

- Budyko M.I., Berliand T.G., Efimova N.A. (1978). *Teplavoj balans Zemli*. Leningrad (rusiškai).
- Bukantis A. ir kt. (2001). *Klimato svyravimų poveikis fiziniams geografiniams procesams Lietuvoje*. Vilnius.
- Burkov V. A. (1980). *Obščaja cirkuliacija Mirovogo okeana*. Leningrad (rusiškai).
- Duxbury A. C., Duxbury A. B. (1991). *An Introduction to the World's Oceans*. Dubuque.
- Frolov J. S. (1971). Novyje fundamentalnyje dannyje po morfometriji Mirovogo okeana. *Vestnik Leningradskogo universiteta* 6 (1) (rusiškai).
- Hurd A. (1957). *Ports of the World*. London.
- Jerlov N. G. (1980). *Optika moria*. Leningrad (rusiškai).
- Kudaba Č. (1980). *Geografinės kelionės ir atradimai*. Vilnius.
- Leontjev O. K. (1982). *Morskaja geologija: osnovy geologii i geomorfologii dna Mirovogo okeana*. Maskva (rusiškai).
- Managed Aquatic Ecosystems* (1987) Mivhael R. G. (ed.). New York.
- Mogiliovkin I. M. (1982). *Biznes i more*. Moskva (rusiškai).
- Paulauskas V. (1998). *Uostų vystymas ir logistika*. Klaipėda.
- Safjanov G.A. (1978). *Beregovaja zona okeana v XX vieke*. Moskva (rusiškai).
- Stepanov V. N. (1974). *Mirovoj okean. Dinamika i svoistva vod*. Moskva (rusiškai).
- Stepanov V. N. (1983). *Okeanosfera*. Moskva (rusiškai).
- Trimonis E. (2002). *Jūrų ir vandenynų geologija*. Vilnius.
- Virbickas J., Domarkas A., Pašukonis J. (1996). Apie žuvų išteklių eksploataciją Baltijos jūros Lietuvos ekonominėje zonoje ir Kuršių marių Lietuvos akvatorijoje. *Žuvininkystė Lietuvoje* 2, 61–68.
- Žaromskis R. (1996). *Okeanai, jūros, estuarijos*. Vilnius.
- Žaromskis R. (2006). *Lietuvos pajūris ir kopos*. Klaipėda.

7. Globalios kaitos poveikis sausumos vandenims

7.1. Svarbiausi sausumos vandenų režimą bei savybes lemiantys svertai

Kalbant apie bendrus veiksnius, veikiančius sausumos vandenį, pirmiausiai būtina prisiminti, kad tiek jų formavimąsi, tiek didžiąją dalį režimo ypatybių lemia didysis vandens apykaitos ratas. Pastarasis veikia įvairių veiksmų maždaug tokia labai supaprastinta schema: Saulės spinduliavimas → temperatūros kaita → garavimas → krituliai. Vėliau šie veiksniai vėl „sukasi ratu“, iš naujo veikdami vienas kitą. Tad galima neabejotinai teigti, jog iš veiksmų didžiausią įtaką sausumos vandenims daro *meteorologinės sąlygos*. Žvelgiant iš hidrologinių pozicijų, nuo šių sąlygų priklauso sausumos vandens telkinių vandeningumas.

Kita vertus, pagrindinius skirtumus tarp atskirų sausumos vandens objektų (upių, ežerų, vandens talpyklų, pelkių, ledynų, požeminio vandens) dažniau lemia ne meteorologinės sąlygos – nors jų poveikis ir šiuo atveju neišvengiamas, – bet *paklotinis paviršius*. Didžiausią įtaką skirtingų sausumos vandens tipų formavimuisi bei režimui iš šios veiksmų grupės turi teritorijos geologinė sandara, reljefas, dirvožemis bei augalai. Šių veiksmų ne menkas poveikis ir vandeningumo metinio pasiskirstymo specifikai.

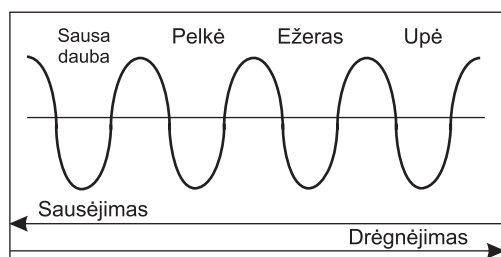
Formaliai ir meteorologines sąlygas, ir paklotinį paviršių būtų galima priskirti *gamtiniais*, neretai vadinamiems *fiziniais geografiniais, veiksniams*. Tačiau būtina nepamiršti, jog abi šios veiksmų grupės, kurios veikia vidaus vandenį, gali būti tiesiogiai arba netiesiogiai susijusios su žmonių veikla. Taigi prie aibės gamtinių veiksmų prisideda ir *antropogeniniai veiksniai*. Pabrėžtina, kad nemenką dalį paklotinio paviršiaus žmonės

gali paveikti tiesiogiai (pavyzdžiui, kirsdami mišką, keisdami reljefą, urbanizuodami teritoriją ir pan.), tuo tarpu jų poveikis meteorologinėms sąlygoms dažniausiai yra netiesioginis. Tačiau bet kuriuo atveju konkretaus vandens objekto vandens balansas ir režimas priklauso nuo tarpusavyje sąveikaujančių veiksmų kompleksu.

Be skirstymo pagal kilmę, sausumos vandenį veikiančius veiksnius galima apibrėžti ir pagal jų *poveikio kryptingumą* bei *cikliškumą*. Šiuo metu laikomasi nuomonės, kad daugumai gamtinių veiksmų būdingas cikliškas poveikis. Tačiau laikantis šios nuostatos, nepamirštinės kelios išankstinės išlygos: 1) ji teisinga tik kalbant apie pakankamai ilgą laiko tarpą; 2) kiekvienam veiksmui būdingas skirtingas ciklas; 3) to paties sausumos vandens veikiančio veiksmo trukmė gali svyruoti įvairaus ilgio ciklais. Pirmoji išlyga svarbi todėl, kad aptariant pernelyg trumpą laikotarpį galima neaptikti itin ilgų svyravimo ciklų (pavyzdžiui, kas keliasdešimt ar net kelis šimtus tūkstančių metų besikartojančių ledynmečių). Į antrąją išlygą būtina atkreipti dėmesį, nes daugelio gamtinių veiksmų (ypač meteorologinių sąlygų) veikimo cikliškumui svyruojant nuo kelių šimtų metų iki sezono trukmės, jų tarpusavio sąveika verčia šiuos veiksmus interferuoti tarpusavyje. Trečiosios aplinkybės nereikia pamiršti jau kalbant apie konkrečių veiksmų cikliškumą, nes: a) to paties rango ciklai dažnai gali būti gana skirtingos trukmės, b) aukštesnio rango ciklai kartais perdengia žemesnio rango cikliškumą. Toks cikliškumo pasiskirstymas vėlgi ypač būdingas meteorologiniams veiksniams (pavyzdžiui, oro temperatūrai, kritulių kiekiui ir pan.).

Pastebėtina, kad poveikio sausumos van-

dens objektams cikliškas nėra būdingas visiems gamtiniais veiksniams. Cikliškas ypač būdingas meteorologinėms sąlygoms: didžia dalimi priklausydamos nuo Saulės spinduliavimo, jos susijusios su astronominiu ciklišku. Pavyzdžiui, oro, vandens, dirvožemio temperatūra kyla arba krinta bei garavimas nuo įvairių paviršių stiprėja arba silpnėja per parą, sezoną, kelerius, keliolika bei keliasdešimt ir kelis šimtus metų. Jei nekreiptume dėmesio į paklotinio paviršiaus veiksnį, ilgainiui paviršinio vandens telkinių persiformavimas galėtų būti išreikštas itin „grubiu“ 7.1 paveiksle pateiktu modeliu.

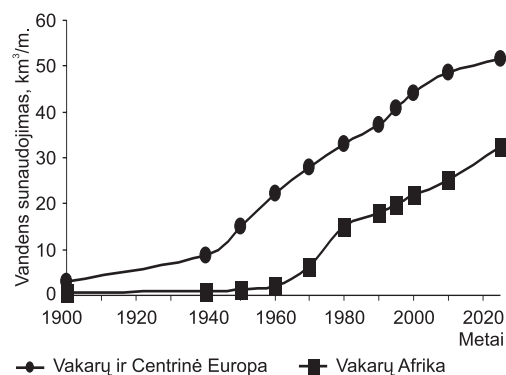


7.1 pav. Sausumos paviršiaus vandens telkinių persiformavimo schema sausėjant arba drėgnėjant klimatui (neatsižvelgiant į paklotinio paviršiaus kaitą)

Tuo tarpu daugelis paklotiniame paviršiuje vykstančių pokyčių (pavyzdžiui, pakitimai geologiniuose sluoksniuose, dugno nuogulų susidarymas ežeruose, sąnašų pernešimas upėmis ir pan.) dažniau būna vienakrypčiai. Nors ir čia dalis sistemos vystosi skirtingo aktyvumo ciklais, kurie vėlgi dažniausiai priklauso nuo meteorologinių sąlygų kaitos. Šiuo atveju paklotinio paviršiaus kaitos (ir jo poveikio vandenims) cikliškas dažniausiai išryškėja tose jo sferose, kurios aktyviausiai sąveikauja su atmosfera (įvairaus rango ciklai gana akivaizdūs augalijos, dirvožemio, iš dalies ir reljefo pokyčiuose). Mažiau nuo klimato priklausantys paklotinio paviršiaus sluoksniai (pavyzdžiui, geologinė struktūra) vystosi beveik viena kryptimi.

Spręsti apie antropogeninio poveikio

sausumos vandenims kryptingumą bei cikliškumą kol kas sunku, nes jis savo trukme nepalyginamas su gamtiniais veiksniais (ledynai arba vandens objektai sausumoje egzistavo nuo pat pirmųjų žemynų atsiradimo). Neabejotina viena: žmogaus poveikis sausumos vandenims nuo pat žmonių, kaip poveikį galinčio daryti veiksnio, atsiradimo buvo vienakryptis. Tiesa, gali būti, jog mes kol kas matome tik gan ilgalaikio ciklo tebesitęsiančią kilimo tendenciją. Klausimas šiuo atveju gan standartinis: ar žmonės savo poveikį sugebės pristabdyti ir ims mažinti iki to momento, kol sausumos vandenys jį kartu su smarkiai ryškėjančiu klimato poveikiu dar pakelia, ar įvyks globalūs negrįžtamieji sausumos vandenų sistemos pokyčiai. Būtent į jį ir pamėginta atsakyti tolesniuose skyreliuose.



7.2 pav. Vandens sunaudojimo kaita ir jos prognozė (km^3/metus) įvairiuose Pasaulio regionuose (Shiklomanov, 2006)

Turimi duomenys apie žmogaus poveikį sausumos vandenims kol kas ne itin gudožiantys (7.2 pav.). Be to, reikia nepamiršti, jog antropogeninis poveikis sausumos vandenims būna ir netiesioginis – per žmogaus daromą įtaką klimatui bei visai gamtinei sistemai, kuri, kaip ir tiesioginiai veiklos padariniai, ėmė itin ryškėti XX a. viduryje. Tendencijų slopti kol kas nerodo nė vienas šių veiksnių.

7.2. Globalios kaitos poveikis upėms

Aptariant upių vandens režimo pokyčius, reikia pasakyti, jog pastaruosius kelesius metus daugelyje Pasaulio sričių kilo itin aukšti bei nesava laikiai potvyniai ir poplūdziai, dažnokai siejami su globaliu klimato sistemos kitimu. Tačiau aiškių šią sąsają įrodančių duomenų kol kas stings. Pastarąją problemą greičiau būtų galima įvardyti kaip globalių gamtos pokyčių neatlaikiusių upių vandens režimo atsaką sparčiai kintančiai aplinkos sistemai. Sistemos kaita didesniaja dalimi šiuo metu, matyt, susijusi su žmogaus veikla. *Antropogeniniai veiksniai, turintys ypatingą poveikį nuotėkio režimui*, būtų šie: a) vandens talpyklų įrengimas ir eksploatavimas, vagų tinklo performavimas, b) drėkinamoji žemdirbystė, c) tiesioginis vandens ėmimas iš baseinų ir grąžinimas nuotekų pavidalu, d) baseino paviršiaus pertvarkymas, keičiantis nuotėkio formavimosi ir garavimo režimą, e) meteorologines sąlygas veikiantys veiksniai (CO_2 koncentracijos didėjimas, paviršiaus albedo pokyčiai).

Didžiuliai *tvenkiniai* ar ištisos jų kaskados leidžia žmonėms kapitaliai reguliuoti sezoninį upių nuotėkio režimą. Dažnai jie būtent tam tikslui ir statomi (siekiama apsirūpinti vandeniu nuosėkio metu, užtikrinti laivininkystę ištisus metus ir pan.). Nors Kauno HE buvo ir kitu tikslu pastatyta, dabar miestui nebegresia anksčiau jį kas keleri metai užliedavę pavasario potvyniai. Apie tvenkinių poveikio ne tik upėms, bet visai

gamtei sistemai, visuotinumą rodo tokie 2000 metų situaciją apibūdinantys skaičiai: didesnių nei $0,1 \text{ km}^3$ tūrio tvenkinių bendras naudingasis tūris – 3950 km^3 (9,2% atsinaujinančiųjų Pasaulio vandens išteklių), o kai kuriuose regionuose (pavyzdžiui, Šiaurės Afrikoje) tvenkiniuose sukaupta daugiau nei pusė atsinaujinančiųjų regiono vandens išteklių. Upėms didžiulį poveikį tvenkiniai daro ir dėl iš jų išgaruojančio vandens (Pasaulio mastu jo išgaruoja 170 km^3 per metus). Kaip garavimas iš tvenkinių pasiskirsto įvairiuose žemynuose, galima matyti 7.1 lentelėje.

Upių vandens režimą visame Pasaulyje veikia *hidrografinio tinklo pertvarkomieji darbai*. Pastarasis veiksnys labiausiai susijęs su žemių sausimu bei drėkinimu, nors neretai upių tinklas keičiamas ir siekiant pagerinti laivybos sąlygas, sumažinti potvynių išplitimo galimybes, taip pat dėl teritorijų urbanizavimo. Todėl įvairaus masto baseino tinklo pokyčių galima atsekti visose žmonių tankiau gyvenamose teritorijose, nepriklausomai nuo jų klimatinės sąlygų ar ūkinio išsivystymo. Visuotinais pertvarkymais hidrografinis tinklas garsėja Kinijoje, Indijoje, Uzbekistane, Irane, Irake (būtent prie upių tose šalyse telkiasi dauguma gyventojų). Geras pavyzdys, kaip žmonės gali pakeisti bendrą baseino hidrografinio tinklo vaizdą savo reikmėms pritaikydami upes, gali būti Nevėžio baseinas. Nuo 1958 iki 1973 metų (laikotarpiu, kai Vidurio Lietuva buvo intensyviausiai melioruojama) šiame baseine visos trumpesnės nei 5 km ilgio upės santykinai

7.1 lentelė. Nuo dirbtinių tvenkinių (neskaitant patvenktų ežerų) paviršiaus išgaravusio vandens kiekis kai kuriuose žemynuose (pagal Rusijos valstybinio hidrologijos instituto 2000 m. duomenis)

		Afrika	Pietų Amerika	Australija	Azija	Europa	Pasaulis
Išgaravusio iš tvenkinių paviršiaus vandens kiekis	% bendro suvartoto kiekio	21	12,5	10,8	5,5	2,85	4,5
	% negrįžtamai suvartoto kiekio	33	26,3	22	14,3	6,9	8,6

pailgėjo 1,11 karto, o 5,1–10 km ilgio upės – 1,15 karto. Tuo tarpu 10,1–20 km ilgio upės tuo metu sutrumpėjo 0,90, o ilgesnės nei 20 km – 0,95 karto. Taigi trumpieji upeliai buvo paversti melioracijos kanalais juos pailginant (nukreipiant aukštupius sausinamų teritorijų link), o ilgesnės vandentėkmės – ištiesintos (bent jau aukštupiai). Pabrėžtina, kad hidrografinio tinklo pertvarkymas veikia ne tik vandens režimą. Tai tipiškas globalios kaitos (šiuo atveju veikiant antropogeniniams veiksniams) variantas, kartu keičiantis ir bendrą kraštovaizdžio struktūrą. Upėse dėl to ypač pakinta vaginiai procesai, nešmenų sudėtis, vandens hidrocheminės bei hidrofizinės savybės, vandens balanso elementų santykis.

Žemių drėkinimas turi itin didelį poveikį upių vandens kokybei – neišgaravusi ir augalų nesunaudota vandens dalis grįžta iš laukų į apytaką prisisotinusi trąšų, pesticidų ir kitokių kenksmingų medžiagų (kadangi drėkinamoji žemdirbystė labiausiai vystoma ekonomiškai atsilikusiuose regionuose, kur gamtosauginiai agrotechnikos reikalavimai nereguliuoti, čia naudojama daug išsivysčiusiose šalyse uždraustų chemikalų). Be to, drėkinimui aridinio klimato srityse iš upių dažnai paimamas toks tūris vandens, kad pasikeičia visos nuotėkio charakteristikos. Antai Pietų Azijoje sunaudojama 16%, o Artimuosiuose Rytuose ir Šiaurės Afrikoje – 20,1% visų atsinaujinančių vandens resursų.

Upių *baseinuose sutelkto vandens naudojimas* pramonėje, buityje, šilumos ūkyje ir panašiose srityse turi ypač didelį poveikį mažesnėms upėms. Poveikis įvairiuose regionuose skiriasi: išsivysčiusiuose kraštuose šis veiksnys labiau veikia hidrologines charakteristikas (į upes grąžinama žymiai didesnė dalis išvalytų nuotekų), o tebesivystančios ūkio struktūros šalyse nuo vandens paėmimo smarkiai priklauso upių vandens kokybė (nors naudojamo vandens dalis nuo

bendro upės debito nėra didelė, grąžinamos nuotekos – labai užterštos). Pavyzdžiui, Lietuvoje 2000 metais į paviršinio vandens telkinius buvo išleista 3525 mln. m³ nuotekų (kas sudaro 13,45% kasmet atsinaujinančiųjų Lietuvos vandens išteklių), iš kurių 3357 mln. m³ nereikia valyti. Iš 168 mln. m³ valytinų nuotekų, nevalytomis išleista tik 2% (3 mln. m³).

Vandens balansą bei ekstremalias nuotėkio reikšmes smarkiai keičia *baseino paviršiaus pertvarkymas*. Ariamų žemių, ganyklų bei pievų komplekso naudojimas, agrarinio komplekso komponentų santykis, miško kirtimas, jo rūšių sudėties mozaika, urbanizacijos lygis, dirvožemiai ir kiti kraštovaizdžio struktūros elementai kisdami pirmiausiai veikia nuotėkio formavimosi ir garavimo režimą. Į tai itin jautriai reaguoja mažesnės upės, nes jose azoniniai veiksniai lemia didžiąją vandens balanso daugiametės bei metinės sklaidos dalį.

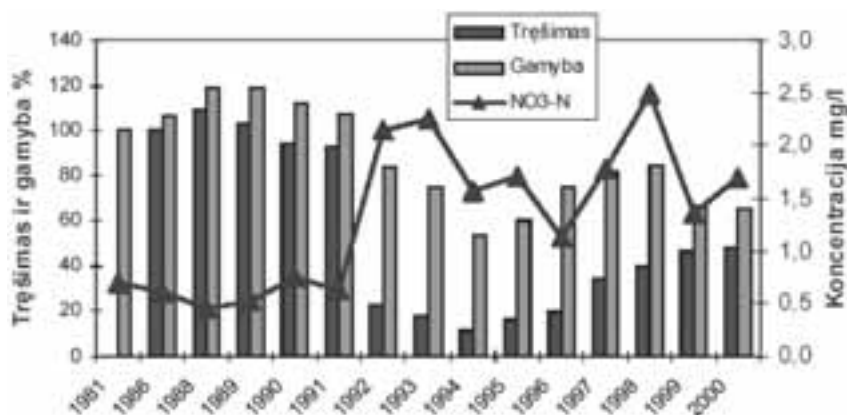
Aptariant *klimato kaitos poveikį* upių vandens balansui, resursams ir hidrologiniam režimui, tenka kalbėti apie abipusio poveikio galimybes. Mat dėl meteorologinių sąlygų pokyčio kintant vienos svarbiausių hidrosferos dedamųjų – upių tinklo – savybėms, atmosfera neabejotinai taip pat verčiama prisitaikyti prie naujų sąlygų. Patį klimato kaitos poveikį upėms būtų galima suskirstyti į kelias kategorijas pagal jų sukeliančius veiksnius bei (pirmiausia) poveikio visuotinumą. *Regioninius klimato sąlygų pokyčius* (tokio rango baseinuose kaip Jangdzė, Misisipė, Nilas ir pan.) šiuo metu dažniausiai sukelia žmonių veikla. Jie paprastai įvyksta dėl jau minėtų veiksnių: intensyvaus agrarinių žemių įsisavinimo bei naudojimo (sausinimo, drėkinimo, ganyklų plotų didinimo), urbanizacijos, bendro tvenkinių ploto baseine didinimo bei kitokio intensyvaus kraštovaizdžio keitimo. Dėl šių veiksnių poveikio keičiasi baseino paviršiaus albedas,

aerodinaminis šiurkštumas, garingumas, dirvožemio drėgnumas bei kitos savybės, keičiančios vandens balanso elementų santykį. Visa tai ypač paveikia upių nuotėkio pasiskirstymą per metus: regionuose, kuriems būdingos žiemos su sniego danga, dėl to sutrumpėja žiemos nuotėkio laikotarpis, paankstėja pavasario potvynio datos bei sumažėja patvinusios upės nuotėkio dalis.

Žemyninio lygmens klimato sąlygų pokyčiai taip pat sietini su antropogeniniu poveikiu. Juos sukelia pastaraisiais metais itin išaugęs negrįžtamai suvartojamo gėlo vandens kiekis. Tokia situacija globaliai pakeičia vandens apykaitą Pasaulio mastu: dėl to iškrinta daugiau kritulių ir formuojasi papildomi vandens ištekliai. Padidėjus nuotėkio normai upės dažnai ima keisti savo vagų padėtį, keičiasi baseinų ribos. *Globalūs klimato pokyčiai* dėl CO₂ koncentracijos didėjimo, papildomo šilumos kiekio, kurį gauna atmosfera, specifinių dujų (freonų, metano ir pan.) bei aerozolių kiekio atmosferoje augimo, šiuo metu irgi daugiausiai priklauso nuo žmonių veiklos. Jų vaidmuo upėms ryškėja Pasaulio mastu: kintant atmosferos cirkuliaciniams procesams bei kylant apatinio oro sluoksnio temperatūrai keičiasi Pasaulio vandens balansas (kritulių ir garavimo santykis), kartu upių nuotėkis. Šių veiksnių poveikis upėms įvairiuose regionuose skiriasi: gali ir didėti, ir mažėti vidutinis metinis nuotėkis, įvairiai keistis jo pasiskirstymas per metus. Su šiuo veiksmu iš dalies sietini pastarųjų metų ekstremalūs Europos upių poplūdžiai.

Kalbant apie *visuotinai juntamą poveikį upių terminiam ir ledo režimui*, be klimato kaitos (dėl oro ir grunto temperatūros pokyčių neabejotinai tiesiogiai veikiančios upių terminės savybės), būtų galima išskirti šiuos pagrindinius veiksnius: a) baseinų kraštovaizdžio struktūros pokyčiai, b) upių hidrografinio tinklo kaita, c) tvenkinių įrengimas, d) nuotekų išleidimas į upes. Baseino

kraštovaizdžio pakūčiams ypač jautrios miškingų rajonų upės, kur pagrindinis veiksnys, keičiantis terminius rodiklius, – miško plotų mažėjimas. Miškai baseino paviršiui savotiškai teikia nuolatinį pavėsį. Tai labai sumažina grunto, kartu ir vandens terminius ekstremumus, pailgina tarpinius metų sezonus vidutinėse platumose. Pavyzdžiui, nustatyta, kad po visiško miškų išnaikinimo baseine kai kuriose Oregono bei Šiaurės Karolinos valstijų nedidelėse upėse maksimalūs mėnesio vandens temperatūros vidurkiai pakilo net 6,7–7,8°C. Taip pat upių terminis režimas kinta įsisavinant naujas žemės ūkio kultūras, urbanizuojant teritorijas ir pan. Iš dalies šis poveikis vėlgi susijęs su baseino bei paupių grunto temperatūros pokyčiais, bet termiką keičia ir vandens balanso struktūros pasikeitimas (gruntinių vandenų dalies pokytis bendrame balanse). Hidrografinis tinklas keičia upių vandens temperatūrą pirmiausia tuomet, kai iškasama daug negilių paviršinio vandens maitinamų griovių. Paprastai jų nuolydis menkas, srovės greičiai maži, tad vanduo, baseine atsiradus daug kanalų, tampa gerokai šiltesnis ir jų maitinamose upėse. Labai stipriai terminį upių režimą veikia tvenkiniai. Kadangi tai – daugiausia stovintis vanduo, žemiau jų upėse pakinta terminio režimo struktūra. Tokie ruožai anksčiau įšyla bei atvėsta nei kita upės dalis, vasarą čia pasiekiami vandens temperatūros maksimumai. Užtvankos sutrikdo ir šių ruožų natūralų ledo režimą, kuris ima priklausyti nuo vandens išleidimo iš tvenkinio (kiekvieną kartą staiga išleidžiant didesnę vandens kiekį, susiformuoja potvynio banga, galinti suardyti ledo dangą; iš aukščiau neatplaukia stambių lyčių ir kt.). Išleidžiamų nuotekų temperatūra paprastai skiriasi nuo upės vandens temperatūros, tad poveikis šiuo atveju dažniausiai tiesioginis. Kita vertus, prisimintina, kad gali skirtis ir išleidžiamų nuotekų spalva, skaidrumas, cheminės savybės, dėl to



7.3 pav. Trešimo, žemės ūkio produkcijos gamybos ir nitratinio azoto koncentracijos dinamika žemės ūkio taršos veikiamose Lietuvos upėse (Šileika, 2001).

jomis praskiestas vanduo į standartines sąlygas gali reaguoti kitaip nei normalius rodiklius turintis vanduo.

Upių vaginius procesus bene labiausiai veikia vandens lygio ir krantų reguliavimas (tvenkinių, šliuzų, krantinių, polderių sistemų įrengimas) bei hidrografinio tinklo keitimas (nauji kanalai, vandens nuotėkio permetimo tarp baseinų sistemos ir pan.).

Upių hidrocheminį režimą globaliai veikia tarša. Ji bene didžiausia besivystančiose šalyse, kur jos ligi šiol nesureguliuoja aplinkosaugos įstatymai. Ypač stipri iš dirbamų laukų patenkanti medžiagų įtaka upių vandeniui baseinuose, kuriuose intensyviai vystomas žemės ūkis. Iš laukų į upes patenka ir jų vandens cheminę sudėtį bei biologinius procesus smarkiai veikia dideli kiekiai biogeninių ir organinių medžiagų. Pabrėžtina, kad šių medžiagų koncentracija vandenyje labiau susijusi ne su žemės ūkio produkcijos gamybos apimtimi, o su ūkio struktūra, tinkamu sutvarkymu bei aplinkosauga. Tai matyti 7.3 paveiksle: nors pagaminamos produkcijos apimtis ir ypač laukų trešimo mastai Lietuvoje nuo 1992 m. staiga sumažėjo, nitratų koncentracija upėse (pirmiausia dėl netinkamo organinių atliekų tvarkymo ir trešimo jomis bei žemės ūkio naudmenų struktūros

pokyčių) labai išaugo.

Lietuvoje tarp visų minėtų visuotinio poveikio upėms veiksmų bene intensyviausia buvo hidrografinio tinklo kaitos bei vandens taršos įtaka. Tai pagrindinės teršimo priežastys. Be žemės ūkio taršos, kai kur yra ir nemaža komunalinės bei pramoninės taršos apkrova. Pabrėžtina, kad tarša gali būti reguliuojama, tad Lietuvai sutvarkius aplinkosaugos normatyvus tikėtina, jog ši įtaka ateityje bus kur kas mažesnė. Poveikis hidrografiniam tinklui reguliuojamas daug sunkiau. Kad atsikurtų bent jau panašios į ankstesnes baseinų savybės, būtina pakeisti hidrografinio tinklo dalį natūralizuoti. Tai – gana sunki užduotis ir vien jau dėl to, kad dirbtinio tinklo dalis šalies hidrografiniame tinkle yra gana didelė. Todėl jos įtaka upių vandens balanso struktūrai, terminiam, hidrocheminiam bei hidrofiziniam režimui bus ilgalaikė. Manoma, kad dėl melioracijos bendras Lietuvos upių vagų ilgis padidėjo nuo 63,7 tūkst. km iki 76,8 tūkst. km (20,6%). Upių tinklo tankumas dėl to išaugo nuo 0,98 km/km² iki 1,18 km/km². Dėl tos pačios priežasties upių sumažėjo nuo 29,1 tūkst. iki 22,2 tūkst. (23,7%). Išskirtinio masto žmonių poveikį hidrografiniam tinklui atskleidžia šis įspūdingo dydžio santykis: reguliuotos upių vagos šiuo metu Lietuvoje sudaro 82,6%

bendro vagų ilgio, o natūralios – tik 17,4% (!). Taigi gamtinės sistemos prisitaikymas prie tokio didelio masto pokyčių truks ilgai. Be to, norint, kad prisitaikymo procesai nepakryptų nepageidaujama linkme, jos turės būti nuolat kontroliuojamos.

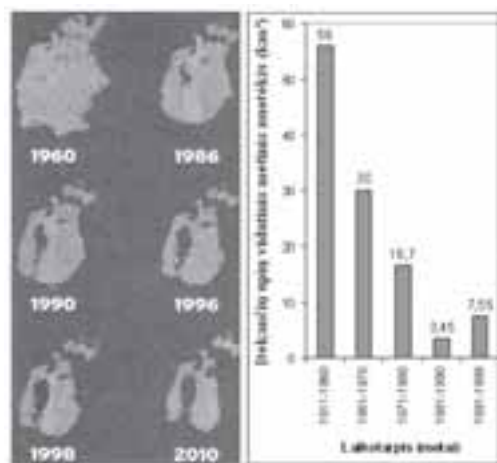
7.3. Globalios kaitos poveikis ežerams ir tvenkiniams

Ežerai buvo ta sausumos vandens objektų grandis, į kurių savotiškas reakcijas pirmiausiai – dar apie 1930–1950 m. – atkreiptas dėmesys. Čia „kalčiausia“ itin stambiai ir dažniausiai nenuotakių drėgmės stokos zonos ežerų (pvz., Kaspijos bei Aralo jūros) vandens lygio kaita. Kadangi daugumos tokio tipo ežerų pakrančių nuolydžiai yra nedideli, juose akivaizdžiai matyti net menkas vandens lygio pokytis (kranto linija toli atsitraukia). Todėl XX amžiaus pradžioje prasidėjęs Kaspijos lygio kritimas atkreipė tyrėjų dėmesį į šią problemą. Imti tyrinėti ir kiti stambūs nenuotakūs ežerai. Nustatyta, jog vandens lygis tuo metu krito daugumoje tokių centrinės Azijos dalies telkinių. Problemai spręsti buvo sukurta aibė projektų, įvairiais būdais turėjusių padėti sumažinti ar net visai sustabdyti vandens lygio slūgį (1980 m. Kaspijos jūroje nuo pagrindinės akvatorijos dalies atskirta Kara Bogaz Golo įlanka, sustabdyta kelių naujų Volgos tvenkinių statyba). Tai buvo bene pirma tokio masto programa, kur drąsiai prabilta apie visuotinę antropogeninį poveikį ežerų režimui ir būtinumą jį sustabdyti. Tiesa, vėliau paaiškėjo, kad dauguma nenuotakių ežerų – itin akivaizdūs klimato kaitos indikatoriai. Tad, esant normalioms sąlygoms, jų vandens lygis kinta sinusoide, t.y. jam būdingi pakankamai ilgi – dešimtmečių ar net šimtmečių trukmės – cikliški svyravimai. Pagrindinis šiuo atveju ežero lygį lemiantis veiksnys yra *drėgmės kie-*

kis baseine (kritulių ir garavimo santykis).

Tačiau prisimintina, jog ir cikliniai vandens lygio svyravimai gali turėti tam tikrą tendenciją: drėgmės kiekis, svyruodamas, gali po truputį didėti arba mažėti. O ši pokyčių sąvybė dažnai priklauso nuo mums pažįstamų globalios kaitos priežasčių. Faktiškai ežero vandens balansą bei lygį labiausiai veikia jo baseino vandens balanso pokyčiai. Dauguma pastaruosius pokyčius lemiančių priežasčių iš esmės tapačios upių baseinų balanso struktūrą ir nuotėkio režimą veikiantiems veiksniams (tvenkinių įrengimas, tinklo performavimas, žemių drėkinimas). Tiesa, šių veiksnių poveikio ežerams ar tvenkiniams galima pasiskirsto kiek kitaip nei upėms. Tai dažnai priklauso nuo ežero geografinio rajono. Daugelyje drėgmės stygiaus zonos ežerų tarp antropogeninių veiksnių, veikiančių vandens balansą bei lygį, į pirmąją vietą iškyla *vandens vartojimo baseine (ypač drėkinimui) problema*. Antai manoma, kad jau minėtame Aralo jūros baseine drėkinimo sistemos, ypač išsivysčiusios ir tikrai globalų poveikį telkinio režimui ėmusios daryti nuo 1960 m., lėmė apie 70% neįtikėtino vandens lygio bei druskingumo pokyčio (7.4 pav.). Ežero vandens lygis 1961–2000 m. laikotarpiu kasmet nukrisdavo vidutiniškai po 0,5 m, o ekstremaliais metais net 0,8 m (!). Nors žinoma, kad šis ežeras priklauso periodiškai išdžiūstančių vandens telkinių kategorijai, ir geologiniai bei geomorfologiniai duomenys liudija praeityje jį išdžiūvus iki dugno, visiškai aišku, jog tokia, natūraliomis sąlygomis ežerams nebūdinga, vandens lygio kaitos sparta – antropogeninių veiksnių poveikio atspindys.

Nedera pamiršti, kad stambiuose stovinčio vandens telkiniuose išryškėja nemenka įtaka tokių vandens balanso elementų, kurių poveikį lemia paties telkinio paviršiaus aktyvūs santykiai su atmosfera. Tai garavimas nuo vandens paviršiaus bei krituliai, iškrintantys tiesiai ant ežero ar tvenkinio



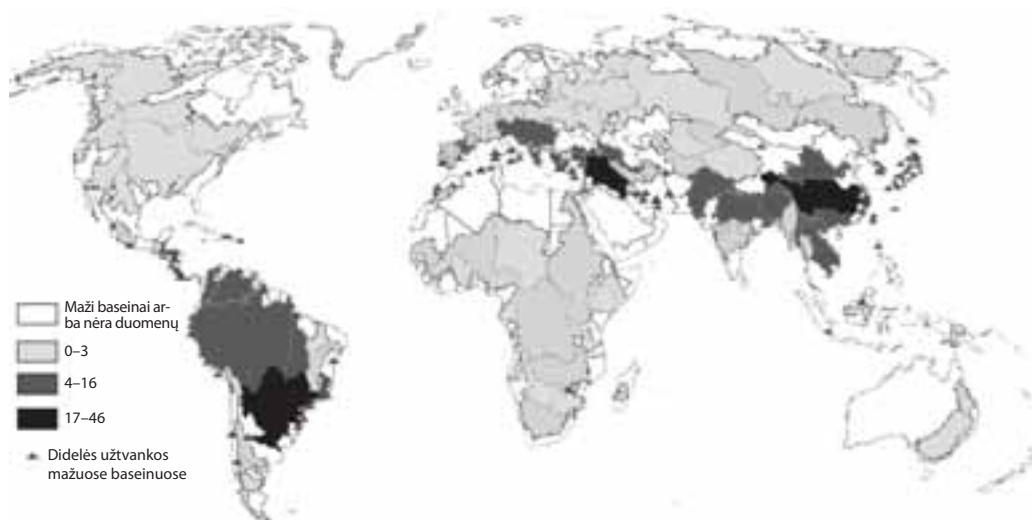
7.4 pav. Aralo jūros akvatorijos kontūrai įvairiais metais (kairėje) ir į ją įtekančių upių vidutinis metinis nuotėkis įvairiais laikotarpiais (dešinėje) (The Aral Sea Basin, 2005)

paviršiaus. Pastarosios dvi vandens balanso dedamosios jautriai reaguoja į klimato kaitą. Tačiau svarbiausia yra tai, kad dėl šių balanso elementų dydžio pokyčių tuoj pat pakinta ežero vandens lygis (šiuo atveju net nebūtina pasikeitusio vandens kiekio prietaka).

Be abejo, itin tiesmukai į poveikį reaguoja *patvenktų* ir *reguliuojamų ežerų* vandens lygis. Labiausiai pakinta vandens lygio reži-

mas ežeruose su užtvankų *reguliuojamomis* pralaidomis: ten žmogus gali nustatyti ežere norimą vandens lygį bet kada. Ežerai su nekintamo aukščio dambomis paprastai kiek pasitvenkia tik pradžioje – įrengus patvanką, vėliau režimas praktiškai sugrįžta į natūralias pozicijas. Faktiškai pirmosios kategorijos patvenkti ežerai virsta tvenkiniais, o antrosios išlieka ežerais, tik su patvenktomis ištakomis. Kiek Pasulyje tikraisiais tvenkiniais paversta ežerų, pasakyti neįmanoma (nėra visai tiksliai žinomas ir bendras ežerų skaičius Žemėje, bet neabejotina, kad jų skaičius vertinamas ne vienu milijonu). Tačiau poveikio mastui atskleisti, matyt, pakanka išvardyti kelių stambiausių patvenktų ir reguliuojamų ežerų pavadinimus: Baikalas, Ontarijas, Venernas, Viktorija, Vinipegas...

Nederėtų pamiršti, jog patvenkti ežerai sudaro gana menką (keliolika procentų vertinamą) *didžiųjų Pasaulio tvenkinių* dalį. Tuo tarpu prie upių, jūros įlankų, sausų daubų ir kitur įrengtų tvenkinių su aukštesnėmis nei 15 m užtvankomis šiuo metu įvairiuose žemynuose yra daugiau kaip 45 000 (beje, daugiau nei pusė jų – Kinijoje). Pastaraisiais metais ryškėja ypatingas tvenkinių regioninis



7.5 pav. Šiuo metu Pasulyje įrenginėjamų tvenkinių, kurių užtvankų aukštis viršys 60 m, skaičius įvairiuose baseinuose (Environmental..., 2003)

„persigrupavimas“, ir tai ryšku žvilgtelėjus į šiuo metu įrengiamų ypač didelių (virš 60 m aukščio užtvankomis išsiskiriančių) tvenkinių pasiskirstymo pagal baseinus žemėlapi (7.5 pav.). Dauguma šių galingų užtvankų, labai paveiksiančių viso baseino gamtinę aplinką, statoma itin intensyviai besivystančiuose regionuose: Pietryčių Azijoje, Pietų Amerikoje ir pan.

Įrengiant tvenkinius paprastai nesugebama atsižvelgti į visas ateities problemas, kurias jie gali sukelti ir kurių gali kilti juose. Viena iš sunkiausiai sprendžiamų užduočių – tvenkinio *krantų formavimosi ir dugno nuogulų klostymosi greičiai*, konkrečių kranto plovimo bei sąnašų kaupimosi vietų numatymas. Naujai suformuoto telkinio dubuo būna nestabilus, todėl šiek tiek kinta net normaliomis sąlygomis. Kaip papildomas krantų ir dugno performavimo veiksnys prie nestabilumo prisideda daugeliui tvenkinių būdingi gana dideli vandens lygio svyravimai. Dėl jų tvenkinių krantuose vyksta intensyvi abrazija, formuojasi klifai, nuplauta medžiaga srovių pernešama į ramesnes telkinio vietas, kur jis seklėja ir pan.

Prieš pradėdant aptarinėti *stovinčio vandens telkinių cheminės sudėties pokyčius*, dažnai siejamas su poveikiu jų vandens kokybei, norėtusi pažodžiui pacituoti K. Kilkų, suformulavusį bene teisingiausią vandens kokybės apibūdinimą. Pasak jo, „gamtoje nėra geros ar blogos kokybės vandens; visokios kokybės vanduo yra ekologiškai tikslingas, jis formuojasi kraštovaizdį ir pats jame formuojasi...“ (Kilkus, 2005). Ši formuluoatė ypač tinka ežerų ir tvenkinių vandeniui, kurio cheminės (kartu ir fizinės) savybės nuolat ir gana greitai kinta: galbūt tai, kas šiandien mums atrodo labai nekokybiška ir užteršta (tarkim, Kuršių marių pakrančių ar Kauno marių lagūnėlių vanduo žydėjimo metu), jau po keliolikos metų atrodys įprasta ir normalu.

Stovinčiame vandenyje, skirtingai nei upė-

se, iš baseino patenkančių cheminių medžiagų kiekį bei pasiskirstymą lemia keli esminiai veiksniai: pratakumo lygis, trofinis lygmuo, telkinio vandens išsimaišymo galimybės. Ežeruose, lyginant su upėmis, labai išauga biologinio veiksnio vaidmuo cheminių medžiagų įsisavinimui. Tarp biogeninių medžiagų (ypač fosforo) kiekio vandenyje ir ežero fitoplanktono biomasės dažniausiai egzistuoja itin glaudus ryšys. Tačiau kai peržengiama tam tikra biogenų, susikaupiančių stovinčio vandens telkinyje, riba, ežere arba tvenkinyje prasideda procesas, vadinamas antropogenine eutrofikacija. Šiaip jau, eutrofikacija – natūralus, visiems ežerams būdingas iš lėto vykstantis procesas, po truputį (kas keli šimtmečiai ar tūkstantmečiai) keičiantis ežero trofinį lygmenį (oligotrofija → mezotrofija → eutrofija). Natūralios eutrofikacijos greitis priklauso nuo patenkančių į ežerą biogenų (fosfatų) kiekio, ežero dydžio (vandens tūrio) bei temperatūros. Jei nėra vienas šių rodiklių pernelyg smarkiai nekinta, limnosistemos bioprodukcijos kiekis priklauso nuo savireguliacinių procesų. Antropogeninė eutrofikacija dažniausiai prasideda staiga, mūsų sąlygomis – dažniausiai į ežerą ar tvenkinį atkeliaujančiuose nuotekose susidarius azoto ir fosforo koncentracijos santykiui 1:7. Tuomet vandens telkinio trofinio lygmens keitimosi etapas neretai trunka ne tūkstantį, o vos 20–30 metų. Itin padažnėja vadinamasis vandens žydėjimas, labai sumažėja skaidrumas. Nėra abejonių, kad pašalinių veiksmų veikiami greičiau eutrofikuoja mažo tūrio vandens telkiniai. Tipiškas eutrofikauto vandens telkinio pavyzdys – Kuršių marios. Tačiau antropogeninė eutrofikacija paveikė ir didžiausius Pasaulio ežerus: Erio ežeras buvo vienas tų telkinių, kuriuose apie 1970 m. prasidėjus ryškiems pokyčiams imta „skambinti varpais“. Šiuo metu visais būdais mėginama pristabdyti Ladogos ežere įsibėgėjusį eutrofikacijos procesą.

Globalios kaitos atspindys ežeruose yra ir

priešingas eutrofikacijai procesas – oligotrofikacija, arba vandens rūgštėjimas. Pastarąjį lemia žmonių poveikis atmosferai: deginimo produktų, tarp kurių nemenką dalį sudaro SO_2 , išskyrimas. Išskritusios su krituliais ar tiesiog perneštos ir nusėdusios ant Žemės paviršiaus šios dalelės, iš baseinų atplukdytos į ežerus, jų vandenį gali nemenkai parūgštinti. Rūgštus vanduo linkęs kauptis ežeruose, kurie gauna nemenką kiekį rūgštesnių nei paprastai kritulių bei yra išsidėstę rajonuose su palyginti plona dirvožemio danga (Kanada, Švedija ir pan.). Ten rūgštėjimo nepristabdo dirvoje esantys karbonatai.

Netikėtai pažeidus ežero bioproductyvumo balansą ir pradėjus rūgštėti vandeniui ar prasidėjus antropogeninei eutrofikacijai, galima mėginti ežerą rektivuoti. Dažniau rektivuojami eutrofiniai ežerai, tad esminės priemonės būtų šios: pašalinti papildomų maisto medžiagų šaltinius, o jei to nepakanka – mėginti taikyti aeraciją, fiksuoti fosforą dugno nuosėdose arba jį adsorbuoti, dugno nuosėdas izoliuoti nuo ežero vandens masės smėliu arba išsiurbti.

Minėta antropogeninė eutrofikacija yra ir viena svarbesnių stovinčio vandens fizinų savybių nenatūralios kaitos priežasčių. Šiuo atveju pirmiausiai paveikiamos ežero ar tvenkinio optinės savybės (skaidrumas bei spalva), nuo kurių nemenka dalimi priklauso jų vandens temperatūros pasiskirstymo pagal gylį specifika, terminio maišymosi režimas ir pan. Tokioms vandens savybėms, kaip dinamika, visuotinė poveikį turi tvenkinių užtvankos: nuleidžiant arba – atvirkščiai – sulaikant didesnę vandens kiekį per santykinai trumpą laikotarpį galima išjudinti nemenkus jo sluoksnius, sukelti sroves, specifinę bangavimą. Ežeruose bangavimas iš šalies veikiamas tik plaukiojančių laivų, kas tarp fizinų savybių tikrai nepalyginama su optinių bei terminių rodiklių kaita.

Aktyvi stovinčio vandens telkinių reak-

cijos į klimato kaitą išraiška – jų užšalimo bei nuledėjimo datų kaita pastaruosius kelis šimtmečius. Šią reakciją atsekti lengviau nei bendrą terminių rodiklių pokytį, nes ledo dangos susidarymo ir kitokių ledo reiškinių datos ežeruose stebimos gana seniai (joms registruoti nereikėjo jokios aparatūros). Manoma, kad lyginant su XIX a. viduriu mūsų dienomis didelių Šiaurės pusrutulio ežerų užšalimo datos vidutiniškai vėluoja daugiau nei 6 paras, o nuledėjimas paankstėjo daugiau nei 5 paras.

Dauguma įvairių genetinių tipų ežerų (tektoniniai, ledyniniai) telkšo seniai vykusių procesų suformuotuose duburiuose. Tokie ežerai praktiškai tegali tik senti: dubeniui iš lėto prisipildant nuogulų bei vykstant natūraliai ar nenatūraliai eutrofikacijai ežeras pamažu virsta sausuma. Nelabai didelių atsinaujinimo galimybių turi nebent lagūniniai, karstiniai, upiniai ir, žinoma, dirbtiniai ežerai. Visa tai čia minima norint pabrėžti kartu su intensyviu žemių įsisavinimu Pasaulyje prasidėjusius ežerų struktūros pokyčius. Kol kas jie vyksta tik itin tankiai žmonių gyvenamuose rajonuose, ypač miestuose, ir apima arba ežerėlius, arba paskiras ežero dubens ar kranto dalis (daugelis miestuose telkšančių ežerų – išvalyti, su pertvarkytomis pakrantėmis). Tačiau neabejotina, kad ateityje ežerus bus imta „perdirbinėti“ visur, kur tik prireiks. Tai liudija ir tūkstančiais skaičiuojami mažesni už 0,5 ha dirbtiniai ežeriukai Lietuvoje, kurių skaičius bei išsidėstymo vietos pastaraisiais metais labai smarkiai kinta (nesugebėjus įsigyti žemės sklypo prie natūralaus ežero, neretai savam sklype įsirengiamas dirbtinis).

7.4. Visuotinė kaita ir pelkės

Pelkės, balos bei drėgnos žemės (kraštovaizdžio elementai, kurių visuma neretai vadinama šlapynėmis) – vieni pirmųjų sausumos vandens objektų, pajutusių aktyvų vi-

suotinės klimato kaitos poveikį. Įtaka šiems objektams yra tiek tiesioginė, tiek netiesioginė; juos veikia ir gamtiniai, ir antropogeniniai veiksniai. Be to, poveikis pelkėms bei į jas panašioms vandens objektams žymiai intensyvesnis nei upėms ar ežerams. Tai susiję su keliomis priežastimis:

- sekumu;
- jokioms kitoms analogiškos zonos teritorijoms nebūdingais dirvožemiais;
- itin specifinėmis augalų bendrijomis, būdingomis šlapynėms.

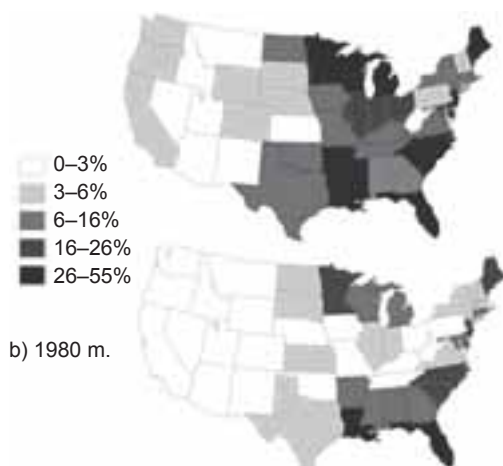
Dėl pirmosios priežasties pelkė ar pelkėtas dirvožemis labai greitai pakinta net labai nežymiai (keliasdešimt centimetrų) nusausinus teritoriją ar ilgesnį laiką (keliolika metų) iškritus mažesniame už ankstesnį vidurkį kritulių kiekiui. Išskirtiniai, tik pelkėms būdingi dirvožemiai (antroji intensyvaus poveikio priežastis) dažnai patrauklūs ekonomine prasme. Daugelyje Pasaulio rajonų (ypač tokiuose, kur dauguma dirvų – menko derlingumo) šiuos dirvožemius (Lietuvoje tai – durpiniai, glėjiniai, aliuviniai) mėginama vienaip ar kitaip eksploatuoti. Ši eksploatacija susijusi ir su jų sausiniu, ir su tiesioginiu įsisavinimu (panaudojant juos drėgmę mėgstančių augalų, pavyzdžiui, ryžių, auginimui), ir su naudingųjų iškasenų (durpių, aliuvinių nuogulų) gavyba. Trečioji priežastis dažnai yra svarbiausia tarp neleidžiančių daugumai šlapynių atsikurti renatūralizavus sąlygas. Antai Lietuvoje nusausintos pelkės vietoje užaugus beržnui, vargu ar galima tikėtis, jog vėl įmirkus šio slėnio žemei čia pamatysime tipišką pelkę.

Visos minėtosios priežastys XX amžiuje globaliai pakeitė pelkių tinklą visame Pasulyje. Ypač ryškūs pokyčiai tankiai gyvenamose teritorijose, kuriose vystoma aktyvi augalininkystė. Mūsų klimato zonoje pagrindiniais veiksniais, sumažinusiais pelkių bei šlapžemių plotus, neabejotinai laikytini

žemių melioravimas bei durpynų eksploatavimas.

Melioracija intensyvios žemdirbystės teritorijose – būtina, be jos būtų neįmanoma pasiekti bent jau minimalaus žemės ūkio efektyvumo kultivuojant kai kurias augalų rūšis (kaip žinia, nemenka dalimi žemės ūkis ir taip yra papildomai finansuojamas). Net apie 90% visos Lietuvos žemės ūkio produkcijos šiandien pagaminama melioruotose žemėse. Kaip jau minėta apie upes, žemių sausinimas iš esmės pakeitė Europos bei Šiaurės Amerikos kraštovaizdžio struktūrą. Beje, melioracija su sausiniu tapatinama tik rajonuose, išsiskiriančiuose drėgmės pertekliumi, kitur gi melioracija visiškai teisėtai vadinamas žemių drėkinimas. Pelkių sausinimas smarkiai paveikė du dalykus: a) į upių bei ežerų vandenis nedideliais upeliukais bei kanalais atitekančio vandens cheminę sudėtį; b) likusių nemelioruotų pelkių (iš dalies ir upių bei ežerų) vandens balanso elementų santykį. Pelkės bei nuolat įmirkusios žemės buvo savotiškas natūralus biocheminis filtras, stabdęs kenksmingų medžiagų patekimą į ežerus, upes bei gilesnius vandens sluoksnius.

Po melioracijos smarkiai sumažėjus šlapynių plotams vandens natūralus valymasis sutriko. Maža to, užteršto vandens dar padaugėjo, mat jo kiekį pirmiausiai lemia intensyviai augalininkystei naudojamų laukų plotai. Vandens balansą labiausiai paveikė dirbtinai pakeista dirvožemių struktūra bei suintensyvėjus erozijai padidėjusi šlaitinio nuotėkio dalis. Anksčiau (iki intensyvios melioracijos laikotarpio) šlaitinis nuotėkis būdavo būdingas tik itin stačių šlaitų slėniams, o po žemių nusausinimo erozija išplito net ir lygumų ariamuose laukuose. Tokioje santykinai lygaus reljefo šalyje kaip Belgija, kuri, be kita ko, išsiskiria ypač griežtais ekologiniais reikalavimais žemdirbiams bei melioratoriams, aktyvi erozija apėmusi apie 10% visų nusau-



b) 1980 m.

7.6 pav. Pelkėtumo pokytis JAV teritorijoje per intensyvaus žemių įsisavinimo laikotarpį: a) pelkėtumas (%) įvairiose valstijose 1780 metais, b) pelkėtumas (%) įvairiose valstijose 1980 metais (Dahl, 1990).

sintų dirbamų žemių. Nustatyta, kad šlaitinė erozija (o su ja ir didėjanti šlaitinio nuotėkio dalis vandens balanse) ypač vystosi ariant laukus šlaito nuolydžio kryptimi.

Melioracijos poveikio pelkėms bei drėgnoms žemėms globalumą gana gerai atspindi 7.6 paveikslas. Jame parodyta, kaip pasikeitė JAV teritorijos pelkėtumas per laikotarpį nuo 1780 iki 1980 metų. Tamsi spalva, žymėjusi itin pelkėtas teritorijas žemėlapyje, smarkiai „išbluko“, o valstijose, kur pelkių tebuvo vos keli ar keliolika procentų, šios spalvos praktiškai neliko. Beje, šis pavyzdys rodo ir melioracijos, kaip vieno labiausiai sausumos vandenų sistemą veikiančių šalutinių veiksnių, poveikio ilgalaikiškumą. Šio veiksnio įtaka pelkėms intensyvios agrarinės veiklos rajonuose ėmė ryškėti jau prieš kelis tūkstančius metų, o pastaruosius kelis šimtmečius (pavyzdžiui, Europoje – nuo XVI a.) ji ypač suaktyvėjo. Neabejotina, kad tarp globalių poveikį sausumos vandens objektams turinčių antropogeninių veiksnių ilgiausia trukme išsiskiria melioracija.

Prieš 10–15 metų atrodė, kad pelkėse susikaupusių naudingųjų iškasenų (mūsų sąly-

gomis – pirmiausia durpių) eksploatavimas ir su juo susijusios problemos būdingos labiau atsilikusiems kraštams. Dalyje Europos šalių (tarp jų ir Lietuvoje) naujų durpynų įsisavinimas buvo uždraustas. Tačiau pastaraisiais metais durpės imtos traktuoti kaip papildomi kuro ištekliai (anksčiau jos dažniausiai naudotos laukams tręšti), todėl net tokiose šalyse, kaip Airija ir Vokietija, durpynai eksploatuojami gana intensyviai. Daugiausiai durpynų eksploatuojama Rusijoje ir Ukrainoje. Įsisavinus naujas durpių kasimo technologijas galima eksploatuoti didelius durpynus, vėliau juos renatūralizuoti ir atkurti pelkei būdingą vandens režimą. Lietuvoje šiuo metu eksploatuojama apie 30 durpynų. Viena iš didžiausių problemų eksploatuojant durpynus – jų degimas: pažeidus pelkės vandens balansą (prieš eksploataciją durpynas nusausinamas) perdžiūvusios durpės lengvai užsidega, o jas užgesinti – itin sudėtinga. Antai vien laikotarpiu nuo 2006-06-01 iki 2006-08-31 Lietuvoje degė apie 57 ha durpynų.

Kalbant apie bendras šlapynių nykimo Pasaulyje tendencijas, būtina pabrėžti staigų šių teritorijų ploto sumažėjimą XX a. Ypač pelkių ribos susiaurėjo antroje minėtojo amžiaus pusėje. Neabejotina, jog tai pirmiausiai lėmė aukščiau tekste aptarti antropogeniniai veiksniai: ėmus naudoti naują galingą techniką tiek melioracija, tiek iškasenų eksploatavimas plėtėsi nepalyginamai didesniais mastais. Kita vertus, kadangi pelkės labiausiai nyko dėl žmonių veiklos, jų tinklas išliko praktiškai nepakitęs retai gyvenamuose rajonuose. Tą iš dalies atspindi ir 7.2 lentelėje pateikti duomenys (vos 2% išnykusių šlapynių Afrikoje bei 6% – Pietų Amerikoje). Tai pasakytina ir apie tundros zonos pelkes: šioje labai dideliu pelkėtumu išsiskiriančioje kraštovaizdžio juostoje šlapynių plotas praktiškai nesumažėjo.

Lietuvoje technikos pažanga vėlavo, tad pelkėtų teritorijų įsisavinimo bumas buvo

7.2 lentelė. Išnykusi pelkių dalis Pasaulio regionuose ir konkretūs pavyzdžiai (jei nenurodytas laikotarpis ir konkretus šlapynių tipas, kalbama apie bendrą šlapynių išnykimo procentą per visą jų įsisavinimo laikotarpį) (Larsen, 2001).

Regionas	Išnykusių šlapynių dalis (%)	Konkretus rajonas ir apytikslė prarastų šlapynių dalis (%)
Afrika	2	Tugelos baseinas (Pietų Afrika): >90% šlapynių baseino dalyje
Australija ir Okeanija	70	Naujoji Zelandija: 90% natūralių pelkynų; Pietryčių Australija: 89% šlapynių
Azija	27	Izraelis: 100% pelkių; Singapūras: 97% mangrovinių šlapynių; Vakarų Malaizija: 71% pelkių
Europa	60	Šveicarija: 95% pelkynų nudrenuota ir įsisavinta; Lenkija: >90% didžiųjų pelkių; Prancūzija: 85% iš 78 didžiausių pelkių nusausta 1960–1990 m.
Pietų Amerika	6	Kaukos upės slėnis (Kolumbija): 88% pelkynų išnaikinta 1950–1980 m. melioruojant ir įsisavinant žemes
Šiaurės Amerika	60	Kanada: nuo teritorijos kolonizavimo pradžios išnaikinta 65% Atlanto priekrančių pelkynų, 70% Didžiųjų Ežerų regiono pelkių, nusausta apie 71% drėgnų prerijų daubų ir 80% Ramiojo vandenyno estuarijų šlapynių; JAV: daugiau kaip 50% šlapynių; Meksika: 35% šlapynių

praeito šimtmečio septintajame – aštuntajame dešimtmėčiuose. Iki masinės melioracijos pradžios pernelyg drėgnos žemės užėmė daugiau kaip pusę mūsų šalies teritorijos. Šiuo metu pelkės (su storesniu nei 0,3 m durpių sluoksniu) užima apie 0,48 mln. ha, arba 7,3% šalies ploto. Dar 0,31 mln. ha (4,8% Lietuvos teritorijos) užima supelkėjusios žemės (durpių sluoksnis iki 0,3 m). Dėl atliktos melioracijos Lietuvoje beveik visai išnyko nedurpingos bei ploną durpių sluoksnį turėjusios šlapynės. Bendras pelkių plotas po didžiosios melioracijos darbų iki 1985 m. Lietuvoje sumažėjo perpus. Antropogeniniai veiksniai iš dalies pakeitė Lietuvos pelkių struktūrą: ypač sumažėjo vidutinio dydžio pelkių (didžiųjų iš pradžių neapsimokėjo eksploatuoti, o vėliau jas imta saugoti). Tarp išlikusių pelkių vyrauja nedidelės (<50 ha) pelkės, tarp kurių 71% sudaro žemapelkės ir 22% – aukštapelkės. Pabrėžtina, jog dėl melioracijos pasikeitus vandens balanso elementų santykiui, daugiau nei 80% didesniųjų pelkių Lietuvoje šiuo metu degraduoja: durpės jose mineralizuojasi sparčiau nei jų spėja susikaupti.

Be tiesioginės žmogaus veiklos, pelkes

paveikė ir *klimato kaita*. Pirmiausiai šis poveikis išryškėjo upių ir ežerų pakrantėse bei deltų rajonuose išsidėsčiusiose pelkėse, kur trūksta drėgmės. Dėl visuotinės klimato kaitos daug kur sumažėjo kritulių kiekis, tad teritorijų, jaučiančių drėgmės trūkumą, plotai didėja, dažnai okupuodami buvusių šlapynių sritis. Tipiška tokio dalinio dykumėjimo situacija galima būtų pavadinti Kaspijos jūros intakų deltų kraštovaizdžio struktūros pokyčius per paskutinį XX a. trisdešimtmetį. Kai kuriose iš jų (pavyzdžiui: Uralo, Tereko, Sulako, Kuros upių deltose) per šį laikotarpį šlapių žemių procentas sumažėjo daugiau nei per pusę.

7.5. Klimato kaitos poveikis ledynams

Sausumos ledynai visada buvo labai svarbūs klimato kaitos indikatoriai. Būdami atmosferinės kilmės judria ledo mase jie faktiškai yra reljefo ir klimato sąveikos produktas. Sausumos ledynai linkę kauptis virš sniego linijos, kurią grubiai galima apibūdinti kaip aukštį, virš kurio metinis kietųjų

kritulių kiekis yra didesnis už jų netektį (tirtimą bei garavimą). Neabejotina, jog ji nėra pastovi įvairiuose rajonuose (priklauso nuo oro temperatūros ir kritulių kiekio vidutinių reikšmių, būdingų klimato zonai), taip pat kinta laike (per paskutinį šimtmetį Europoje, Azijoje ir Šiaurės Amerikoje beveik nuosekliai ji aukštėjo). Todėl šilto klimato juostose ledynai aptinkami tik ypač aukštų kalnų viršūnėse (kai kuriuose Pietų Amerikos regionuose sniego linijos aukštis – 6400 m), o Grenlandijoje bei Antarktidoje ledas dengia Žemės paviršių ties vandens horizontu. Be to, ledynai dėl savo svorio deformuojasi ir slenka žemyn. Tad jau vien ši ledynų formavimosi schema rodo jų priklausomybę nuo klimato sąlygų: pakitus oro temperatūrai arba kritulių kiekiui, gana staigiai keičiasi ir ledyno dydis.

Kita vertus, ledynai ir patys gali stipriai veikti Žemės klimatą. Pagal poveikio klimatui stiprumą jie, ko gero, būtų antri po vandenynų. Kad taip yra, pakaktų priminti, jog sausumos ledynai dengia 10,9% Žemės paviršiaus ir sudaro net 67,98% visų Pasaulio gėlo vandens resursų. Be to, šiuo metu ledynų apimtis nepalyginama su jų buvusiu plotu bei išalusio vandens tūriu didžiaisiais ledynmečiais. Pradėjus (kad ir labai iš lėto) augti ledynų plotui, gerokai pakinta teritorijos albedas, kas dar paskatina klimato vėsimą. Be abejo, šis poveikis priklauso nuo ledyno struktūros, jo išsidėstymo, dydžio, ledo spalvos ir kitų savybių.

Sausumos ledynų išvardytos ypatybės rodo, kad ledynai klasifikuojami labai įvairiai. Skirtingą reakciją į klimato rodiklių kaitą bei tolesnį poveikį maitinamoms upėms ir gretimai gamtinei aplinkai bene geriausiai apibūdina ledynų klasifikacija pagal išsidėstymą. Joje skiriami šie pagrindiniai ledynų tipai: kalnų šlaitų, slėniniai, kalnų viršūnių ir sudėtingieji ledynai. Į klimato pokyčius bene greičiausiai reaguoja kalnų viršūnių ledynai

ir slėniniai ledynai pietiniuose kalnų šlaituose. Tokio tipo ledynų parametų pokyčiams dažnai būdingas daugiameis cikliškumas, tačiau Šiaurės pusrutulyje paskutinius tris keturis dešimtmečius nemenka dalis tokių kalnų ledynų nuosekliai mažėjo. Daugumos tyrinėtojų nuomone, tai neginčijamas visuotinio klimato šiltėjimo įrodymas. Kai kurie Šiaurės Amerikos ledynai nyksta jau apie 150 metų (7.7 pav.).

Analogiška kalnų ledynų kaita nustatyta ir kituose regionuose: Kanadoje, Kinijoje, Kirgizijoje, Peru. Detaliais ledynų tyrimais Tadžikistane nustatyta, kad kintant klimatui šios šalies kalnų masyvuose XX a. ledo sumažėjo daugiau nei 20 km³. Ypač greitai tirpsta labai maži (<1 km²) kalnų ledynai. Manoma, jog vidutinei oro temperatūrai pakilus apie 2°C, Centrinės Azijos kalnuose išnyks tūkstančiai mažų ledynų, bendras ledynų plotas regione sumažės maždaug 20%, o juose sukaupto ledo tūris – iki 25–30%. Kadangi visos regiono upės – ledyninio maitinimo, tokie pokyčiai sukeltų katastrofinį upių metinio (ypač žiemos) nuotėkio sumažėjimą. Didesnius ledynus, ypač vidutinio klimato juostoje, visuotinė oro temperatūros kaita veikia silpniau.



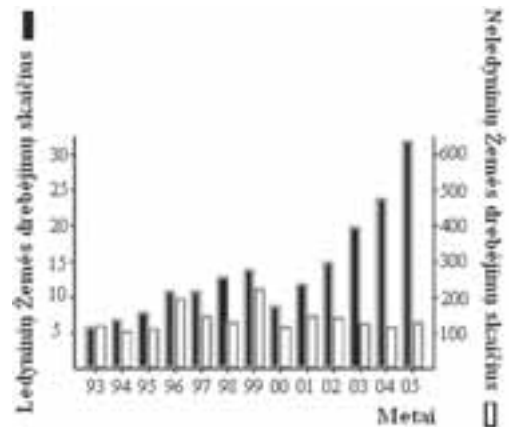
7.7 pav. Sperry ledyno (Ledynų nacionalinis parkas, Montana, JAV) ploto kaita nuo 1850 iki 1993 metų (Glaquier..., 2000)

Įvairių tipų ledynai skiriasi storiu, mase bei temperatūra. Todėl skirtinga ir jų reakcija į atmosferos veiksmus. Net to paties tipo ledynų sąveika su klimatu gali labai skirtis įvairiose srityse. Antai dauguma tiek Arkties, tiek Antarkties ledynų priskiriami tai pačiai sudėtingųjų žemyninių ledynų kategorijai. Tačiau nustatyta, jog Grenlandijos ledynai pastaraisiais dešimtmečiais labiau suaktyvėjo nei Antarktidos. Nuo jų atskyla daug daugiau ledkalnių nei nuo Pietų ašigalio ledo skydo. Manoma, kad tokia Grenlandijos ledynų skilinėjimo priežastis – klimato šiltėjimas. Į klausimą, kodėl analogiškai nereaguoja ir Antarktidos ledynai, kol kas dauguma nagrinėjančių šią problemą tyrėjų atsako, jog taip yra dėl to, kad pastarieji išsidėstę daug žemesnėje temperatūroje, ir juos mažiau veikia visuotinis klimato šiltėjimas.

Kalbant apie ledynų skirtingą tirpsmą įvairiuose regionuose, pabrėžtina, kad šiuo metu tikrai neabejojama tikrai kalnų ledynų tirpimu. Antarkties bei Grenlandijos ledynų, palyginti su kalnų ledynais, tirpsmas nepaspartėjo. Tai tikrai svarbus veiksnys atsižvelgiant į ledo masės pasiskirstymą Žemėje: 90% jos sukaupta Antarktidos ledynuose, apie 9% – Grenlandijoje ir tik 1% – kalnų bei smulkesnių salų ledynuose. Todėl ypač pavojingas būtų ledo intensyvesnis tirpimas Grenlandijoje arba Antarktidoje – dėl to imtų itin staigiai kilti *Pasaulio vandenyno vandens lygis*. Nustatyta, kad jau per XX a. vandens lygis Pasaulio vandenyne pakilo apie 15 cm. Numatoma, kad lygis per XXI a. pakils nuo 30 cm iki 1 m, tačiau tokia tendencija laikytųsi tik tuo atveju, jei ateityje nepasidėtų spartus Grenlandijos ar Antarktidos žemyninių ledynų tirpsmas. Nes ištirpus vien Grenlandijos ledo dangai vandenyno vandens lygis pakiltų 7,5 m (!).

Į Grenlandijos ledynuose vykstančius procesus yra atkreipę dėmesį ir kitų sričių tyrinėtojai. Šių ledynų suaktyvėjimas gali

sukelti dar vieną, galimas dalykas, gana aktualią, ateities problemą: ledyninės kilmės Žemės drebėjimus. Nuo žemyninio ledyno atskylant ledkalniui arba įvykstant staigiam ledo dangos lūžiui, kada didelės ledo masės pasislenka viena kitos atžvilgiu, fiksuojamas seisminis smūgis. Dauguma jų būdavo nestiprūs, todėl jais, nors apie tokios kilmės Žemės drebėjimus seniai turėta informacijos, pernelyg nesidomėta. Tačiau pastaraisiais metais paaiškėjo, jog jau keleri metai Šiaurės pusrutulio ledynuose (ypač Grenlandijoje) fiksuojami sustiprėję seisminiai smūgiai, kuriuos seismologai pagal kilmę priskirdavę požeminiams (7.8 pav.). Manytina, jog ateityje, klimato kaitai tebevykstant pagal analogišką scenarijų, gali susidaryti netgi ypač stiprių ir pavojingų seisminių smūgių, kuriuos sukels ledynų struktūros permainos. Jau šiuo metu kai kurių tokių smūgių stiprumas siekia 5 balus pagal Richterio skalę: tokiems Žemės drebėjimams sukelti pakanka, kad 100 m storio ir 50 km² ledo luistas staiga smukteltų žemyn dešimt metrų.



7.8 pav. 1993–2005 metais Grenlandijoje įvykusių ledyninės ir neledyninės kilmės Žemės drebėjimų skaičius (Kostel, Bradt, 2006)

Kalnų ledynai tirpdami daugiau problemų sukelia ne dėl vandenyno lygio kilimo, bet dėl pasikeitusio jų maitinamų upių re-

žimo. Daugelis upių nebetenka pagrindinio mitybos šaltinio, nes nutirpus ledyno kraštams, suformuotiems iš sniego ir firno, daugelyje aptirpusių ledynų lieka kietos ledo masės centrinė dalis. Ji vėlai pradeda tirpti, vandens tiekia daug mažiau nei normaliomis sąlygomis, todėl gerokai pailgėja šių ledynų maitinamų upių nuosėdio laikotarpis. Dažnai smarkiai aptirpusio ledyno tirpsmo vanduo nebespėja pasiekti upės, jei ledynas guli pakankamai giliame dubenyje (taip dažnai atsitinka vulkanų kūgių, paskirų gilių liežuvių guolio atšakų ledynams). Upių režimo pokyčiai neretai sužadina grandininę reakciją – priekalnių rajonuose išdžiūsta dirvos paviršius (daugelis upių dažnai maitina drėkinimo sistemas), kyla sausros, per kurias vėjas birių tapusio grunto daleles neša kalnų link. Taip ledynai apdulkėja.

Ledynų paviršiaus apdulkėjimas pastaraisiais metais – itin rimtas veiksnys, veikiantis ledynų vandens balansą bei spartinantis jų tirpsmą. Šis poveikis itin stiprus ledynams, išsidėsčiusiems netoli dykumų (ypač Pamyro ir kitų Centrinės Azijos regionų kalnynų ledynams). Be gamtinės kilmės dulkių, ledynus teršia ir dirbtinės kilmės kietieji aerozoliai. Nuo pastarųjų labiausiai nukenčia ledynai tuose rajonuose, kur nusėda daug iš pramoninių regionų perneštų teršalų (šiuo metu labiausiai teršiami ledynai Kinijos teritorijoje).

Rajonuose, kur oro temperatūros metinis vidurkis neigiamas, bet stinga kritulių, pūso ne ledynai, bet aptinkamas seniai susiformavęs Žemės paviršių sukaustęs *ilgalaikis įšalas*. Savo savybėmis ir sukaupto vandens kiekiu jis negali konkuruoti su ledynais, nors ir užima didžiules Šiaurės pusrutulio teritorijas (pavyzdžiui, 65% Rusijos ploto). Tačiau ilgalaikiam įšalui būdinga viena specifinė atsakomoji reakcija į klimato šiltėjimo efektą, dėl kurios jis įgyja ypač saugotino objekto (ar, tiksliau tariant, zonos) statusą. Ilgalai-

kiame įšale būna sukaupta ir natūraliai, ir dėl taršos atsiradusių nespėjusių iki galo suirti organinių nuogulų, kurios jam tirpstant irdamos išskiria į atmosferą šiltnamio efektą sukeliančių junginių. Todėl atšylant gruntui šiose srityse kyla tarsi kažkas panašaus į silpną grandininę reakciją, veikiančią klimato šiltėjimą. Pastaraisiais metais padidėjęs ilgalaikio įšalo zonos užterštumas grėsmingas ir tuo, jog, jam atitirpus visuotiniu mastu, bus užterštas upių bei ežerų baseinų vanduo.

7.6. Globalios kaitos reikšmė požeminio vandens ištekliais ir būklei

Požeminis vanduo yra viena svarbiausių sausumos vandens dalių, nes: 1) sudaro apie 30% Žemės gėlo vandens atsargų, 2) didžioji jo dalis, lyginant su kitais sausumos vandenų tipais, iki šiol yra mažiausiai užteršta, 3) jis dažniausiai be papildomo apdorojimo tinkamas gerti, 4) jo (skirtingame gylyje) yra visame Pasaulyje.

Ilgą laiką manyta, jog vos ne visas gėlas požeminis vanduo skirtinas atsinaujinančiųjų išteklių kategorijai, nes jo apykaita yra palyginti lėta ir subalansuota. Deja, pastaraisiais metais paaiškėjo, jog požeminio (pirmiausiai arčiau paviršiaus esančio) vandens atsargos taipogi globaliai senka. Maža to, tai problema, kuri ateityje nebus lengvai ir greitai išsprendžiama net ir upių vandens valymu ar ežerų renovacija. Įsidėmėtina, jog požeminis vanduo – tai ne tik lietaus suformuotas grūntinis vanduo. Jį sudaro ir nuogulų vanduo, susiformavęs geologinėje praeityje, kurio apykaita gali trukti šimtus tūkstančių metų (taigi dabar Pasaulyje dažnai eksploatuojami vandens sluoksniai, suformuoti pleistoceno ledynmečiu, prieš keliolika ar keliasdešimt tūkstančių metų). Tokio vandens išteklių dabartinė žmonija negali ne tik atnaujinti,

bet kol kas nežino ir metodų jam išvalyti, jei būtų užterštas (o taršos atvejų jau pasitaiko). Nors apie atsikuriančias bei neatsinaujinančias gėlo požeminio vandens atsargas ir jų santykį daug diskutuojama, vis dažniau prieinama prie išvados, kad dalis gėlo požeminio vandens, išgaunamas iš giliai slūgsančių vandeningųjų sluoksnių, neatsinaujina.

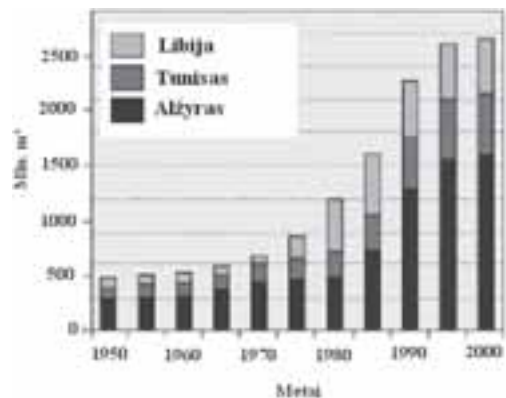
Nepaisant menkų požeminio vandens atsinaujinimo galimybių, senuose pramonės regionuose jis *ilgą laiką intensyviai eksploatuotas*. Šiandien daugiausiai problemų kelia požeminiuose klotuose telkšančio vandens balanso pažeidimai. Didesnį poveikį požeminiam vandeniui galima tiesiogiai sieti su dviem pagrindiniais globaliosios kaitos „arcliukais“: žmonių populiacijos augimu ir urbanizacija. Šio vandens balansas ypač pažeistas stambiose pramoninėse šalyse: JAV, Jungtinėje Karalystėje, Prancūzijoje. Pastaraisiais metais didelių pažeidimų atskleidžiama anksčiau menkai tyrinėtose Kinijos, Indijos, Rusijos didžiųjų miestų priemiesčių rajonuose. Ilgai eksploatuojant požemio vandens sluoksnius didmiestyje, vandens lygis juose pradeda kristi net tuo atveju, jei jis skirtinas atsinaujinančiųjų vandenų kategorijai. Kaip matyti 7.9 paveiksle, per maždaug 120 metų Čikagos apylinkėse požeminio vandens lygis nukrito daugiau nei 800 pėdų (mums priimtinesniais matavimo vienetais, tai daugiau nei 240 m). Taigi slūgis tikrai išpūdingas. Žinant, kad šalia telkšo didžiulis Mičigano ežeras, kurio vidutinis vandens lygis per tą patį laikotarpį svyravo vos 1–1,5 metro, netenka abejoti, kad pagrindinė šio požeminio vandens atsargų išsekimo priežastis buvo jo eksploatavimas.

Toks slūgis sukelia papildomų problemų vartotojams: a) krintant vandens lygiui brangsta jo siurbimas, b) tenka dažnai koreguoti siurblio antgalio gylį, c) nuolat mažėja išgaunamo vandens debitas. Tad dažniausiai tokiais atvejais ieškoma vietų naujoms van-

denvietėms, taikomos vis modernesnės vandens siurbimo technologijos, plečiamas eksploatacinis arealas, vanduo išgaunamas (ir atitinkamai sudaromos sąlygos jam užsiteršti) vis naujuose rajonuose. Kaip suvartojamo požeminio vandens kiekis susijęs su techninėmis bei finansinėmis šalies galimybėmis, matyti 7.10 paveiksle. Maždaug iki 1970 m.



7.9 pav. Požeminio vandens lygio nuosmukis (pėdomis) Čikagos ir Miluokio apylinkėse (JAV) nuo 1864 iki 1980 metų (Ground..., 2003)



7.10 pav. Požeminio vandens gavybos augimas Šiaurės vakarų Sacharos vandeninguosiuose sluoksniuose (Mamou, 2006)

santykinai nedaug požeminio vandens atsargų eksploatavusios Šiaurės Afrikos šalys vėliau (dėl išsiplėtusios naudingųjų iškasenų gavybos bei išaugusio turistinio potencialo gerokai praturtėjusios) ėmė didinti vandens gavybą. Atsižvelgiant į tai, jog šiame regione požeminio vandens ištekliai neatsinaujina, vis didėjanti vandens gavyba daug kur Pasaulyje gali sukelti rimtų nepageidaujamų pasekmių: požeminio vandens balanso pažeidimas, bendro vandens lygio visuotinis kritimas didžiuliuose plotuose, paviršinio vandens nuotėkio sumažėjimas. Tokio tipo vandens resursų naudojimas ir jau ryškėjanti jo stoka kelia netgi karinių konfliktų grėsmę. Faktiškai būtent dėl vandens (oficialiai to neviešindami) savo laiku jau yra kovoję Izraelis ir Palestina bei turėjusios politinių konfliktų daugelis kitų Artimųjų Rytų šalių.

Dėl lėtos apykaitos *tarša* didžiojoje Pasaulio dalyje kol kas apėmusi tik viršutinius požeminio vandens sluoksnius (formuojamus kritulių bei dažnai turinčius gana aktyvių hidraulinių ryšių su paviršiniais vandens telkiniais). Pagrindinės viršutinių vandens sluoksnių užterštumą didinančios priežastys šiuo metu yra: 1) žemės ūkio veikla (tręšimas šalia upių, ežerų, pelkių ir sausų daubų, per kurias vėliau vandeniu maitinami požeminiai sluoksniai, bei gyvulininkystės ir paukštininkystės pramonės neišvalytų atliekų išleidimas į paviršinio vandens telkinius); 2) komunalinės ir pramonės nuotekos (išleidžiamos į paviršiaus vandens telkinius). Iš lėto filtruodamiesi pro dirvožemio bei grunto sluoksnį šie teršalai gruntinį vandenį pasiekia jau gerokai pakitę. Požemio vandenyje (ne konkrečiuose šuliniuose ar gręžiniuose, o jo sluoksnyje) paprastai nebūna biologinio užterštumo, tačiau į jį patenka nemažai cheminių junginių. Žemės ūkio tarša visame Pasaulyje labiausiai keičia biogeninių medžiagų kiekį. Intensyvios žemdirbystės regionuose taip pat pakinta deguonies kie-

kis požeminiame vandenyje. Ilgalaikė tarša sutrikdo virš požeminio vandens sluoksnio esančio grunto ir dirvožemio biocheminės filtracinės savybes. Todėl ilgai dirbamuose laukuose, seniai urbanizuotose teritorijose ir panašiuose rajonuose į gruntinį vandenį lengviau prasiskverbia medžiagos, kurias paprastai sulaiko gruntas (taip padidėja vandens užteršimo galimybės). *Gilesnių sluoksnių požeminio vandens tarša* paprastai yra lokali ir dažniausiai galima šiose situacijose: 1) esant pakankamai gilioms neeksploatuojamoms ir tinkamai netvarkomoms šachtoms, nebeveikiantiems gręžtiniais šuliniais ir panašioms objektams, per kuriuos gali prasiskverbti užteršto vandens; 2) pernelyg intensyviai dirbančiuose gręžiniuose (išgaunantčiuose nebūtinai vandenį), per kuriuos tiek tiesiogiai, tiek netiesiogiai (kintant vandens lygiui bei paviršiaus grunto santykiniam aukščiui) įnešama daugiau nei įprastinėmis sąlygomis pašalinės medžiagos; 3) laidojant giliuose sluoksniuose atliekas.

Požemio vandenį veikia ir *dirvožemio filtracinės gebos pokyčiai*. Pastaruosius dažniausiai sukelia kraštovaizdžio struktūros kaita. Labiausiai išsiskiria du veiksniai: miško kirtimas ir žemės dirbimas. Iškirtus mišką (ypač rajonuose, kur vyrauja natūralūs, anksčiau niekada plynai nekirsti miškai), didžioji dalis kritulių patenka tiesiai ant Žemės paviršiaus. Jų nebesulaiko medžių laja, tad paviršių gali pasiekti ir stiprios liūtys. Jei iškirsti miško plotai buvo pakankamai reti (tai būdinga sausringų regionų miškams) ar juo labiau jei iškirstas miško plotas suariamas, prasideda dirvožemio erozija. Iš dirvožemio išplaunamos, kartais vėjo išnešamos smulkios dalelės. Dėl to paviršinis vanduo greičiau įsisunkia iki požeminio vandens sluoksnio. Kartu tai labai padidina požeminio vandens užteršimo galimybes. Beveik analogiški procesai būdingi tais atvejais, kai Žemės paviršių staiga pradedama žymiai intensyviau

dirbti nei iki tol. Ypač jautrios erozijai žemės ūkiui naujai įsisavintos žemės. Antai nustatyta, jog įsisavinant Kazachstano plėšinius buvo pažeista ne tik netoli nuo paviršiaus (keliolikos metrų gylyje) esančių požeminio vandens horizontų cheminė sudėtis, bet pakito net kelių šimtų metrų gylyje telkšančio požeminio vandens hidrocheminės savybės.

Tiesiogiai įvertinti *klimato kaitos* poveikį požemio vandens ištekliais – sunku. Neabejotina, kad regionuose, kur pastaraisiais metais kritulių mažėja, gerokai sumenkėjo gruntinio vandens maitinimas (kartu ir jo atsargos). Gilesnius požeminio vandens sluoksnius klimato kaita labiausiai veikia per dykumėjimo procesus. Regionuose, kur šie procesai intensyvūs, bendri požeminio vandens ištekliai mažėja.

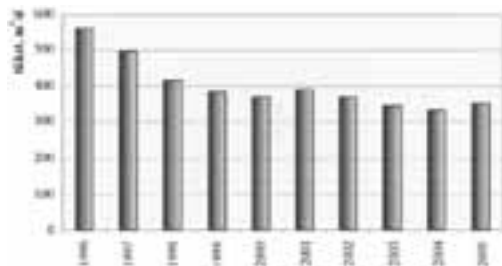
Nagrinėjant požeminio vandens *kiekio* pokyčius (nepriklausomai nuo jų priežasčių), *Lietuvą* šiuo metu galima vertinti kaip nuo bendrų visuotinių tendencijų besiskiriančią regioną. Ištirta, kad dėl klimato pokyčių Lietuvoje per pastaruosius 20 metų (didėjančio kritulių kiekio bei kylančios oro temperatūros) gruntinio vandens režimas pakito. Anksčiau gruntinio vandens atsargos pasipildydavo tik pavasarį ir rudenį. Šiandien, sušvelnėjus žiemoms ir dėl pagausėjusių kritulių sumažėjus garavimo įtakai, šios atsargos kaupiamos praktiškai ištisus metus. Tačiau tai turi ne tik teigiamą poveikį (gausėja požeminio vandens ištekliai): į gruntinį vandenį, ypač vasarą, patenka daugiau teršalų, susijusių su laukų tręsimu, transporto tinklo keliama tarša ir pan.

Kalbant apie požeminio vandens kiekio kaitą Lietuvoje dėl jo vartojimo, pirmiausia būtina pabrėžti du dalykus. Pirma, Lietuva – vos ne vienintelė Europos šalis, centrinio vandens tiekimo sistemą aprūpinanti vien požeminiu vandeniu. Antra, šiuo metu didžiuosiuose Lietuvos miestuose naudojama tik apie 40% išžvalgytųjų požeminio vandens

išteklį. Be to, dėl nepakankamo dėmesio higienai (lyginant su ES šalimis senbuvėmis, Lietuvos gyventojai suvartoja apie 1,5–2 kartus mažiau vandens) ir itin didelio dėmesio taupymui, požeminio vandens eksploatavimas miestų vandenvietėse dėl nemažų mokesčių už vandenį jau beveik du dešimtmečius nuolat mažėja (7.11 pav.). Šioks toks vartojimo stabilizavimasis įžvelgiamas tik pastaruosius kelerius metus.

Tad tiesioginis požeminio vandens kiekio sumažėjimas Lietuvai kol kas negresia. Tačiau gali sumažėti švaraus požeminio vandens atsargos. Nors iki šiol mūsų šalyje gilesnių sluoksnių vanduo nėra užterštas, būtina atsižvelgti į tai, jog taršos poveikis jam išryškėja per itin ilgą laiko tarpą. Tad ateityje galima tikėtis dabartinių požeminio vandens išteklį kokybės pokyčio. Juo labiau kad apie 20% vandens mūsų miestuose išgaunama iš vandeningų taršai jautrių sąnašinių nuogulų klodų. Dėl tokio tipo grunto, dažniausiai aptinkamo prie daugumos Lietuvos vandenviečių, susidaro savotiškas cikliškas vandens naudojimo procesas: atviros gelmės, iš jų išsiurbus vandens, vėl jo prisipildo, o prisipildymo intensyvumas priklauso nuo vartojimo intensyvumo. Didžiausia šio „ciklo“ problema yra ta, kad su maitinančiais vandenimis gali patekti ir taršos produktų, taigi šio vandens tarša priklauso nuo paimamo vandens kiekio. Todėl labai svarbu laikytis vandenviečių sanitarinės apsaugos reikalavimų. Ypač vandens kokybė gali nukentėti tais atvejais, kai stingant požeminio vandens, vandenvietės papildomos upių vandeniu. Šiuo metu Lietuvoje stengiamasi to nedaryti, nors anksčiau dirbtinis papildymas buvo vykdomas kai kurių miestų vandenvietėse. Lengviau nei kitur tarša gali pasiekti kaimiškųjų rajonų bei mažų miestelių vandenvietes: čia paprastai imamas negilių sluoksnių vanduo, todėl šioms vandenvietėms pavojingiausia išsklaidytoji tarša (pir-

miausiai susijusi su žemės ūkiu). Pramoninė tarša iš konkrečių objektų susidaro pramonės centruose (Jonavoje, Vilniuje). Poveikio kai kurioms vandenvietėms gali turėti upių vanduo. Tai pasakytina apie pasienio zonos miestus prie stambių upių, dažniausiai plukdančių per Lietuvą kaimynių šalių užterštą vandenį (pavyzdys – Druskininkai).



7.11 pav. Požeminio vandens gavybos Lietuvos vandenvietėse 1996–2005 m. kaita Lietuvos geologijos tarnybos 2006 m. duomenimis.

Nagrinėjant Lietuvos požeminio vandens kokybės kaitą, reiktų šiuo aspektu atskirai aptarti gruntinį ir gilesnių sluoksnių vandenį. Gilesnių sluoksnių vandens kokybė Lietuvoje beveik nepakito, tuo tarpu gruntinio vandens užterštumas, ypač intensyvios žemdirbystės rajonuose, per pastaruosius 3–4 dešimtmečius labai padidėjo. Vietomis vandens užterštumo ribos net ima viršyti leidžiamas higienos normas. Iškalbūs šie faktai: nitratais užteršta apie 60% Lietuvos kastinių šulinių vandens. O tokį vandenį dabar geria ir vartoja kitokiems poreikiams apie 700–800 tūkstančių šalies gyventojų. Užteršto vandens kol kas išvalyti neįmanoma. Tačiau galima mėginti pristabdyti jo taršą. Žinant, kad ji pirmiausiai susijusi su žemės ūkiu, bū-

tina laikytis galiojančių normų laukuose ir fermose atliekamais darbams.

7.7. Globalios kaitos sukeltų sausumos vandenų pokyčių raida ir prognozės

Visų tipų sausumos vandenys dėl klimato kaitos ir antropogeninės veiklos sukkelto efekto *intensyviausiai kito XX–XXI a. laikotarpiu*. Poveikio stiprumas vandens objektams (vandens kiekiui, kokybei arba režimui) priklausė nuo jų sukelusios priežasties.

7.3 lentelėje pateikiami duomenys apie vandens suvartojimą bei jo prognozė 1900–2025 metams. Kaip matyti, tiek realūs, tiek prognozuoti duomenys nuolat auga, nes vandens suvartojimas pirmiausiai susijęs su žmonių skaičiumi, kuris taip pat be perstojo didėja. Atkreiptinas dėmesys į dar vieną dalyką: nuo 60% iki 80% bendro suvartojamo vandens kiekio sudaro žemės ūkyje panaudojamas vanduo. Be to, būtent žemės ūkyje panaudojamas vanduo sudaro didžiausią negrįžtamai suvartoto vandens dalį.

Atsižvelgiant į tokį vandens vartojimo pasiskirstymą, kur kas lengviau suvokti ir poveikio vandens objektams skirtingumus. Nors bendras didžiųjų Pasaulio *upių nuotėkis* XX a. praktiškai nepakito, o kai kurie pavyzdžiai (La Plata, Orinokas) rodo netgi jo didėjimo tendenciją, nuotėkio pasiskirstymas per metus keičiasi. Taip pat ryškiai pasikeitė aktyvesnės žmonių veiklos rajonuose daugumos tekančių upių vandens kokybė. Remiantis 7.3 lentelės duomenimis galima teigti, kad maždaug iki 1970 m. didžioji dalis

7.3 lentelė. Sunaudojamo vandens kiekiai (km^3/metus) Pasaulyje įvairiais metais bei jų prognozė (Shiklomanov, 2006)

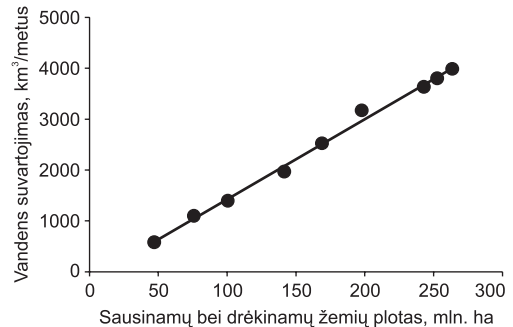
Metai	1900	1940	1950	1960	1970	1980	1990	1995	2000	2010	2025
Bendras panaudoto vandens kiekis	579	1088	1382	1968	2526	3175	3633	3788	3973	4431	5235
Negrįžtamai suvartotas vanduo	331	617	768	1086	1341	1686	1982	2074	2182	2399	2764

suvartojamo vandens grįždavo į paviršinius sausumos vandenį (pirmiausiai į upes) beveik neišvalytas. Situacija buvo kiek pagerėjusi 1980–1990 metais, kai santykinai daug vandens buvo suvartojama Šiaurės Amerikos, Europos, Australijos regionuose. Juose neblogai funkcionuoja vandens valymo sistema, todėl nemažai vandens grįždavo į apytakos sistemą pakankamai geros būklės. Vėliau į „priekį“ pagal suvartojamo vandens kiekį išsiveržė Azija (Kinija, Indija, Centrinės Azijos šalys) bei Afrika, tad situacija vėl ėmė blogėti. Daugiau nukentėjo mažesnės upės (daugelis jų sujungtos su irigacinių kanalų sistemomis): pakitus balanso struktūrai jų nuotėkis smarkiai sumažėjo. Tai ypač būdinga drėgmės stokojančių zonų vandentėkmėms. Visų upių nuotėkio pokyčiai itin sustiprėjo XX a. antroje pusėje.

Ežerams ir pelkėms vandens vartojimo poveikis pirmiausiai išryškėjo per upes. Pastarųjų vandenį ėmus naudoti aktyviau, dalis jo ėmė nebepasiekti žiočių (dažniausiai ežerų ar įvairaus tipo šlapynių) arba atvirkščiai – pakeitus versmių vietą vanduo ištekėdavo iš ežero ar pelkės. Labai smarkiai ežerus ir pelkes paveikė ne tik bendras vandens kiekio pokytis juos maitinusiose upėse, bet šių upių vandens režimo pakitimai. Stovinčio vandens telkinys, „įpratęs“ gauti didžiąją dalį maitinančiojo nuotėkio pavasarį, staiga pradėjęs gauti „maitinimą“ vasarą ar rudenį, dažniausiai nesugeba subalansuoti savo režimo, pasikeičia hidrofizinės charakteristikos, nuo kurių priklauso garavimas, apledėjimo data, biologiniai rodikliai. Taip dažnai susiformuoja „uždaras ratas“, kai ežero ar pelkės sutrikęs vandens balansas gali sukelti pavojingus ekosistemos bei vandens resursų sistemos pokyčius. Didžiausi pokyčiai ežeruose bei pelkėse, atsižvelgiant į ką tik apibūdintą grandininę reakciją, susiję su irigacija – sausinimo bei drėkinimo sistemų įrengimu. Pastarieji darbai ypač suintensyvėjo apie

1960 metus. Maždaug nuo to laiko intensyviai kinta ir ežerų vandens kokybė. Pabrėžtina, kad ežerų ir pelkių vandens lygio, režimo ir kokybės pokyčių priežastis dažnai sunku atsekti: klimato kaita ir žmonių ūkinė veikla čia dažnai veikia išvien.

Koreliacijos koeficientai tarp kai kurių regionų bendro suvartojamo vandens kiekio ir *požeminio vandens* tūrio pokyčių siekia apie 0,8. Tad požeminį vandenį galima laikyti labiausiai tiesiogiai nuo vartojimo priklausomu sausumos vandenų tipu. Su vartojamu vandens kiekiu glaudžiai susijęs ir požeminio vandens kokybės blogėjimas. Tačiau šiuo atveju poveikio schema kiek kitokia – jis netiesioginis. Vandens vartojimo didėjimas atspindi dirbamų (ypač drėkinamų) plotų įsisavinimą (7.12 pav.), o pastariesiems plečiantis didėja žemės ūkio keliama tarša. Nuo šios taršos apkrovos labiausiai nukentčia negilių požeminio vandens sluoksnių kokybė.



7.12 pav. Vandens suvartojimo (km^3 per metus) priklausomybė nuo sausinamų bei drėkinamų žemės ūkio teritorijų (mln. ha) (Review..., 2005)

Kalbant apie *klimato kaitos poveikį* sausumos vandens objektams, pirmiausia būtina pabrėžti, kad globaliu mastu šiltnamio efektas bei kiti, matyt, antropogeninės veiklos sukelti, klimato rodiklių pokyčiai pradėjo juos veikti žymiai vėliau. Natūralus klimato rodiklių svyravimas visada buvo aktyvus vandens telkinius veikiantis veiksnys, tačiau klimato kaitos suintensyvėjimas dėl žmogaus

veiklos išryškėjo tik apie septintąjį – aštuntąjį XX a. dešimtmečius. Be to, reikėjo dar kelio dešimt metų, kol jo poveikis išryškėjo vandens telkiniams. Dabar visuotinės klimato kaitos įtaka vandenims vis auga, ir ateityje, jei klimato kaitos modeliai pasitvirtins, būtent ji taps svarbiausiu vandens sistemos pokyčius sukeliančiu veiksniu. Klimato kaitos poveikis pavojingesnis, nes problemos, sukeltos antropogeninių faktorių tiesiogiai, bent jau iš dalies yra išsprendžiamos, tuo tarpu kaip išspręsti daugumą klimato kaitos problemų kol kas siūlo tik pusiau mistiniai projektai.

Kol kas klimato pokyčiai labiausiai veikia vandens kiekį, o ne jo kokybę. Beje, greičiau ir jautriau į pasikeitusius klimato rodiklius reaguoja: 1) maži sausumos vandens telkiniai, 2) vandens telkiniai, išsiskiriantys režimo stabilumu (ledynai, pelkės, ežerai, grūntinis vanduo). Ateityje galimas klimato kaitos poveikis vandens kokybei. Beje, šis poveikis, anot kai kurių prognozių, būsiąs visuotinis ir apimsiąs visų tipų sausumos vandens telkinius. Tai vėlgi sumažins bendrus vandens išteklius.

Tad ateities prognozės, kalbant apie sausumos vandens objektus, – gana liūdnos. Jos grindžiamos „dvigubo efekto“ principu: vandens atsargos mažės ir kokybė blogės, o suvartojamo vandens apimtys nuolat augs. Tai lems ir antropogeniniai veiksniai, ir klimato kaita. Iš antropogeninių veiksnių ir toliau (bent jau iki XXI a. vidurio) turėtų pirmauti žemės ūkis – jame bus suvartojama daugiau vandens. Kartu tai skatins irigacinių sis-

temų plėtrą. Tokios prognozės turi pagrindą, nes didėja žmonių skaičius, ypač Afrikoje bei Azijoje – regionuose, kur dauguma gyventojų artimiausius 50 (ar net 100) metų versis žemdirbyste. Daugėjant Žemės gyventojų, nuolat didės ir suvartojamo vandens kiekis. Ši situacija ypač vaizdžiai pateikta 7.4 lentelėje, parodančioje, kokia dalis Pasaulio gyventojų dabar stokoja vandens ir koks bus vandens stygius ateityje. Manoma, jog žmogų tenkinančiomis vandens atsargomis laikytinos tokios, kai jis turi galimybę suvartoti 1700 m³ vandens per metus. Palyginimui: vienam Lietuvos gyventojui per metus (skaičiuojant analogiška metodika) turėtų tekti maždaug 7000 m³ vandens.

Kalbant apie Lietuvą, galima pasidžiaugti, kad artimiausius 50 metų geriamojo ir kitaip vartojamo vandens nepritrūks. Keisti geriamojo vandens išgavimo bei miestų aprūpinimo juo principų nėra tikslo. Didesnių problemų kils kaime. Ten jau artimiausiu metu reikia pereiti prie gręžtinių šulinių sistemų, nes kastiniuose šuliniuose vanduo gali tapti net nuodingu. Apskritai išskirtinis dėmesys visuose telkiniuose Lietuvoje turėtų būti skiriamas vandens kokybei. Suvartojamo vandens kiekis, net kapitaliai keičiantis ūkio struktūrai, ypatingai nesikeitė, tačiau kokybės kaitos tendencijos (į blogąją pusę) išryškėjo nuo pat patikimesnių tyrimų pradžios. Vandens kokybės prastėjimas suaktyvino daugelio Lietuvos ežerų eutrofikacijos procesus. Vidurio Lietuvos upės tapo netinkamos maudymuisi, be to, jose neliko ne-

7.4 lentelė. Dabartinis ir prognozuojamas vandens atsargų, tenkančių vienam gyventojui, pasiskirstymas (Revenga, 2000)

Vandens atsargos (m ³), per metus tenkančios vienam gyventojui	Gyventojų skaičius 1995 m.		Gyventojų skaičius 2025 m.	
	milijonais	%	milijonais	%
< 500	1077	19,0	1783	24,5
500–1000	587	10,4	624	8,6
1000–1700	669	11,8	1077	14,8
> 1700	3091	54,6	3494	48,0
Nežinomos	241	4,2	296	4,0

menkos dalies anksčiau ten gyvenusių žuvų rūšių. Kol kas statomi valymo įrenginiai problemos neišsprendžia, tad pirmiausia, matyt, būtina mažinti išsklaidytą taršą.

Žymiai daugiau problemų Lietuvoje gali kilti dėl vandens telkinių energetinių bei rekreacinių resursų panaudojimo. Kol kas aiški koncepcija šioje srityje nesuformuluota, tad galima tikėtis, jog būtent dėl ežerų pakrančių bei ant upių statomų elektros jėgainių ateityje kils socialinių ir politinių konfliktų. Be to, dvi didžiausios Lietuvos upės – Nemunas ir Neris atiteka iš politiniu ir ekonominiu atžvilgiu išsiskiriančios Baltarusijos. Bet kurios jėgainės įrengimas, rimtesnis užteršimas ar avarija, pavyzdžiui, Vileikos mariose, sukeltų Lietuvai rimtų problemų. Todėl būtent netiesioginė savo vandenų priežiūra būtų svarbiausias Lietuvai ateities uždavinys.

Literatūra

- Dahl T. E. (1990). Wetland Losses in the United States: 1780's to 1980's. *U.S. Fish and Wildlife Service*. Washington. DC: 21.
- Environmental Stories to Watch in 2003* (2003). World Resources Institute. <http://www.wri.org/>
- Gailiusis B., Jablonskis J., Kovalenkoviėnė M. (2001). *Lietuvos upės. Hidrografija ir nuotėkis*. Kaunas.
- Glacier Retreat in Glacier National Park* (2000). US Geological Survey. Science for a Changing World, Montana. http://www.nrmcs.usgs.gov/research/glacier_retreat.htm
- Gleick P. H. (1996). Water Resources. *Encyclopedia of Climate and Weather* 2, 817–823. <http://ga.water.usgs.gov/edu/waterdistribution.html>
- Ground-Water Depletion Across the Nation (2003). US Geological Survey fact sheet, <http://pubs.usgs.gov/fs/fs-103-03/>
- Human Interventions in the Hydrological Cycle*. (1999). European Environmental Agency <http://reports.eea.europa.eu/92-9167-030-8/en>
- Kilkus K. (1998). *Lietuvos vandenų geografija*. Vilnius.
- Kilkus K. (2005). *Ežerotyra*. Vilnius.
- Kostel K., Bradt S. (2006). *Glacial Earthquakes Point to Rising Temperatures in Greenland*. www.ldeo.columbia.edu
- Larsen J. (2001). Wetlands Decline. *Vital Signs* 2001. <http://uregina.ca/piwowarj/geog326>
- Lietuvos požeminės hidrosferos monitoringas* 2005 (2006). Lietuvos geologijos tarnyba. Vilnius.
- Lietuvos upių vandens kokybės metraštis, 2001 m.* (2001). Lietuvos Respublikos Aplinkos ministerija. Vilnius.
- Magnuson J. J. et al. (2000). Historical Trends in Lake and River Ice Cover in the Northern Hemisphere, *Science* 289, 1743–1746.
- Mamou A., Besbes M., Abdous B., Latrech D. J., Fez-zani C. (2006) North Western Sahara Aquifer System. *Non-Renewable Ground Water Resources*. <http://unesdoc.unesco.org/images/0014/001469/146997E.pdf>
- Revenga C. (2000). *Will There be Enough Water?* <http://earthtrends.wri.org/features/view>
- Revenga C., Brunner J., Henninger N., Kassem K., Payne R. (2000). *Pilot Analysis of Global Ecosystems: Freshwater Systems*. http://www.wri.org/wr2000/freshwater_page.html
- Review of Agricultural Water Use per Country* (2005). Food and Agriculture Organization. http://www.fao.org/landandwater/aglw/aquastat/water_use/index.stm
- Review of Global Agricultural Water Use per Country* (2006). Food and Agriculture Organization. http://www.fao.org/landandwater/aglw/aquastat/water_use/index5.stm
- Shiklomanov I. A. (2006). *World Water Resources and their Use*. Joint SHI/UNESCO Product. http://webworld.unesco.org/water/ihp/db/shiklomanov/part3/HTML/Tb_15.html
- Šileika A. S. (2001). *Direktivos 91/676/EEC dėl vandenyų apsaugos nuo nitratų taršos, susidaranti dėl žemės ūkio veiklos, įgyvendinimo pasekmių įvertinimas*. Kėdainiai.
- The Aral Sea Basin* (2005). Information Portal for Water and Environmental Issues in Central Asia. http://www.cawater-info.net/index_e.htm
- Water Resources Center Archives*. (2006). University of California. <http://www.lib.berkeley.edu/WRCA/index.html>

8. Biologinė kaita sausumos vandenyse

Svarbiausia gėlyjų vandenų eutrofikacijos priežastis – padidėjusi biogeninių elementų (fosforo ir azoto junginių) koncentracija. Šie junginiai į vandens telkinius patenka dėl aktyvios antropogeninės veiklos ir sukelia neigiamus padarinius: pakinta organinių medžiagų kaupimasis, kiti gyvybiniai procesai. Į aplinkos sąlygų pokyčius pirmiausiai sureagoja autotrofai. Todėl vandens telkiniuose vienos autotrofų bendrijos sunyksta, o kitos suklesti. Ežeruose, tvenkiniuose ar upėse atsiranda specifinės, indikatorinės rūšys, kurios rodo padidėjusį pagrindinių biogeninių medžiagų kiekį. Bendrą trofiškumo lygmenį atspindi ir dumblių bei melsvabakterių rūšinė sudėtis bei atskirų rūšių gausumas.

Savaiminio vandens apsivalymo procese pagrindinį vaidmenį atlieka dumbliai. Fotosintezės metu išsiskyręs deguonis dalyvauja organinių medžiagų mineralizacijoje, bet gausiai besivystantys dumbliai patys tampa biologinio užterštumo priežastimi ir sukelia „vandens žydėjimą“ – antrinį vandens užterštumą. Tai rodo vandens telkinio savi-reguliacijos procesų sutrikimą ir jo akivaizdžią eutrofikaciją. Dėl „žydėjimo“ sutrinka vandens dujinis režimas, blogėja jo kokybė (padidėja BDS₅, spalvotumas, mažėja skaidrumas, kaupiasi toksiškos gyvūnams medžiagos). Vykstant puvimo procesams ima trūkti deguonies. Visa tai gali būti gyvūnų apsinuodijimo priežastimi ir sukelti masinę vandens bestuburių bei žuvų žūtį. Tokie reiškiniai ypač būdingi ir labai pavojingi sekliems, mažo vandens tūrio ežerams, kuriuose vandens apsivalymo galimybės ir ekologinis atsparumas antropogeniniam poveikiui yra labai riboti.

Antropogeninė eutrofikacija labai greitai

sutrikdo ežerų ekosistemą, jos struktūrą ir funkciją. Buvę švarūs oligotrofiniai ežerai virsta eutrofiniais, o eutrofiniai – hipertrofiniais. Todėl labai svarbu pastebėti ir išaiškinti pradinę eutrofikacijos stadiją. Mažuose vandens telkiniuose įmanoma užkirsti kelią tolesnei eutrofikacijai imantis atitinkamų priemonių – didinant pratakumą, mažinant rekreacinę apkrovą, intensyvinant aeraciją, įrengiant apsaugines zonas ir kt. Vandens aplinka, lyginant su sausuma, yra gana stabili, todėl vandens telkinių augalijai būdingas azoniškumas. Jos rūšių bei bendrųjų sudėtyje mažiau jaučiami zoniniai ar regioniniai skirtumai, taip pat ir klimato kaita.

Augalų mikrobendrijos ir makrobendrijos natūraliai funkcionuoja nuolat kisdamos. Netgi tuomet, kai abiotinių veiksnių poveikis stabilizuojasi ir sąlygos vandens telkinyje beveik nekinta dešimtmečiais, bendrųjų struktūra ir produktyvumas ilgainiui keičiasi – vandens telkiniai užželia bei seklėja. Taip vyksta natūrali vandens telkinių sukcesija, dėl kurios per tūkstančius metų oligotrofiniai ežerai virsta mezotrofiniais, vėliau eutrofiniais ar hipertrofiniais. Jie užželia vandens augalija, užpelkėja jų pakrantės, kol galiausiai ežero vietoje susidaro ištisinė pelkė, kuri vėliau apauga spygliuočių mišku – zoniniu Vidurio Europos augalijos tipu. Nuoseklus ežerų trofiškumo kitimas pavaizduotas 8.1 paveiksle.

Intensyvi praėjusių dešimtmečių ūkinė veikla ežerų baseinuose (ypač paežerėse) lėmė Lietuvos antropogenizuoto krašto vaizdo ežerų ekosistemų morfometrinius, hidrocheminius, hidrobiologinius pokyčius. Labiausiai pasikeitė nedideli (0,5–20 ha) ir negilūs (2–7 m vidutinio gylio) ežerai. Dauguma jų pradėjo uždumblėti, pakrantės už-



8.1 pav. Ežero užžėlimo schema (Wisconsin..., 2007): 1 – oligotrofinis ežeras (maža biotos įvairovė, menkas produktyvumas, skaidrus vanduo); 2 – mezotrofinis ežeras (didesnė įvairovė ir produktyvumas, dugne kaupiasi organinės medžiagos, galimas silpnas „vandens žydėjimas“); 3 – eutrofinis ežeras (didelė biologinė produkcija, galimas intensyvus „vandens žydėjimas“ arba ištisinis užžėlimas makrofitytais, polediniu laikotarpiu galimas deguonies trūkumas, jautrių aplinkos pokyčiams rūšių nykimas).

pelkėjo, litoralė ar net visas ežero plotas ištiesai užžėlė vandens augalais – makrofitytais. Juose dažnas planktoninių mikrodumblių sukeliamas „vandens žydėjimas“. Kai kurie mažesnieji ežerėliai dėl natūralios ir antropogeninės eutrofikacijos jau prarado ežerų ekosistemoms būdingas funkcijas – juos juosia plačios žemapelkinių liūnų juostos su monodominantiniais helofitų sąžalynais, ežerų guoliai beveik visiškai užnešti ežerinėmis nuosėdomis (sapropeliu). Dėl sutrikusio hidrocheminių ciklų ir dujų apykaitos režimo juose neretai trūksta deguonies, žiemą dažnas žuvų dusimas. Dauguma tokių ežerų nėra vertingi nei biologinės įvairovės išsaugojimo (juose vyrauja monodominantinės stipriai konkurencingų rūšių cenožės), nei estetiniu, rekreaciniu ar ūkiniu požiūriu.

8.1. Gėlių vandens telkinių funkcinės zonos, jų hidrobiontai ir kaita

Pagal vandens telkinio morfometrines ypatybes ir hidrobiontų struktūrą ežerą galima skirstyti į dvi zonas: pelagialę – vandens masę ir bentalę – dugną. Visa vandens masė horizontaliai dar skirstoma į litoralę – seklią priekrantinę zoną, kurioje Saulės spinduliai pasiekia dugną, profundalę – priedugnio vandens sluoksnį, kurio nepasiekia Saulės šviesa, ir pelagialę – vandens sluoksnį virš

profundalės. Šios zonos aptinkamos tik giliuose ir dideliuose ežeruose. Sekliuose nedideliuose ežeruose ir tvenkiniuose ryški tik litoralinė zona.

Litoralinės zonos bendrijose skiriami trys pagrindiniai litoralinės zonos producentų tipai: 1) dugne išsiskynę augalai – *makrofitytai*, nors kai kuriose vandens ekosistemose svarbų vaidmenį vaidina ir vandens paviršiuje laisvai plaukiojantys gaubtasėkliai vandens augalai (pvz., plūdenos – *Lemna* sp.); 2) smulkūs, laisvai plaukiojantys dumbliai – *fitoplanktonas*; 3) dugno substrate bei ant makrofitytų prisitvirtinę augalai (dažniausiai siūliniai ar kolonijiniai dumbliai) – *perifitonas*.

Litoralinėje zonoje besivystantys dumbliai sudaro perifitono ir planktono bendrijas, todėl ši zona išsiskiria didele dumblių rūšių įvairove. Daugumą litoralinėje zonoje esančių planktoninių dumblių galima rasti ir pelagialėje. Tuo tarpu dumbliai, kurie yra prisitvirtinę prie įvairių substratų, randami tik litoralėje. Pagal gyvenimo būdą perifitonas dar skirstomas į epifitoną (dumbliai prisitvirtinę ant augalų), pelofitoną (gyvenantys dumble), psamofitoną (smėlyje), litofitoną (ant akmenų). Vyraujančios perifitoninių dumblių grupės yra titnagdumbliai (*Gomphonema*, *Navicula*, *Nitzschia* genčių rūšys), žaliadumbliai (*Cladophora*, *Mougeotia*), cianobakterijos (*Oscillatoria*) ir gelsva-

dumbliai. Eutrofikacijos mažai paveiktuose vandens telkiniuose dominuoja pirminiai producentai – *makrofitai*.

Sausumos vandenyse augalija gausiausia ežeruose bei tvenkiniuose, o upėse bei estuarijose vyrauja dumbliai. Visų sausumos vandenų augalija per pastaruosius kelis dešimtmečius smarkiai pasikeitė. To priežastis – vandens kokybės pokyčiai, kuriuos skatina pramonės, buities bei pastaruoju metu vėl didėjanti žemės ūkio keliami tarša. Dar viena priežastis, skurdinanti vandens telkinių biologinę įvairovę – anksčiau labai intensyviai vykdyta sausinamoji melioracija ir jos pasekmės (pelkių bei šlapynių nusausinimas, upelių vagų ištiesinimas). Šiuo metu, stokojant lėšų melioracijos įrenginių išlaikymui ir priežiūrai, ryškėja augmenijos atsikūrimo (renatūralizacijos) reiškiniai. Tačiau vandens augalų bendrijos labiausiai paveikiamos arba net žūva pramoninių bei komunalinių nutekamųjų vandenų išleidimo vietose. Renatūralizacija savaime vyksta labai lėtai, tai trunka dešimtmečius.

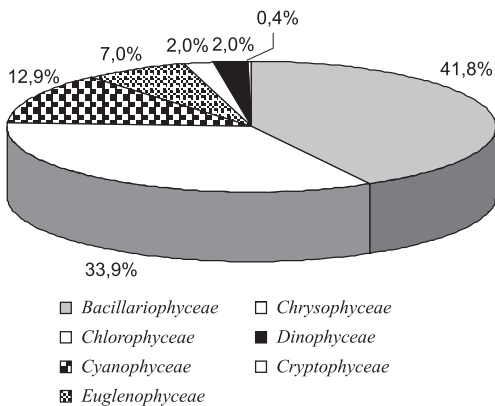
Vandens telkinių augmenija ypač suveši intensyvios žemdirbystės rajonuose, tuo paskatindama jų užaugimą. Dėl eutrofikacijos proceso ryškėja kiekybiniai ir kokybiniai bendrijų pokyčiai. Ištiesai užžėlusiuose eutrofikantuose vandens telkiniuose neišvengiamai mažėja rūšių įvairovė – nyksta jautriausios bei švurių kalkingų vandens telkinių rūšys (*Nuphar pumila*, *Nymphoides peltata*, *Labelia dortmanna*, *Isoetes lacustris* ir kt.), taip pat limneidų (povandeninių augalų) rūšys, kurios dėl sumažėjusio vandens skaidrumo negali augti įprastoje augavietėje (*Nitella genties* rūšys, *Lychnothamnus barbatus*, *Myriophyllum alterniflorum* ir kt.). Pavyzdžiui, net mažai eutrofikotuame Vištyčio ežere jau keletą dešimtmečių neberandama menturdumblių *Nitella* ir *Nitellopsis*. Užaugančiame Žuvinto ežere per 30 pastarųjų metų išnyko 14 maurabraginių

dumblių, 9 žiedinių augalų, 1 samanų rūšis. Per tą patį laikotarpį šalies vakarinės dalies upėse (Jūroje, Minijoje, Gegėje) visose radvietėse išnyko *Nymphoides peltata*. Šiuo metu žinomos tik trys *Nymphoides peltata* radvietės – Kuršių marių Kniaupo įlankoje, marių pakraštyje ties Pervalka ir Klaipėdos kanale ties Svencelė.

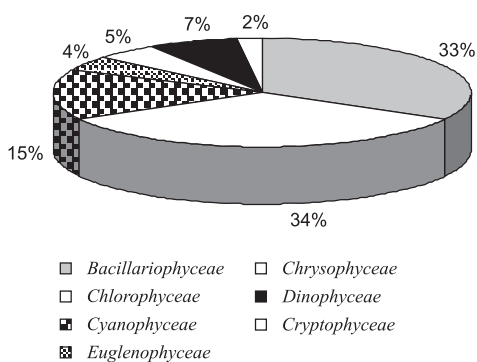
Ežerų atabraduose iki 2 m gylio ir seklioje upių vagose įsigali stambūs viršvandeniniai helofitai (*Phragmites australis*, *Schoenoplectus lacustris*, *Sparganium erectum* ir kt.). Dėl to ežeruose nyksta smulkios smėlėtuose ir žvyringuose atabraduose augančios rūšys, o upėse – povandeninės reofilinės plūdžių ir kurklių rūšys bei bendrijos.

Lietuvos upių ekosistemos yra smarkiai eutrofikuojamos. Upokšniai ir upeliai – oligotrofiniai ir oligomezotrofiniai, vidutinio dydžio upės – oligomezotrofinės ir mezotrofinės, o didžiųjų upių žemupiai yra mezotrofiniai ar eutrofiniai vandens telkiniai. Visose upių augmenijos ekologinėse juostose nyksta retos, siauros specializacijos rūšys ir bendrijos. Šiuo metu vandens telkiniuose ir jų pakrantėse auga apie 150 augalų rūšių, iš jų 20 įrašytos į Lietuvos Raudonąją knygą. Visų šių augalų bendrijos patenka į 37 asociacijas. Siekiant išsaugoti atskiras rūšis, būtina nuo pokyčių saugoti ne tik atskirą vandens telkinį, bet ir visą baseiną. Ypač jautrios aplinkos pokyčiams menturdumblių bendrijos, kurios jau sunyko daugelyje Vakarų Europos ežerų.

Pelaginės zonos bendrijos ir jų kaita. Fitoplanktonas. Kiekviena dumblių grupė vyrauja esant specifinėms, joms gyventi palankioms sąlygoms. Lietuvos sausumos vandenyse daugiausia planktoninių rūšių priklauso žaliadumblainiams, titnagdumblainiams ir cianobakterijoms (8.2, 8.3 pav.). Vandens telkiniuose dažnos ir gausios žaliadumblių – *Scenedesmus*, *Chlamydomonas*, *Pediastrum*, titnagdumblių – *Fragilaria*, *Syne-*



8.2 pav. Lietuvos ežerų fitoplanktono taksonominė struktūra (Kavaliauskienė, 1996)



8.3 pav. Lietuvos upių fitoplanktono taksonominė struktūra (Kostkevičienė ir kt., 2001)

dra, *Cyclotella*, cianobakterijų – *Microcystis*, *Anabaena* genčių rūšys. Ne tokios gausios auksadumbliai – *Dinobryon*, *Mallomonas* ir euglendumbliai – *Euglena*, *Phacus* genčių rūšys. Planktoniniai dumbliai yra vieni pagrindinių, o kartais ypač eutrofikuojuose telkiniuose – ir vieninteliai autotrofiniai organinės medžiagos producentai.

Pagrindiniai fitoplanktono vystymąsi ir kaitą lemiantys veiksniai. Fitoplanktono rūšių sudėtis bei vystymosi intensyvumas vandens baseinuose glaudžiai susijęs su artimos aplinkos fizinėmis, cheminėmis savybėmis ir visu hidrobiontų kompleksu. Kiekviena dumblių grupė vyrauja esant specifinėms, jai gyventi palankioms sąlygoms.

Abiotiniai veiksniai. Šviesa lemia dumblių paplitimo viršutinę ir apatinę ribas, daro įtaką vertikaliam dumblių pasiskirstymui. Šviesos kiekio nuokrypiai nuo optimalaus gali tapti ribojančiu faktoriumi. Vandens skaidrumas lemia eufotinės zonos ribą ir šviesos spektrą. Vertikalusis dumblių pasiskirstymas koreliuoja su vandens skaidrumu. Temperatūra veikia dumblių dauginimosi ciklo greitį, lemia „žydėjimo“ laiką ir intensyvumą. Atskiros dumblių grupės dauginasi ir auga skirtingos temperatūros vandenyse. Didžiąją dalį titnagdumblių rūšių galima priskirti šaltamėgiams (optimali temperatūra < 10°C), žaliadumblių, cianobakterijų – šilumamėgiams (optimali temperatūra > 10°C). Vandens masių dinamika, arba turbulencinis maišymasis, padidina titnagdumblių produktyvumą. Cianobakterijos geriau vystosi „ramiuose“, stratifikuotuose vandens telkiniuose. Ramiame vandenyje vyrauja judrios, gebančios keisti padėtį rūšys. Cheminiai faktoriai – tai ištirpusios vandenyje mineralinės ir organinės medžiagos, kuriomis minta dumbliai. Makroelementai ir mikroelementai yra būtini dumblių augimui, vystymuisi, dauginimuisi. Ypač svarbūs – azotas ir fosforas. Skirtingų grupių dumbliai skiriasi ir makroelementų bei mikroelementų poreikiu. Cianobakterijos vyrauja esant didelėms fosforo ir mažoms azoto koncentracijoms. Žaliadumbliams ir titnagdumbliams reikia nemažų ir fosforo, ir azoto kiekį. Titnagdumbliams, be minėtų elementų, reikalingas ir silicis. Auksadumblių vystymuisi būtina daugiau kalcio, tačiau didelės fosforo koncentracijos jau neigiamai veikia šių dumblių vystymąsi. Euglendumbliai gerai vystosi esant daug organinės medžiagos. Dujinis režimas priklauso nuo vandenyje ištirpusių dujų (O_2 , CO_2), kurios dalyvauja biologiniuose procesuose ir, kita vertus, dalis jų yra tų pačių procesų (fotosintezės, kvėpavimo) metabo-

litai. Kai kurios cianobakterijų *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Anabaena*, *Synechocystis* genčių rūšys geba vykdyti anoksigeninę fotosintezę, elektronų donoru naudodamos divandenilio sulfidą.

Biotiniai veiksniai. Vienas fitoplanktono augimą reguliuojančių veiksnių yra zooplanktonas. Fitofagai selektyviai pasirenka mažas žiuželių žaliadumблиų, auksadumблиų ir kriptofitinių dumблиų rūšis. Šių rūšių gausumas fitoplanktone labai priklauso nuo zooplanktono bendrijos rūšių sudėties ir gausumo.

Makrofitai, būdami biogenų akumuliatoriais ir fitoncidų producentais, konkuruoja su fitoplanktonu dėl maisto medžiagų ir tokiu būdu stabdo jo vystymąsi. Vandens paviršiuje plūduriuojantys makrofitai (pvz., *Lemna* sp.) ištiesai padengia vandens paviršių ir neleidžia šviesai patekti į gilesnius vandens sluoksnius. Taigi kartais net ir labai stipriai eutrofikuoti vandens telkiniai išvengia „vandens žydėjimo“.

Vienas svarbiausių hidroekosistemos funkcionavimo rodiklių – fotosintezės intensyvumas. Tai organinės medžiagos kiekis, kurį per tam tikrą laiką fotosintezės metu pagamina autotrofiniai organizmai. Dumbliai iš vandens ir jame ištirpusių anglies dioksido molekulių, dalyvaujant chlorofilui ir veikiant fermentams, Saulės energiją paverčia chemine energija, esančia organinėje medžiagoje. Visi kiti hidroekosistemos organizmai per mitybines grandis panaudoja šią sukurtą organinę medžiagą. Intensyviausia fotosintezė vyksta paviršiniame (iki 1,5 m) sluoksnyje, gilesniuose vandens sluoksniuose fotosintezės intensyvumas sumažėja. Fitoplanktono įnašą į bendrą organinių medžiagų biotinį balansą nusako bendrosios fitoplanktono produkcijos ir kvėpavimo procesų tarpusavio santykis A_p/R . Vasarą nedideliuose, sekliuose vandens telkiniuose, kur gausu hidrobion-

tų, vyksta intensyvus organinės medžiagos skaidymas. Čia deguonies suvartojimo procesai gali viršyti jo išsiskyrimo greičius.

Fitoplanktono fotosintetiniai pigmentai. Chlorofilo *a* koncentracija, jo vertikalusis ir horizontalusis pasiskirstymas teikia daug informacijos apie vandens kokybę ir vandens telkinio produktyvumą. Iš chlorofilo *a* kiekio vandens tūryje galima įvertinti vandens telkinio trofiškumą. Chlorofilo kiekis paprastai sudaro ~ 2–5% ląstelės sausosios masės. Chlorofilas *a* yra plačiai naudojamas dumблиų biomasės ir kitiems rodikliams nustatyti.

Chlorofilo kiekis ir santykis tarp atskirų chlorofilų *a*, *b*, *c*, karotinoidų bei feopigmentų charakterizuoja fitoplanktono būseną ir vyraujančių dumблиų grupes. Esant daug chlorofilo *a* ir nedaug *b* ir *c*, galima teigti, kad fitoplanktone vyrauja cianobakterijos. Jei chlorofilo *c* kiekis didesnis nei chlorofilo *b* – vyrauja titnagdumbliai. Mažas chlorofilo bei didelis feopigmentų kiekis liudija fitoplanktono irimą. Didesnis feopigmentų kiekis pastebėtas sekliuose vandens telkiniuose, kur vanduo maišosi su dugno nuosėdomis (pagrindiniu feopigmentų šaltiniu).

Fitoplanktono sezoninė sukcesija. Apibendrinant daugelio autorių pateiktus tyrimų rezultatus, gautus tiriant dimiktinius vidutinio klimato zonos ežerus, nustatyta nemažai korelacijų tarp vyraujančių rūšių, jų gausumo keitimosi per metus bei kai kurie fizikiniai ir biotiniai faktoriai. Žiemą fitoplanktonas vystosi silpnai. Jį sudaro smulkūs miksotrofiniai ir heterotrofiniai žiuželiniai, kurie gali vystytis prie žemos temperatūros ir silpno apšviestumo. Pavasarį, nutirpus sniegui, pagerėja šviesos režimas, vyksta intensyvi vandens sąmaiša, grąžinanti biogenines medžiagas iš nuosėdų į vandens masę. Tuo metu staigiai padaugėja titnagdumблиų, kurie yra prisitaikę prie kintančio šviesos

režimo. Tas procesas tęsiasi vieną-du mėnesius, kol išnaudojamos jiems reikalingų biogenų ir silicio atsargos. Vasaros pradžioje, prasidėjus vandens masės stratifikacijai, fitoplanktono vystymosi intensyvumas laikinai sumažėja. Sparčiai besidauginantis zooplanktonas žymiai sumažina dumblių skaičių. Tačiau, mažėjant fitoplanktono, sumažėja ir paties zooplanktono. Taigi, sumažėjus zooplanktono ir atsikuriant pakankamam biogenų kiekiui vandens masėje, prasideda intensyvus vasaros fitoplanktono vystymasis. Pirmiausiai vystosi įvairios kriptomoninių ir auksadumblių smulkiosios rūšys, kurios savo fosforo poreikius gali patenkinti iš ištirpusių organinių medžiagų. Sparčiai mažėjant biogenų, pradeda vystytis stambūs titnagdumbliai. Taip sunaudojamas azotas ir silicis. Trūkstant silicio, įsivyrąja cianobakterijos ir šarvadumbliai. Vasaros planktonui būdingiausios stambios, lėtai besidauginančios rūšys. Vasaros fitoplanktonas išsiskiria pačia didžiausia rūšių įvairove. Priklausomai nuo ežero trofinio tipo, vasarą vystosi skirtingos fitoplanktono bendrijos. Vasariniam fitoplanktone dažniausiai aptinkamos *Aulacoseira granulata*, *Asterionella formosa*, *Fragilaria crotonensis*, *Cyclotella* sp., *Rhizosolenia longiseta* titnagdumblių rūšys. Sekliuose, produktyviuose vandens telkiniuose titnagdumblių įvairovė mažesnė. Vyrąja planktoninės–bentosinės *Nitzschia*, *Synedra*, *Fragilaria* genčių rūšys.

Lietuvos ežerų vasaros fitoplanktone dažniausiai sutinkamos žaliadumblių rūšys yra *Scenedesmus quadricauda*, *Pediastrum duplex*, *P. boryanum*, *Sphaerocystis schoeteri*, *Dictyosphaerium pulchellum*, *Coelastrum microporum*, *Botryococcus braunii*, *Pandorina morum* ir *Eudorina elegans*. Įvairiausi ir gausiausi žaliadumbliai eutrofiniuose bei hipereutrofiniuose vandens telkiniuose. Oligotrofiniuose ir silpnai mezotrofiniuose baseinuose dažnesnės *Oocystis* sp., *Crucige-*

nia sp., *Sphaerocystis schoeteri*, *Dictyosphaerium pulchellum* rūšys.

Iš auksadumblių vasaros fitoplanktone dažniausios *Dinobryon* sp. ir *Mallomonas* sp., *Dinobryon* sp. eutrofiniuose bei hipereutrofiniuose vandens telkiniuose. Sekliuose vandenyse dažnai vyrauja *Pseudokephyrion*. Auksadumbliai laikomi švarių vandenių indikatorine grupe, hipertrofiniuose telkiniuose paprastai jie nesivysto.

Eutrofiniuose ežeruose sparčiai vystosi molekulinį azotą fiksuojančios cianobakterijos. Jų sugebėjimas migruoti tarp turtingų maisto medžiagomis hipolimniono ir epilimniono, ir kur pakanka šviesos vykdyti fotosintezę, padidina jų konkurencingumą kitų dumblių atžvilgiu. Sekliuose ežeruose, kuriuose maisto atsargos pasipildo iš nuosėdų, greitai besidauginančios žaliadumblių ir titnagdumblių rūšys tampa ryškiomis konkurentėmis, lyginant su lėtai besidauginančiomis cianobakterijų rūšimis. Cianobakterijos *Lyngbya limnetica*, *Anabaena* sp. geriausiai vystosi sekliuose silpnai eutrofiniuose vandens telkiniuose, o *Oscillatoria*, *Aphanizomenon* genčių rūšys būdingos stipriai eutrofiniams vandens telkiniams.

Euglendumbliai gausiausi sekliuose, organinės medžiagos turtinguose vandens telkiniuose. Dažniausiai aptinkamos rūšys iš *Euglena*, *Trachelomonas* ir *Phacus* genčių.

Rudenį vėl išryškėja titnagdumblių vystymosi pakilimas. Mažėjantis šviesos kiekis riboja dumblių vystymąsi. Fitoplanktono gausumas mažėja, kol lieka vien smulkūs miksotrofiniai ir heterotrofiniai žiuželiniai.

Absoliuti dauguma ežerų sukcesinių procesų metu pasiekia santykinę vystymosi stabilumo fazę ir tuomet pradeda senėti. Nustatyta, kad ežero vystymosi pradžioje planktone vyrauja desmidiniai dumbliai ir auksadumbliai (=oligotrofija). Vėliau, per tarpines stadijas, ežeruose vyksta trofiškumo pokyčiai. Fitoplanktone pradeda vyrąti

titnagdumbliai (=oligomezotrofija), titnagdumbliai su ryškia *Ceratium* sp. ir cianobakterijų subdominante (=mezotrofija), kol galiausiai ežeruose išivyrauja cianobakterijos (=eutrofija ar hipertrofija), kurių intensyvus vystymasis vasaros viduryje bei pabaigoje sukelia „vandens žydėjimą“.

Chlorofilo *a* kiekis pakankamai gerai atspindi biogeninių elementų, ypač fosforo ir azoto, kiekį vandenyje. Daugėjant biogeninių elementų (eutrofikacija), sparčiai vystosi fitoplanktonas, o kartu daugėja chlorofilo *a*. Tai dažniausiai lemia vandens optinių savybių kaitą – pirmiausiai skaidrumą.

Chlorofilo *a* koncentracija gali būti vandens telkinių trofiškumo rodiklis: chlorofilo kiekis mažesnis negu $1,5 \text{ mg/m}^3$ atitinka oligotrofinį tipą, nuo $1,5$ iki 10 mg/m^3 – mezotrofinį ir virš 10 mg/m^3 – eutrofinį. Kai kurie autoriai nurodo, jog oligotrofiniuose vandens telkiniuose chlorofilo yra apie 5 mg/m^3 , mezotrofiniuose – apie 10 mg/m^3 , silpnai eutrofiniuose – 25 mg/m^3 , eutrofiniuose – 50 mg/m^3 , hipereutrofiniuose – 71 mg/m^3 ir t. t. Skirtingi autoriai nesutaria, kokios biogeninių medžiagų (ypač fosforo), fitoplanktono fotosintetinio aktyvumo bei chlorofilo *a* verčių amplitudės galėtų atitikti konkretų ežero trofinį lygį, tačiau išanalizavus mokslinių tyrimų medžiagą, galima

teigti, kad mažiausius minėtus parametrus turintys vandens telkiniai yra mažiausiai paliesti eutrofikacijos. Tiek Europoje, tiek ir Lietuvoje tokius ežerus būtina saugoti kaip etaloninius.

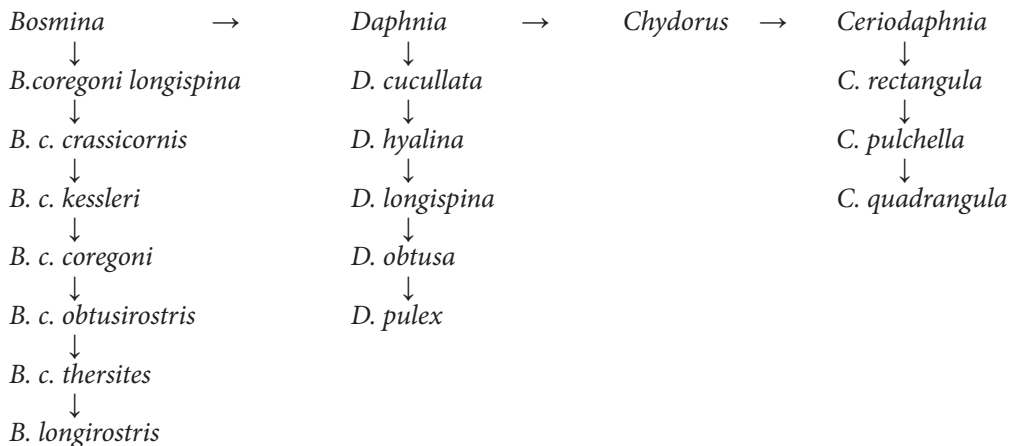
„Vandens žydėjimo“ poveikis hidroekosistemai kartais būna labai ženklus: sumažėja vandens skaidrumas ir vandenyje ištirpusio deguonies kiekis, dėl ko susidaro nepalankios sąlygos kitų ekosistemos komponentų (pvz., makrofitų, žuvų) egzistavimui; galimi toksinus išskiriančių dumblių rūšių sukelti „vandens žydėjimai“, o jam „žyding“ kelerius metus, išstumiamos povandeninių makrofitų (limnėidų), taip pat deguonies deficitui jautrių žuvų bei zoobentosos rūšys, t. y. nyksta telkinio bioįvairovė. Toksiškus „vandens žydėjimus“ daugiausiai sukelia *Anabaena*, *Aphanizomenon*, *Gloeotrichia*, *Microcystis*, *Planktothrix* (buv. *Oscillatoria*) bei *Woronichinia* (buv. *Gomphosphaeria*) rūšių masinis vystymasis.

Vandens telkinių trofiškumas yra labai glaudžiai susijęs su ES *Bendrojoje vandens politikos direktyvoje* deklaruojamu siekiu iki 2015 m. visuose ES vandens telkiniuose pasiekti „gerą“ vandens kokybę. Šiuo metu visose ES šalyse yra nustatinėjamos ir derinamos vandens telkinių vandens kokybės ribos (8.1 lentelė).

8.1 lentelė. Fitoplanktono biomasės, chlorofilo *a* kiekio ir ežero vandens kokybės sąsajos (Swedish Environmental Protection Agency, 2001)

Vandens kokybės klasė	Koncentracijos lygis	Ežero trofinis lygis	Bendras fosforas (Pb), $\mu\text{g/l}$ (= mg/m^3)		Chlorofilas <i>a</i> , $\mu\text{g/l}$ (= mg/m^3)		Fitoplanktono biomasė, mm^3/l	
			gegužė–spalis	rugpjūtis	gegužė–spalis	rugpjūtis	gegužė–spalis	rugpjūtis
1	Labai maža	Oligotrofinis	<12,5	<12,5	<0,5	<0,5	<2	<2,5
2	Maža	Mezotrofinis	12–25	12,5–23	0,5–1,5	0,5–2	2–5	2,5–10
3	Vidutinė	Mezoeutrofinis	25–50	23–45	1,5–2,5	2–4	5–12	10–20
4	Didelė	Eutrofinis	50–100	45–96	2,5–5	4–8	12–25	20–40
5	Labai didelė	Hipertrofinis	>100	>96	>5	>8	>25	>40

Charakteringiausia zooplanktono rūšių kaitos seka ežerui eutrofikuojantis:



Zooplanktono bendriųjų pokyčius ežeruose lemia abiotinių sąlygų pasikeitimas, fitoplanktono sezoninė ir daugiametė kaita. Zooplankterių pasiskirstymas ežeruose nėra tolygus. Jis priklauso nuo temperatūros ir kitų veiksnių. Ežerui senstant, keičiasi zooplanktono rūšių sudėtis, padidėja visų arba beveik visų rūšių gausumas, kinta vislumas, cikliškumas, keičiasi kiekybiniai zooplanktono rodikliai. Vienos rūšys išnyksta, kitos – atsiranda; pvz., *Bosmina coregoni* pakeičia *B. longirostris*, o *Daphnia pulex* – *Diaphanosoma leuchtenbergianum*. Nustatyta, kad mažėja ir plankterių dydžiai. Ypač susmulkėja *Daphnia*, *Leptodora*, *Bythotrephes*, *Eudiaptomus*, *Limnocalanus* ir kiti vėžiagyviai.

Esant didelei fitoplanktono koncentracijai zooplanktono filtracijos greitis tiesiogiai nuo jos priklauso, o kai koncentracija maža – tokios priklausomybės nėra. Filtracijos greitis – viena pagrindinių zooplanktono mitybinių charakteristikų. Ją būtina žinoti norint įvertinti funkcinę zooplanktono reikšmę įvairaus produktyvumo vandenyse: oligotrofiniuose ežeruose *Bosmina longirostris* filtracijos greitis – 7,0, mezotrofiniuose – 1,9–2,9, eutrofiniuose – 0,01–1,00 ml/egz. per parą. Vadinasi, senstančiuose ežeruose zooplankteriai labiau veikiami nepalankių abiotinių sąlygų.

Fitoplanktono koncentracijai didėjant, filtracijos greitis išlieka pastovus (iki tam tikrų ribų), vėliau jis sumažėja. Koncentracija, kuriai esant filtracijos greitis ima mažėti, atvirkščiai proporcinga maisto dalelių dydžiui. Santykinis zooplanktono gausumas įvairaus trofiškumo ežeruose nevienodas (8.2 lentelė).

Bendras zooplanktono gausumas (N , egz. (tūkst.)/m³) ir vidutinė individo masė (w , mg) ežerui eutrofikuojantis taip pat kinta (8.3 lentelė).

8.2 lentelė. Santykinis zooplanktono gausumas įvairaus trofiškumo ežeruose

Ežero tipas	Zooplanktono dalis (%)	
	Cladocera	Rotatoria
Oligotrofinis	7,5±6,0	18,0±7,6
Mezoeutrofinis	21,2±7,2	25,6±10,2
Eutrofinis	49,7±7,7	20,0±11,8
Politrofinis	6,7±3,3	87,3±9,5

8.3 lentelė. Zooplanktono gausumas (N) ir vidutinė individo masė (w)

Ežero tipas	N	w
Oligotrofinis	12,5±6,6	0,0250±0,010
Mezoeutrofinis	79,0±37,2	0,0178±0,0071
Eutrofinis	170,6±59,5	0,0155±0,0047
Politrofinis	25874±14023	0,0049±0,0024

8.2. Žuvų bendrijų kaita ežeruose

Keičiantis aplinkos sąlygoms, ežeruose vyksta žuvų bendrijų kaita. Kaitos tempai, kryptis priklauso nuo konkretaus ežero geografinės padėties, vietos klimatinių savybių bei pokyčių. Biogeninių medžiagų prietakos pokyčiai, užterštumas bei žvejyba labiausiai veikia žuvų bendrijas. Pastaraisiais dešimtmečiais visoje Europoje ir Šiaurės Amerikoje ženkliai sumažėjo ežerų teršimas pramonės nutekamaisiais vandenimis, tačiau išlieka aktualus žemės ūkio, transporto poveikis vandens telkiniams. Tokios pat tendencijos ir Lietuvos sausumos vandenyse. Be minėtų veiksnių, būtina akcentuoti nuolatos didėjančią verslinės bei mėgėjiškos žvejybos įtaką. Tai irgi išbalansuoja žuvų bendrijų būklę, skatina kai kurių rūšių išplitimą ir mažina retųjų, jautriausių aplinkos pokyčiams, žuvų gausumą. Ypač tai paveikė ilgo reprodukcinio ciklo lašišinių ir sykinių žuvų išteklius, kai kurias anadromines žuvis (pvz., silkines ir eršketines). Ežerų ichtiocenoze paprastai skiriamas žuvų branduolys – tai rūšių kompleksas, sudarantis visų arba daugumos bendrijų pagrindą, per kurį vyksta pagrindiniai energijos srautai. Vidutinio klimato zonoje oligomezotrofinių ar mezotrofinių ežerų žuvų branduolį sudaro lašišinės žuvis, stintų, seliavos, aukšlės (planktofagai), pūgžliai, karšiai (bentofagai), kuojos (eurifagai), lydekų ar ešeriai (plėšrūnai). Ichtiocenozių struktūros kinta kartu su visa ekosistema. Šiuo metu, vykstant spartiems ežerų trofiškumo didėjimo procesams ir kintant hidrofiziniais ir hidrocheminiams parametrams, keičiasi ir ichtiocenozių struktūra. Dėl to pirmiausiai mažėja šaltamėgių stintų ir seliavų, kol galiausiai jos visai išnyksta. Tokiu būdu prieš keletą dešimtmečių Virintų ežere neliko seliavų. Stintos išnyko iš Usto, Luodžio ir kitų ežerų. Manoma, kad tokie procesai šiuo metu vyksta Dusios bei Tauragno ežeruose. Ne-

grižtami pokyčiai (sukcesija) ežeruose vyksta tiek dėl klimatinių veiksnių, tiek ir dėl žmogaus ūkinės veiklos. Užterštuose telkiniuose didėjant „vandens žydėjimui“ ir dėl to mažėjant skaidrumui, keičiasi žuvų rūšių sudėtis: sykines žuvis keičia karpinės, karpinės – ešerinės, jas – lydekinės. Tokia rūšių kaita dažnai vyksta dėl natūralių žuvų reprodukcijos sąlygų pasikeitimo. Eutrofikuojantis ežerui, esant mažai deguonies koncentracijai žiemą, grunto uždumblėjimui ir kitiems veiksniams veikiant, mažėja rudenį neršiančių žuvų – seliavų ar sykų ikrų gyvybingumas. Lydekinėms, ešerinėms ir karpinėms žuvisms būdingas trumpas inkubacijos tarpsnis, todėl jos pradeda vyrėti bendrijoje, išstumdamos vėtingas verslines sykines žuvis.

Europos ir Šiaurės Amerikos ežerai išsiskiria labai didele žuvų bendrijų įvairove. Čia žuvų bendrijose aptinkama nuo 1–3 iki 5–15 dominantinių žuvų rūšių, iš kurių kelios įeina į bendrijų branduolius. Pagal tai, kaip keičiantis ežerų ichtiofaunai kinta bendrijų dominantinės rūšys, gali būti sudaromos sukcesinės žuvų bendrijų sekos. Tokia ežerų klasifikacija yra pagrįsta žuvų bendrijų branduolio formavimosi principu „plėšrūnas ir dominantas“. Tuomet lašišinis ežeras būtų tas, kuriame vyrauja žuvis plėšrūnė – ežerinė lašiša, ežerinis šlakis ar šalvis, o lydekis tas, kuriame vyrauja lydeka. Vandens telkiniai skirstomi pagal du svarbiausius principus:

- pagal vandens telkinio tinkamumą gyventi žuvų bendrijos vyraujančiai rūšiai;
- pagal vyraujančios žuvų rūšies bendrijoje reikšmę žuvininkystei.

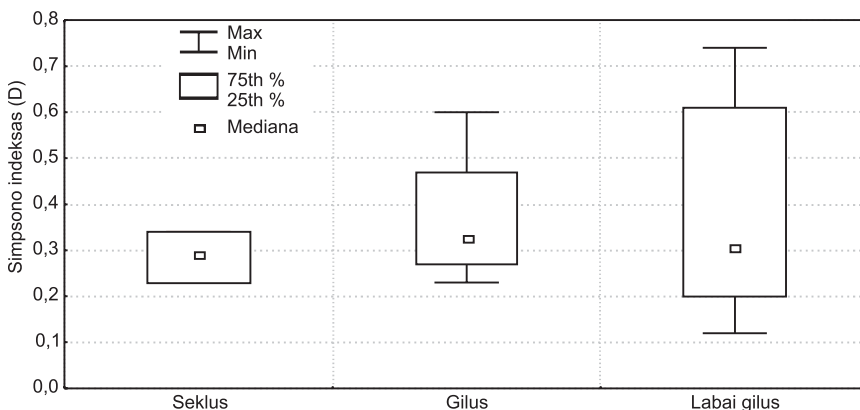
Vandens telkiniai pagal žuvų bendrijoje vyraujančias rūšis skiriami nepriklausomai nuo to, ar tai plėšri, ar taiki žuvis. Todėl, be lašišinių, stintinių, lydekinių, starkingųjų ar ešerinių telkinių, skiriami ir seliaviniai, kuojiniai, karšiniai, karosiniai bei lyniniai vandens baseinai. Europos ežeruose galima

tokia žuvų bendrijų kaita: *lašišinė* → *stintinė* → *seliavinė* → *karšinė* → *starkinė* → *kuojinė* → *lydekinė* → *lyninė* → *karosinė* → *ešerinė*. Į ežerus introdukavus vaivorykštinių upėtakių, karpį ar sidabrinių karosų bei kitų žuvų, karšinė, kuojinė, lydekinė ar lyninė bendrija atitinkamai gali keistis į upėtakinę, karpinę ar karosinę, nors karpiai bei margieji upėtakiai savaime ir nesidaugina. Tačiau atvirkštinė seka praktiškai neįmanoma, išskyrus atvejus, kai dirbtinai keičiami ežerų hidrocheminiai ir hidrofiziniai rodikliai.

Į atskirą kategoriją skiriami karpiniai, upėtakiniai vandens telkiniai. Tokie vandens telkiniai anksčiau buvo išskirti kitų autorių (Kesminas, Virbickas, Virbickas, 1996; Virbickas, 2000) upių žuvų bendrijų klasifikacijoje. Šios bei kai kurios kitos žuvys labai pakeičia ne tik žuvų, bet ir kitų hidrobiontų rūšių sudėtį bei gyvenimo sąlygas ežeruose. Ypač pavojingas ir sunkiai prognozuojamas invazinių rūšių poveikis ežerų buveinėms. Tokios žuvys yra sidabrinis karosas bei nuodėgulis (*Percottus glehni*). Karpinė žuvų bendrija toleruotina tik pakeisto hidrologinio režimo eutrofiniuose ežeruose. Šiuo metu karpiais, sidabriniais karosais, baltaisiais amūrais, plačiakakčiais, vaivorykštiniais upėtakiais, plačiažiočiais ešeriais yra įžuvinti daugelis ežerų, ir visuose juose įvyko ar vyks-

ta ženklūs bioįvairovės skurdėjimo procesai, keičiasi žuvų ir kitų hidrobiontų populiacijų rodikliai. Į Didžiosios Britanijos ežerus prieš 40–50 m. pateko pūgžlys (*Gymnocephalus cernuus*). Per tą laiką iš 150 ežerų, kur anksčiau gyveno seliavos ir į kuriuos pateko pūgžliai, iki dabar seliavos išliko tik dviejuose ežeruose. Į dirbtinius Vokietijos vandens telkinius įleidus seliavų, jos taip pakeitė hidroceozes, kad vanduo vasarą pradėjo masiškai „žydėti“, jame buvo nebeįmanoma maudytis, teko organizuoti seliavų verslinę žvejybą. Sugautomis žuvimis buvo šeriami zoologijos soduose laikomi jūrų žinduoliai. Pastaraisiais metais ryškėja neįprastas procesas – ežerų reoligotrofikacija, kuris teikia vilčių, kad tuose vandens telkiniuose bus galima atkurti sunykusias retųjų žuvų – ežerinių lašišų, šlakių bei alpiinių šalių populiacijas.

Ežerams senstant, didėjant jų trofiškumui, jiems seklėjant ir užželiant, mažėja ir žuvų rūšių įvairovė, keičiasi žuvų bendrijos. Atlikus tyrimus įvairiuose Lietuvos skirtingo terminio gylio ežeruose, nustatyta, kad žuvų bioįvairovė pagal gausumą skirtingų tipų ežeruose beveik nesiskiria (mediana yra apie 0,3) (8.4 pav.). Tačiau iš literatūros yra žinoma, kad didžiausia žuvų rūšių įvairovė turėtų būti termiškai giliausiuose ežeruose, o mažiausia – sekliuose. Atlikti tyrimai to



8.4 pav. Simpsono indekso palyginimas pagal žuvų gausumą (N, vnt.) sekliuose, giliuose ir labai giliuose ežeruose

nepatvirtina, nes vidutinio klimato juostoje žuvų rūšių įvairovė labai maža, todėl vykstant bendrijų sukcesijai vienos rūšys keičiamos kitomis, o į bendrijas sekliuose vandens telkiniuose įsiterpia svetimžemės rūšys.

Vystant žuvininkystę ežeruose ir ypač papildant kai kurių rūšių išteklius dirbtinai išveistomis žuvimis, visų pirma turi būti užtikrinamas natūralių populiacijų grynumas. Nustatant žuvininkystės vystymo kryptis ežeruose, turi būti atsižvelgiama:

1. Į vandens telkinio hidroceozės bioįvairovę ir natūralią žuvų bendriją;
2. Į hidrocheminius ir hidrofizinius vandens telkinio rodiklius bei telkinio kilmę;
3. Į eutrofikacijos poveikį hidroceozei;
4. Į natūralių buveinių išsaugojimo perspektyvas;
5. Į panaudojimo mėgėjiškai ar verslinei žuvininkystei galimybes.

Nustatant vandens telkinio žuvų bendrijos tipą, būtini hidrocheminiai, hidrofiziniai bei hidrobiologinių tyrimų duomenų ir žuvų bendrijų struktūrą įvertinantys duomenys. Vandens telkinio žuvininkystės tipas gali būti patikslinamas atliekant papildomus tyrimus arba, pasikeitus vandens telkinio būklei (po masinio hidrobiontų dusimo, epizotijos, nuleidus dirbtinį ežerą). Dirbtiniuose, nenuleidžiamuose ežeruose žuvininkystės vystymo kryptis ir žuvų bendrija nustatoma pagal juose vyraujančias buveines ir jų žuvų bendrijas konkrečiose tokių vandens telkinių dalyse.

Lašišinės žuvų bendrijos. Jos yra oligotrofiniuose, iš kalnų ištekančių upių maitinamuose ežeruose. Juose yra visi trys terminiai sluoksniai, o gylis siekia dešimtis ir šimtus metrų. Dažniausiai tai patys didžiausi ežerai. Pagal vandens temperatūrą priedugnio sluoksniuose žiemą ir vasarą terminės stagnacijos metu gali būti termiškai labai gilūs

($\Delta t \sim 0^\circ\text{C}$). Priekrantėse ar sublitoralėje jokios aukštesniosios augalijos nėra, aukštieji helofitai ar limneidai bendrijas sudaro tik upių intakų ir ištakų vietose, kai kuriose įlankose, taip pat – kelių šimtų metrų nuo jūros lygio esančiuose ežeruose. Vyraujančios plėšrūnės – ežerinis šlakis, lašiša ar alpinis šalvis. Pelagialėje įprastos žuvis – ežerinis sykas ir seliava. Lietuvoje tokių bendrijų nėra.

Stintinės bendrijos. Sutinkamos oligomezotrofiniuose ežeruose. Temperatūros režimas būdingas labai giliems ežerams: skirtumas tarp paviršinio ir priedugnio vandens sluoksnių temperatūros vasarą siekia 18°C . Priedugnio vandens sluoksnių temperatūra giluminėse ežero dalyse terminės stagnacijos metu siekia $4,1^\circ\text{C}$, žiemą – $3,8^\circ\text{C}$. Šio tipo ežerų gylis – nuo 18 m iki 50–60 m. Tai dimiktiniai ežerai. Pagal vandens temperatūrą priedugnio sluoksniuose žiemą ir vasarą terminės stagnacijos metu gali būti termiškai labai gilūs ($\Delta t \sim 0^\circ\text{C}$) ir termiškai gilūs ($0 < \Delta t \leq 5^\circ\text{C}$). Vasarą priedugnio vandens sluoksniuose maišymasis vyksta labai vangiai. Vandenyje ištirpusio deguonies kiekis žiemą sudaro 80–85% sotinančiojo kiekio, vasarą – iki 95%. Epilimniono sluoksnyje vandens pH didesnis nei 7 arba šarminis (iki 8–8,5). Gilesniuose telkiniuose priedugnio zonoje vanduo gali būti rūgštesnis nei paviršiniuose telkinio vandens sluoksniuose (pH = 7–7,5). Vandens skaidrumas vasarą siekia 5 ir daugiau metrų. Tokiems ežerams būdingos šaltavandenės zoobentosos ar nektobentosos rūšys: *Sergentia*, *Protanypus*, *Prodiamesia* gr. *bathyphila*, *Mysis relicta*, *Limnocalanus grimaldii*, *Eurytemora lacustris*. Vyraujanti žuvų rūšis didžiojoje akvatorijos dalyje, išskyrus priekrantę, – ežerinė stinta. Seliavos negyvena arba jų gausumas labai mažas.

Seliavinės bendrijos. Jos egzistuoja mezooligotrofiniuose, mezotrofiniuose ar me-

zoeutrofiniuose ežeruose. Tokių ežerų priekrantės smėlėtos, rečiau akmenuotos, mažai arba visai neužaugę šiurkščiaja vandens augalija. Makrofitai užima 10–20% viso ežero ploto. Gruntai turi būti tinkami sykinių žuvų nerštui: smėlėti ir žvirgždėti, 1–5 m gylyje sudaryti virš 25% ežero dugno. Seliaviniuose ežeruose išreikšti visi trys temperatūriniai sluoksniai: epilimnionas, metalimnionas ir hipolimnionas. Epilimnionas – nuo paviršiaus iki 5–7 m gylio, metalimnionas – nuo 5–7 m iki 12 m gylio, hipolimnionas – nuo 10–12 m iki pat dugno. Tai dimiktiniai ežerai. Pagal vandens temperatūrą priedugnio sluoksniuose žiemą ir vasarą terminės stagnacijos metu gali būti termiškai labai gilūs ($\Delta t \sim 0^\circ\text{C}$), termiškai gilūs ($0 < \Delta t \leq 5^\circ\text{C}$) ir vidutinio terminio gylio ($5 < \Delta t \leq 10^\circ\text{C}$).

Seliaviniai ežerai skirstomi į dvi grupes. Vidutinio terminio gylio mezotrofiniuose ežeruose priekrantėje gali būti eutrofijos požymių, todėl jie vadinami mezoeutrofiniais. Mezoooligotrofiniuose ežeruose metiniai bendro fosforo kiekio ($P_{\text{bend.}}$) koncentracijų vidurkiai kinta nuo 0,01 iki 0,06 mg/l, azoto ir fosforo santykis (N:P) – nuo 11:1 iki 72:1, daugiamečiai – nuo 0,021 iki 0,04 mg/l ir nuo 12:1 iki 48:1. Mezoeutrofiniuose ežeruose $P_{\text{bend.}}$ daugiamečiai vidurkiai svyruoja nuo 0,01 iki 0,09, o N:P daugiamečiai vidurkiai kinta nuo 8:1 iki 47:1.

Mezoooligotrofiniuose ežeruose trofiškumo indeksas pagal chlorofilo kiekį (I_{chl}) kinta nuo 29 iki 41, pagal vandens skaidrumą (I_{SD}) – nuo 30 iki 44, saprobiškumo indeksas – nuo 1,28 iki 2,22 (vidurkis – 1,55–1,78), tai atitinka I–II-ą vandens švarumo klasę, arba oligosaprobinę–β-mezosaprobinę zoną. Mezoeutrofinių ežerų trofiškumo indeksas (I_{chl}) yra – nuo 34 iki 55, I_{SD} – nuo 37 iki 63, saprobiškumo indeksas – nuo 1,36 iki 2,27 (vidurkis – 1,60–1,93) ir atitinka I–II-ą vandens švarumo klasę, arba oligosaprobinę–β-mezosaprobinę zoną.

Seliaviniams ežerams būdingos šalta-vandenės zooplanktono rūšys: *Mysis relicta*, *Palasiolla quadrispinosa*, tačiau kai kuriuose ežeruose jos gali ir negyventi ar būti retos. Tokių ežerų giluminėje dalyje vyraujanti žuvų rūšis – seliava. Karšiai tokio tipo ežeruose negausūs.

Karšinės bendrijos. Būdingos mezotrofiniuose ar eutrofiniuose ežeruose, pratakiose tvenkiniuose. Tokių vandens telkinių vidutinis gylis siekia 10–12 m, retai – iki 20 m. Juose dažniausiai būna tik du temperatūriniai sluoksniai – epilimnionas ir metalimnionas. Tai termiškai vidutinio gylio telkiniai. Gilesniuose ežeruose yra visi trys sluoksniai. Vandens skaidrumas juose siekia 1–7 m, krantų užpelkėjimas iki 40–45%, pH 7–8,5. Smėlėtas ir žvirgždėtas gruntas 1–2 m gylyje užima iki 10% viso dugno ploto. Giluminėje telkinio dalyje vyrauja produktyvus dumblas. Deguonies kiekis metalimnione 6–7 mg/l, o hipolimnione – ne mažiau kaip 1 mg/l. Litoralinė zona ir jos augalija gerai išsivysčiusios. Makrofitai ežeruose užima 30–40% ploto, tvenkiniuose makrofitų juostos gali nebūti arba ji yra tik aukštutinėje dalyje. Litoralė, sublitoralė ir profundalė turtingos zoobentosos, jo biomasė siekia 8 g/m² ir daugiau. Reliktiniai vėžiagyviai arba negyvena, arba reti. Iš aukštesniųjų vėžiagyvių vyrauja *Asellus aquaticus*. Tai daugiamaisiai vandens telkiniai. Juose yra visos sąlygos gyventi bentofaginėms žuvims, ypač karšiams. Karšinio tipo ežeruose gali gyventi sterka, o gilesniuose – ir seliavos.

Sterkinės bendrijos. Susiformuoja vidutinio gylio natūraliuose arba dirbtiniuose vandens telkiniuose, retai – gėlo vandens uždaroje jūrų įlankose. Tokių vandens telkinių plotas – nuo keliasdešimties ha tvenkiniuose iki 100 ar net virš 1000 ha ežeruose. Ežerų dubuo sudėtingos formos, jie rininės ar sudėtinės kilmės. Dažniausiai vyrauja kie-

tas gruntas, jie gali būti kalnuose. Ežeruose kietas gruntas (smėlis, žvirgždas) sudaro ne mažiau kaip 10–15% dugno ploto, produktyvus dumblas – 80%. Tokių ežerų priekrantės apaugusios 10–50 m pločio nendrių, mel-dų, rečiau plačialapių švendrų juosta. Ežerų maksimalus gylis siekia 10–15 m, vidutinis gylis – ne mažesnis kaip 2–3 m. Vandens skaidrumas ne didesnis kaip 3 m, pH 7–8,5. Tokie ežerai priklauso vidutiniškai termiškai seklių ežerų grupei, juose yra tik du (rečiau tik vienas ar trys) terminiai sluoksniai: epilimnionas ir metalimnionas. Pratakiose tvenkiniuose gylis gali siekti 2–3 m ir tebuti vienas epilimniono sluoksnis. Tai vidutiniamaisčiai ar mažamaisčiai vandens telkiniai. Vyraujanti žuvų rūšis – paprastoji aukšlė, priedugnyje – pūgžlys ir kuojas.

Kuojinės bendrijos. Susiformuoja sensant sterkiniams ar karšiniams vandens telkiniams. Egzistuoja negiliuose eutrofinuose su silpnai išreikštais distrofijos bruožais ežeruose, išimtiniais atvejais – tvenkiniuose. Jų gylis siekia 7–8 m, tačiau priekrantės gilėja staiga, atabradaai siauri, juose dažnai yra įvirtusių medžių. Vandens pH mažesnis nei 7,2–7,4. Vandens skaidrumas vasarą siekia 0,8–3 m. Tokie ežerai priklauso termiškai seklių vandens telkinių grupei. Uždaruose, tarp kalvų ar miškų esančiuose ežeruose, vanduo labai blogai ventiliuojasi, čia giliausiose priedugnio vietose net vasarą gali susidaryti deguonies deficitas. Ypatingai šaltomis ir ilgomis žiemomis ištirpusio deguonies kiekis gali sumažėti 1,5–2,0 mg/l. Priekrantėje aukštesniosios augalijos labai mažai, tik užpelkėjusiose dalyse auga plūdės ir lūgnės. Vyraujanti taiki žuvų rūšis – kuojas, plėšrioji žuvis – lydeka. Ešerių biomasė maža. Tokių ežerų plotas – nuo kelių iki keliasdešimties ha, dažniausiai neviršija 10–15 ha. Zooplanktoninių organizmų rūšių įvairovė maža, biomasė sudaro mažiau nei 2,0 g/m³.

Zoobentosos biomasė (išskyrus dvigeldžius moliuskus) neviršija 4 g/m².

Lydekinės–raudinės bendrijos. Paprastai būna eutrofinuose vandens telkiniuose bei mezotrofinių ežerų priekrantėse. Virš 50% telkinio ploto yra tik vienas epilimniono sluoksnis. Priekrantės lėkštos, pavasarį užliejamos. Vidutinis gylis siekia 2–3 m, minimalus vidutinis gylis – 1,5 m. Tokie ežerai priklauso termiškai seklių vandens telkinių grupei. Aukštųjų helofitų zona plati, iki 50–100 m pločio. Limneidų zona padengia virš 50–60% bendro dugno ploto. Dugnas labai dumblėtas, kieto grunto gali nebūti. Sublitoralėje vyrauja potameidai. Zooplanktoninių organizmų rūšių įvairovė didelė, biomasė sudaro daugiau kaip nei 4 g/m³ vandens. Vandens pH gali būti mažiau kaip 7,0, skaidrumas ne didesnis kaip 3–4 m, sekliuose ežeruose – iki dugno. Zoobentosos biomasė (išskyrus dvigeldžius moliuskus) viršija 4 g/m². Priekrantės dažnai užpelkėjusios, apaugusios šlapiu lapuočių mišku. Pratakumas mažas ar vidutinis, tačiau žiemą deguonies neturi būti mažiau kaip 1,0 mg/l net ilgomis žiemomis. Tokiuose vandens telkiniuose iš bentofagių žuvų vyrauja kuojos. Vyraujanti plėšrioji žuvis net ir nežuvinant – lydeka.

Lyninės bendrijos. Jos pakeičia karšines ar lydekines–raudines bendrijas. Aptinkamos silpnai pratakiose ar visai nepratakiose eutrofinuose vandens telkiniuose. Jų apy-ežerė gali būti ištisai užpelkėjusi, daugelyje vietų su žemapelkėmis ar aukštapelkėmis. Maksimalus gylis siekia 5–6 m. Vidutinis gylis nedidesnis kaip 3 m, mažiausias vidutinis gylis – 1,0 m. Tokie vandens telkiniai termiškai labai seklūs. Dugno nuolydis mažas, su plačiomis limneidų pievomis. Visos augalijos zonos ryškios, tačiau vyrauja maurabraginiai dumbliai, sudarantys virš 20–30% viso sublitoralės dugno ploto. Žiemą deguonies gali sumažėti iki 1,0–0,8 mg/l. Dugne susi-

daręs storas biogeninių medžiagų turtingas sapropelio sluoksnis. Vandens pH nuo 6,5 iki 8,0, skaidrumas mažas, 1–2 m, tačiau labai sekliuose telkiniuose vanduo būna skaidrus iki pat dugno. Zoobentosos biomasė (išskyrus dvigeldžius moliuskus) viršija 4 g vienam dugno ploto m^2 , čia vyrauja šoniplaukos, apsiuvos ir vandens asiliukai. Didžiausią žuvų biomasės dalį sudaro lynai. Karšiai negyvena. Tokio tipo vandens telkinių sekliose priekrantėse gausios raudės, gilesnėse vietose – kuojos, rečiau plakiai.

Karosinės bendrijos. Keičia kuojines ar lydekines–raudines bendrijas, susiformuoja sekliuose ir labai sekliuose eutrofiniuose bei politrofiniuose vandens telkiniuose, kuriuose gylis – 0,5–3 m. Yra tik vienas epilimniono sluoksnis. Vandens skaidrumas mažesnis nei 1–1,5 m, kartais – tik 0,3–0,5 m. Aktyvioji vandens reakcija (pH) neutrali arba šarminė. Būdinga ryški aukštųjų helofitų juosta, apaugimo pobūdis – ištisinis. Jeigu po žuvų dusimo vandens skaidrumas labai mažas, tai limneidų zonos gali ir nebūti. Deguonies kiekis vandenyje sunkiomis žiemomis gali sumažėti iki 0,3–0,5 mg/l. Tai mažamaisčiai ar vidutiniamaisčiai vandens telkiniai. Tiek žuvų, tiek kitų hidrobiontų gausumas ir biomasė labai priklauso nuo deguonies režimo žiemą ir po žuvų dusimo ypač sumažėja. Juose gyvena tik deguonies trūkumui nejautrios ar mažai jautrios žuvys – paprastieji karosai, lynai, ešeriai, kuojos, o jeigu buvo įžuvinti, – ir sidabriniai karosai. Po dusimo vyraujanti žuvų rūšis – saulažuvė. Tokių vandens telkinių plotas – nuo 0,5–1,0 ha iki kelių dešimčių ha.

Ešerinės bendrijos. Susiformuoja distrofiniuose, dažniausiai aukštapelkiniuose mažamaisčiuose ežeruose, su tam tikrais būdingais bruožais – jų gylis mažas, vandens spalva ruda, storas sapropelio sluoksnis, liūninis

apaugimo pobūdis. Žiemomis tokiuose ežeruose dažnai susidaro deguonies trūkumas (sumažėja iki 0,3–0,5 mg/l), todėl išlieka tik deguonies stygiui atsparios hidrobiontų rūšys – ešeriai ir lydekos, rečiau – kuojos. Vandens aktyvioji reakcija (pH) ešeriniuose ežeruose mažiau nei 6,0, minimali reikšmė – 3,5. Tokių ežerų apyežerės – dažniausiai aukštapelkės, kietas gruntas priekrantėje sudaro mažiau kaip 10–20% ežero priekrantės. Gylis nuo 0,5 m iki 5–6 m, plotas nuo 0,5 ha iki 10–15, retai iki 20–30 ha. Vyrauja rūgštus durpinis sapropelis. Ešeriniuose ežeruose makrofitai auga salelėmis, retai sudarydami kiek didesnes meldų ar plūdžių bendrijas, todėl ryškių helohidrofītų ar potameidų zonų nėra. Dažnos nimfeidų bendrijos. Limneidų zoną kartais sudaro maurabraginiai dumbliai, kai kuriose dalyse padengdami 20–30%, kartais – iki 40–60% bendro dugno ploto. Zooplanktoninių organizmų rūšių įvairovė maža, biomasė sudaro mažiau nei 1,5 g/ m^3 vandens. Zoobentosos biomasė neviršija 2 g/ m^2 , dvigeldžių moliuskų nėra, vyrauja pilvakojai. Dėl grunto savybių zoobentose vyrauja plunksnėtausių mašalų lervos.

Dėl antropogeninės veiklos (į vandens telkinius įleidus svetimžemių rūšių žuvų – karpių, baltųjų ir plačiakakčių amūrų) gali susiformuoti nepastovi, tačiau labai smarkiai keičianti vietinių rūšių populiacijas *karpinė*, arba *svetimžemių* rūšių, žuvų bendrija. Tokios bendrijos dažniausiai susidaro eutrofiniuose ar politrofiniuose dirbtiniuose vandens telkiniuose ir tik išimtiniais atvejais – natūraliuose ežeruose. Virš 60–80% tokių vandens telkinio ploto sudaro tik vienas epilimniono sluoksnis. Priekrantės lėkštos, tačiau dugne vyrauja kieti gruntai. Vidutinis gylis siekia 2–3 m, minimalus – 2,0 m. Aukštųjų helofitų zona siaura, iki 20–30 m pločio, arba jei tvenkinys jaunas, ji, išskyrus aukštutinę dalį, neryški. Limneidų zona padengia mažiau kaip 20–30% bendro dugno

ploto. Giluminės dalies dugnas dumblėtas, senuose tvenkiniuose su storu sapropelio sluoksniu, ypač žemutinėje dalyje. Zooplanktoninių organizmų rūšių įvairovė didelė, biomasė sudaro virš 4 g/m³ vandens. Zoobentos biomasė iki suleidžiant karpus viršija 10 g/m². Vandens pH negali būti mažesnis nei 7,2, natūralus skaidrumas – daugiau kaip 2–3 m. Reikalingas pakankamas pratakumas, žiemą deguonies negali būti mažiau kaip 1,0–1,5 mg/l. Iš kitų žuvų vyrauja lydekos, paprastosios aukšlės bei kuojos. Naujai įvestų žuvų bendrijos natūraliuose vandenyse netoleruotinos ir būtina jas pakeisti vietinių žuvų bendrijomis. Didžiausią pavojų rūšinei natūralių vandenų įvairovei kelia karpis, baltasis amūras. Šios žuvis ypač pavojingos maurabraginių dumblių buveinėms.

8.3. Žuvų ištekliai Lietuvos ežeruose bei tvenkiniuose ir jų naudojimas

Lietuvoje yra daugiau kaip 6000 ežerų, iš jų didesnių nei 0,5 ha yra apie 2850, kurių bendras plotas – 88,3 tūkst. ha. Dauguma šalies ežerų yra labai maži: didesnių nei 1000 ha ežerų yra 13, nuo 500 iki 1000 ha – 19, nuo 100 iki 500 ha – 117, didesnių nei 200 ha – 86, nuo 50 iki 100 ha – 137, kiti ežerai mažesni nei 50 ha (8.4 lentelė).

Beveik visi didesnieji Lietuvos ežerai yra pratakūs, trečdalis jų – vandenskyriniai (apie

300 ežerų) ir tik maža dalis – nenuotakiniai (80 ežerų), vos kelių ha ploto ežerai. Pagal Lietuvos Respublikos Vyriausybės patvirtintą ežerų sąrašą, iš viso šalyje yra 957 valstybinės reikšmės ežerai (Alytaus apskrityje – 160, Kauno ir Klaipėdos apskrityse – po 16, Marijampolės apskrityje – 24, Panevėžio apskrityje – 43, Šiaulių apskrityje – 37, Tauragės apskrityje – 17, Telšių apskrityje – 43, Utenos apskrityje – 328, Vilniaus apskrityje – 277 ežerai), kurių bendras plotas – 75 391 ha.

Šalyje įrengta virš 4 tūkstančių įvairiausių tvenkinių, tačiau dauguma jų mažesni nei 10 ha. Lietuvoje yra 12 valstybės reikšmės vandens tvenkinių – karjerų. Didžioji jų dalis yra 10–60 ha ploto ir tik Lampėdžių karjero plotas 125 ha. 143 tvenkiniai išnuomoti arba išduoti leidimai naudoti jų žuvų ištekliai. Daugelis pačių mažiausių tvenkinių yra privatūs. Neišnuomotuose tvenkiniuose leidžiama tik mėgėjiška žvejyba, ir tik Kauno mariose bei Kaišiadorių HAE aukštutiniame baseine galima ir verslinė žūklė.

Lietuvos ežeruose ir tvenkiniuose gyvena virš 36 žuvų rūšių, įskaitant ir retąsias, nykstančias ar introdukuotas rūšis, priklausančias 13 šeimų: lašišinių (*Salmonidae*) – vaivorykštinis upėtakis, sykinių (*Coregonidae*) – seliava, sykas, peledė; stintinių (*Osmeridae*) – ežerinė stinta; lydekinių (*Esocidae*) – lydeka; karpinių (*Cyprinidae*) – karšis, kuojas, lynas, raudė, žiobris, aukšlė, meknė, salatis, strepetys, šapalas, plakis, paprastasis karosas, sidabrinis karosas, baltasis

8.4 lentelė. Lietuvos ežerų pasiskirstymas pagal dydį

Plotas, ha	Ežerų skaičius, vnt.	Ežerų kiekis, %	Ežerų plotas, tūkst. ha	Ežerų plotas, %
Virš 1000	13	0,46	20,5	23,4
500–1000	19	0,67	12,5	14,3
100–500	117	4,13	24,6	28,0
50–100	137	4,84	9,4	10,7
10–50	655	23,12	15,0	17,1
0,5–10	1892	66,78	5,7	6,5
Iš viso	2833	100	87,7	100

amūras, grūžlys, karpis, saulažuvė, kartuo-
lė; vijūninių (*Cobitidae*) – kirtiklis, vijūnas;
šlyžinių (*Balitoridae*) – šlyžys; šaminių (*Siluridae*) – šamas; ungurinių (*Anguillidae*) –
unguris; dyglinių (*Gasterosteidae*) – tris-
pyglė ir devinspyglė dyglės; ešerinių (*Per-
cidae*) – sterkas, ešerys, pūgžlys; menkinių
(*Gadidae*) – vėgėlė, plerninių (*Cottidae*) –
kūjagalvis. Iš jų 12 rūšių – vertingos verslinės žuvis (vaivorykštinis upėtakis, seliava, peledė, lydeka, karšis, kuoja, lynas, unguris, karpis, sidabrinis karosas, sterkas, ešerys), 17 – mėgėjiškai žūklei svarbios žuvis (stinta, lydeka, karšis, kuoja, plakis, aukšlė, šapalas, paprastasis karosas, sidabrinis karosas, lynas, karpis, raudė, šamas, pūgžlys, sterkas, ešerys, vėgėlė). Likusios žuvis neverslinės, retai sugaunamos žvejų mėgėjų, tačiau svarbios ežerų ir tvenkinių bendrijoms.

Ežeruose gausiausios ir labiausiai paplitusios šilumamėgės žuvis – kuojos, lydekos, ešeriai, lynai, aukšlės, aukšlės, sidabriniai karosai. Gilesniųjų ežerų pelagialėse paplitę stenobiontinės šaltavandenės žuvis – seliavos, stintos. Upinės žuvų rūšys – šapalai, meknės, salačiai, strepečiai, grūžliai, žiobriai, kūjagalviai ir kitos paplitę tik praktikuose ežeruose bei tvenkiniuose. Ežeruose ir tvenkiniuose (išskyrus Kauno marias) verslinėmis žvejybos priemonėmis daugiausia sugaunama kuojų – 4,6 t, karšių – 4,3 t, ešerių – 3,9 t, plakių – 3,7 t, ungurių – 3,5 t, lydekų – 2,8 t, lynų – 2,5 t, sterkių ir seliavų – po 1,4 t per metus (2005 m. duomenys, 8.5 lentelė). Visų kitų žuvų sugaunama tik apie 2 t per metus. Nuo 1996 m. versliniai laimikiai ežeruose ir tvenkiniuose sumažėjo 4

kartus. 2004 m. iš viso sugauta 34 t, 2005 m. – 31 t žuvų. Kauno mariose daugiausia sugaunama kuojų – 99,1 t, plakių – 29 t, karšių – 17,3 t, ešerių – 10,6 t, sterkių – 9,8 t, lydekų – 3,6 t, ungurių – 3,5 t, lynų – 2,9 t ir karpių – 2,3 t. Visų kitų žuvų Kauno mariose sugaunama beveik 10 t. Versliniai laimikiai kol kas skaičiuojami netiksliai – nuo 1991 m. žuvų sugavimai Kauno mariose smarkiai sumažėjo, nors žuvų išteklį tyrimai rodė, kad išteklį būklė stabili. Pagerėjus laimikių apskaitai nuo 1996 m. versliniai žuvų laimikiai padidėjo daugiau nei 2 kartus.

Mėgėjiškos žūklės laimikių ežeruose ir tvenkiniuose apskaita praktiškai nevedama, nors mėgėjiškos žvejybos poveikis žuvų ištekliais vis didėja. Remiantis moksliniais tyrimais, šalyje mėgėjiškos žvejybos priemonėmis kasmet sugaunama 1350–1500 t žuvų. Racionalus išteklį panaudojimas ir jų atkūrimas galimas tik optimaliai suderinus žuvivaisą ir žuvų išteklį eksploataciją, o realus ekonominis žuvininkystės efektas gali būti įvertintas tik esant nepriekaištingai visų žuvų laimikių apskaitai.

8.4. Upių deltų ir estuarijų biologinės įvairovės kaita

Tiek gėluosiuose, tiek druskėtuose vandens telkiniuose nuolatos mažėja plėšriųjų žuvų populiacijos, bet didėja karpinių žuvų ištekliai, ir tai skurdina šių vandenų ekosistemą. Išgaudant vertingas žuvis, tokias kaip lašišos, upėtakiai ir šlakiai, gausėja menkaverčių, trumpaamžių žuvų. Taip pažeidžiama ekosistemos pusiausvyra, eutrofikacija

8.5 lentelė. Versliniai žuvų sugavimai ežeruose ir tvenkiniuose 1996–2005 m., tonomis

Vandens telkiniai	Metai									
	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005
Kauno marios	81	103	104	148	112	106	142	139	230	188
Ežerai ir tvenkiniai	126	100	83	85	59	69	58	64	34	31
Iš viso	207	203	187	233	171	175	200	203	264	219

dar paspartėja. Didėjant upių žemupių vandens trofiškumui, suveši aukštesniųjų augalų augimviečių plotai, ypač plinta svetimžemės rūšys, tokios kaip kanadinė elodėja. Tada ženkliai sumažėja lašišinėms ir eršketinėms žuvims tinkamų kieto substrato nerštaviečių, dėl ko šių žuvų atskirose buveinėse iš viso nebelieka.

Gėlų ar druskėtų jūrų įlankų, deltų ir estuarijų biotos kaita pastaraisiais metais labai ryški. Bakterioplanktonas – viena jautriausių aplinkos pokyčiams organizmų grupė. Pavyzdžiui, 2003 m. Kuršių marios pagal kiekybinį planktoninių bakterijų vystymąsi atitiko mezoeutrofinius (vidutinio produktyvumo), vasarą ir rudens pradžioje – eutrofinius (aukšto produktyvumo) vandens telkinius. Pagal saprobiškumo indeksą (BS/SB) marių vanduo atitinka α -mezosaprobinius, o atskirais laikotarpiais labiausiai teršiamose zonose – α -mezopolisaprobinius vandens telkinius. Atskirais metais užterštumas gali skirtis, tačiau per pastaruosius kelerius metus koliforminių bakterijų kiekis didžiausios leidžiamos koncentracijos ($DLK = 10^4$ ląst./100 ml vandens) Kuršių mariose paprastai neviršija. Tik kai kuriose akvatorijose Klaipėdos sėsiuryje ir ties Nida vasarą užterštumas šiomis bakterijomis viršijo DLK. Svarbiausia Kuršių marių ir kitų panašių druskėto vandens jūros įlankų ekologinė problema – tai besitęsianti eutrofikacija ir su ja susijęs vasaromis pasireiškiantis intensyvus fitoplanktono vystymasis.

Daugelis intensyvų „vandens žydėjimą“ sukeliančių dumblių bei dalis melsvabakterių (*Aphanizomenon flos-aquae*, *Planktotrix agardhii* ir kitos) yra potencialiai toksiški. Jie yra patikimi eutrofikacijos indikatoriai. Tokių vandens telkinių fitoplanktono sėkėcijai būdingas titnagdumblių dominavimas žiemą ir pavasarį bei melsvadumblių dominavimas vasarą ir rudenį. Šalčiausiais žiemos sausio ir vasario mėnesiais bendras

fitoplanktono gausumas būna mažiausias. Pavasarinis fitoplanktono koncentracijos staigus padidėjimas prasideda tuoj po ledonešio balandžio mėn., vandeniui įšilus iki 5–7°C, o vasarinis padidėjimas būna tik vidurvasaryje, vandeniui sušilus iki 20°C ir daugiau. Todėl pagal fitocenozės struktūrą bei mikrodumblių kiekybinio išsivystymo lygį Kuršių marios – didelio trofiškumo vandens telkinys. Vasarą autotrofų bendrijoje ypatingą svarbą įgauna melsvabakterės (*Cyanophyceae*), didelė ir jų rūšių įvairovė. Palyginus su pavasariu, bendras melsvabakterių gausumas ir biomasė gali padidėti nuo kelių iki šimtų kartų. Tokios bendrijos gana stabilios ir išsilaiko iki pat rudens pabaigos.

Pagrindinis upių deltų bei estuarijų vandens telkinių trofiškumo rodiklis – chlorofilo *a* kiekis tiek anksti pavasarį, balandžio mėnesį, tiek vasarą, rugpjūčio mėnesį, nes tuo laiku intensyviausiai vystosi fitoplanktonas. Šiuose vandenyse staigų fitoplanktono suklestėjimą ir chlorofilo *a* kiekio padidėjimą dažniausiai lemia natūralūs abiotiniai veiksniai (mažas vandens maišymasis, sumažėjęs druskingumas bei vandens skaidrumas), tačiau ženklus ir antropogeninis poveikis. Neįtikėtina dideli chlorofilo *a* kiekiai (iki 100 ir daugiau mg/m³) gali būti ne pačiose įlankose, o į jas įtekančių upių delse. Gali būti, kad tai lemia čia esantis žymiai didesnis deguonies kiekis vandenyje. Bendra tendencija tokia, kad per pastaruosius 10 m. daugelyje Europos druskėto vandens telkinių vandenyje žymiai padidėjo tiek chlorofilo *a* kiekis, tiek paties fitoplanktono. Toks procesas nustatytas ir Kuršių marių vandenyje.

Aukštesniųjų augalų bendrijos druskėto vandens telkiniuose labiausiai kinta padidėjus bendram trofiškumui. Pirmiausiai sužėlia nendrės, meldai ir plūdės, ypač pagausėja labai pakančių aplinkos sąlygų pokyčiams rūšių (*Phragmites australis*, *Schoenoplectus*

tabernaemontani, *Schoenoplectus. lacustris*, *Patomogeton pectinatus*, *Patomogeton perfoliatus*). Šių augalų plitimas įrodo didėjanti trofiškumo lygmenį.

Zooplanktono rūšių sudėties ir gausumo pokyčiai druskėto vandens telkiniuose susiję tiek su klimato permainomis, tiek su maisto medžiagų, pritekančių iš upių baseinų, kiekių pokyčiais. Produktiviausi tokie vandens telkiniai, kuriuose biogeninių medžiagų prieteka labai didelė (Aistmarės, Kuršių marios), tačiau druskingumas mažas. Čia labai gausus zooplanktonas, didelė jo rūšių įvairovė. Dėl natūralių gamtinių pokyčių kinta ir zooplanktono bendrijos. Tačiau didėjant trofiškumui mažėja halininių rūšių, bet daugėja indikatorinių hipertrofiniams vandens telkiniams būdingų gyvūnų. Pavyzdžiui, 2003 m. Kuršių mariose buvo rasta indikatorinė hipertoniinių gėlių vandens telkinių rūšis – verpetė *Brachionus diversicornis*.

Kintant aplinkai, pasikeičia ir druskėto vandens telkinių žuvų bendrijų struktūra, pagrindiniai biologiniai jų parametrai. Jei- gu prieš 50 m. Kuršių mariose žuvų bendrijų branduolį sudarė karšiai, pūgžliai, kuojos, trispyglės dyglės ir stintos, tai šiuo metu – karšiai, kuojos, stintos, sterka, lydekos, sidabriniai karosai, žiobriai, unguriai ir salačiai.

Dėl biologinio savitumo ir unikalumo daugelis druskėto vandens telkinių yra saugomos teritorijos. Todėl ir Kuršių marios paskelbtos tarptautinės gamtosauuginės vertės teritorija. Lietuva įsipareigojo ją saugoti pagal Ramsaro konvenciją. Kuršių marios atitinka Bonos konvencijos reikalavimus, yra viena vertingiausių ir svarbiausių teritorijų paukščiams Lietuvoje.

Gyvūnijos apsaugos požiūriu ypač jautrios yra smėlio salos. Tai nestabilus ir Lietuvoje retas biotopas, natūraliai labai pri-

klausantis nuo pavasarinų potvynių bei antropogeninės veiklos (ypač laivybės). Smėlingose salose, kol jos esti plikos arba apaugę reta žoline augalija, peri bei nusi-veisimo metu gyvena daug retų paukščių (žuvėdros, avocetės, tilvikiniai, antiniai ir kiti). Tapusios stabiliomis, netvarkomos smėlingos salos po kelerių metų apauga sumedėjusia pionierine augalija – pirmiausiai gluosniais. Saloms apaugus sumedėjusia augalija, perinčių paukščių bendrijos visiškai pasikeičia. Jų gamtosauuginė vertė smarkiai sumažėja.

Antrasis labai jautrus vandenų komplekso biotopas – smėlingos seklumos. Tokiose vietose mitybai ir poilsiui koncentruojasi daugelis vandens paukščių. Ypač vertingos sukcesiniu atžvilgiu jaunos, žoline augalija neapaugę seklumos. Šių biotopų reikšmė paukščiams labai priklauso nuo vandens lygio deltoje. Vandens lygiui svyruojant, paukščiai pasirenka seklumų vietas, kur jiems vandens gylis yra optimalus (daugumai rūšių – iki 20 cm).

Užliejamose pievose pavasarinės paukščių migracijos metu koncentruojasi dešimtys tūkstančių vandens paukščių. Vasaros pradžioje kai kuriose vietose peri retos tilvikinių paukščių rūšys. Kuršių mariose kasmet rudenį iki joms užšalant koncentruojasi žiemoti likę didieji dančiasnapiai, ledinės antys. Šios paukščių buveinės yra ypač jautrios įvairiam vandens teršimui, ypač naftos produktais. Pastaraisiais dešimtmečiais daugelyje druskėto vandens telkinių labai pasikeitė paukščių rūšių sudėtis, didelį poveikį visai tokių vandenų ekosistemai turi didieji kormoranai. Vien tik Kuršių mariose vasarą maitinasi apie 5–7 tūkstančius šių paukščių. Jei per vieną parą iš šio vandens telkinio išgaudoma 2500–5000 kg žuvų, o per sezoną – apie 1125 tonas žuvų, tai poveikis visai biocenozei yra akivaizdus.

Literatūra

- Brönmark C., Hansson L. A. (1998). *The Biology of Lakes and Ponds*. Oxford–NewYork–Tokyo.
- Bubinas A., Bukelskis E. (1998). *Gėlavandenių hidro-cenozių struktūra ir jų tyrimo metodai*. Vilnius.
- Buljon V. V. (1983). *Primary Production of Plankton in Athalassic Water-Bodies*. Leningrad.
- Garunkštis A. (1988). *Lietuvos vandenys*. Vilnius.
- Grigelis A., Maniukas J., Orlova A. (1975). *Lietuvos ežerų hidrobiologiniai tyrimai*. Vilnius.
- Jankavičiūtė G. J. (1996). *Lietuvos vandenų vyraujan-tys dumbliai*. Vilnius.
- Kavaliauskienė J. (1996). *Lietuvos ežerų dumbliai*. Vil-nius.
- Kesminas V., Virbickas T., Virbickas J. (1996). Apie žuvų išteklį Lietuvos upėse. *Žuvininkystė Lietuvoje* II, 229–236.
- Kilkus K. (1993). *Bendroji hidrologija*. Vilnius.
- Kilkus K. (2005). *Ežerotyra*. Vilnius.
- Kostkevičienė J., Bakūnaitė J., Naujalis J. R. (2001) Analysis of Phytoplankton Structure in Lithuanian Rivers. *Biologija* 2, 84–87.
- Swedish Environmental Protection Agency (2001). <http://www.internat.naturvardsverket.se/>
- Šulijienė R., Budrienė S., Kasperovičienė J., Paškaus-kas R., Šlapkauskaitė G. (1997). Fitoplanktono būklė ir fizi-ologinis aktyvumas Balsio, Kryžiuočių ir Gulbino ežeruose intensyvios vegetacijos metu. *Botanikos instituto mokslinė veikla* 1996. Vilnius.
- Trainauskaitė I., Vasiliauskienė M., Šarkinienė I., Moc-kutė A. (1977). Rasprostranenie, flora i biomassa makro-fitov. *Gidrobiologičeskie issledovanija ozior Dusia, Galstas, Šlavantas, Obelija*, 43–70 (rusiškai).
- Tumas R. (2003). *Vandens ekologija*. Kaunas.
- Virbickas J. (2000). *Lietuvos žuvis*. Vilnius.
- Wetzel R. B. (1983). *Limnology*. Michigan State Uni-versity.
- Wisconsin Department of Natural Resources (2007). www.dnr.state.wi.us

9. Augalijos ir grybijos būklė bei kaita

Augalai ir grybai priklauso skirtingoms gyvų organizmų karalystėms bei skiriasi sandara ir gyvenimo būdu. Vis tiksliai šie organizmai gamtoje glaudžiai susiję tarpusavyje, veikia vienas kito vystymąsi ir paplitimą, todėl augalijos ir grybijos būklė bei kaitą tikslinga nagrinėti viename šio leidinio skyriuje.

9.1. Augalijos ir augalų bendrijos samprata

Augalija susideda iš atskirų augalų rūšių grupių, kur kiekviena rūšis turi savo ekologiją ir istoriją. Augalija vadinama kurios nors teritorijos augalų bendrijų visuma. Atskirame plote augančios augalų bendrijos (įvairūs miškai, pievos, pelkės) sudaro tų plotų augaliją. Miškų bendrijos yra vešlios, išauginančios daug biomasės, bet eglyne auga palyginti nedaug augalų rūšių. Priešingai, sausurinių sričių skurdūs žolynai dažnai pasižymi augalų rūšių gausa.

Pagal geografinės platumos kompleksinį gradientą, sinchroniškai keičiantis temperatūrai (nuo pusiaujo ašigalių link), augalija prasideda pusiau visžaliais sudėtingos struktūros bei gausiais rūšių drėgnaisiais atogrąžų miškais, tolyn į šiaurę eina paatogrąžų miškais, juos keičia vidutinio klimato juostos vasaržaliai, dar labiau į šiaurę – borealiniai spygliuočių miškai, išsauriau pereinantys į tundros retmiškį ir pagaliau į Arkties tundrą, besiribojančią su arktine dykuma. Tolstant nuo pusiaujo, augalai vis žemėja, retėja, mažėja sausos biomasės atsargos. Bet kuriame žemyne galima išskirti augalijos tipus, kurie jungia tam tikros išvaizdos ir struktūros augalų bendrijas, susijusias su tam tikromis klimato sąlygomis. Augalijos tipai su juose egzistuojančiais gyvūnais vadinami *biomais*.

Europoje galima skirti tundros, spygliuočių miškų, vasaržalių miškų, stepių biomas. Šiuo metu keičiantis klimatui, augant anglies dvideginio koncentracijai, pasikeis augalų rūšių regioninis ir biomų paplitimas.

Gamtoje egzistuoja kiekvienos rūšies, taip pat ir augalų, individų grupės – *populiacijos*. Kelių ar keliolikos atskirų rūšių populiacijų sambūvis tam tikrame plote vadinamas *augalų bendrija*, arba *fitocenoze*. Tai kartu gyvenančių, dažniausiai daugelio augalų rūšių populiacijų, sąveikaujančių tarpusavyje ir su jų gyvenama aplinka, sistema. Esant palyginti pastovioms klimato ir dirvožemio sąlygoms, išsilaiko tik tam tikros, tas sąlygas atitinkančios augalų bendrijos: aukštapelkėse auga kiminai su spanguolėmis, smėlynuose – kerpšiliai, šienaujamose pievose – tam tikros miglinių šeimos rūšių bendrijos. Tai rodo, kad patvarios augalų bendrijos susiformavo per ilgą istorinį procesą, natūraliajai atrankai nuolat reguliuojant augalų prisitaikymą ir jų išplitimą tam tikromis sąlygomis.

Augalų bendrijos terminas plačiai naudojamas augalų ekologijoje ir biogeografijoje. Kartais bendrija pavadinama, remiantis vyraujančiomis augalų rūšimis, pvz., ažuolynas. Bendrijos samprata pabrėžia faktą, kad yra svarbūs santykiai tarp augalų, įsikūrusių tame pačiame bendrame plote. Medžių lapija suteikia paunksmę žemiau augantiems krūmams, azotą fiksuojančios bakterijos pertiekia azotą augalų rūšims, gyvenančioms simbiozėje, kelmiai suteikia erdvę sėklų dygimui. Yra daug tarpusavio ryšių tarp įvairių augalų rūšių, kurie atneša naudos vienai ar kelioms rūšims. Nė viena augalų rūšis neegzistuoja biologiniame vakuume. Šie abipusiai ryšiai retai yra pakankamai stiprūs sukurti situaciją, kurioje augalų bendrija turi vienodą auga-

lų rūšių sudėtį santykinai mažame plote. Žolių ir krūmų rūšys, augančios ąžuolyne, kartu su ąžuolais kinta nuo ąžuolynų paplitimo šiaurinės ribos iki pietinės. Augalų bendrijos nėra atskiri vienetai, kurie išlaiko floristinę sudėtį laike ir erdvėje, priešingai, jų sudėtis dažnai kinta nepasikartojančiu būdu.

9.2. Sąlygos augalų bendrijų susidarymui: augalų rūšys ir ekologiniai veiksniai

Augaliją sudaro visa augalų bendrijų mozaika, kuri atitinka būdingų tam tikram landsaftui aplinkos sąlygų įvairovę. Atskirų augalų rūšių populiacijos bendrijose pasiskirsto savaip, remiantis augalų rūšies ekologinio individualumo principu. Kiekviena atskiros augalų rūšies populiacija, jei atsiranda tam palankios sąlygos, užima tinkamą nišą, savaip sąveikaudama ir su fiziniiais veiksniais, ir su kaimyninėmis rūšimis. Augalų bendrijos aprašomos jų rūšių sudėtimi ir struktūra bei populiacijų dydžiu. Tada galima tirti jų ryšius su aplinka ir gyvybinius veiksmus.

Aplinkos elementai, lemiantys augalo individo egzistavimą, vadinami *ekologiniais veiksniais*. Kiekvieną tokį individą veikia daugelis negyvosios (abiotinės) ir gyvosios (biotinės) aplinkos veiksnių. Augalo augimo vietos ekologinių veiksnių visuma vadinama *augaviete* (augimvieta). Atskirų augalų augavietes galima trumpai apibūdinti, nurodant kraštovaizdį. Tokios sąvokos kaip spygliuočių miškas arba pieva duoda supratimą apie augavietę. Augalų rūšių paplitimas priklauso nuo jų diasporų pasklidimo, ekologinės rūšies konstitucijos, jos savybės konkuruoti atitinkamomis sąlygomis su kitomis augalų rūšimis ir pakantumas aplinkos amplitudei.

Ekologinių veiksnių kompleksai. Ekologiniai veiksniai sudaro pagrindinius veiksnių kompleksus: klimato, edafinius, orografinius

ir biotinius. Į klimato sudėtį įeina atmosferos veiksniai – šviesa, šiluma, vėjas, krituliai, oro sudėtis, jo drėgnis ir kita. Edafiniai veiksniai susiję su litosfera, su substratu, kuriam įsitvirtinę augalai. Orografiniai veiksniai – aukštis virš jūros lygio, reljefo ypatumai ir kt. Jų poveikis priklauso nuo to, kad skirtingomis orografinėmis sąlygomis atitinkamai keičiasi klimato ir edafinės sąlygos. Biotinių veiksnių kompleksą sudaro organizmų tarpusavio santykiai, kaip jie veikia vieni kitus. Tai bakteriogeniniai, mikogeniniai, zoogeniniai veiksniai. Ypatingą vietą užima antropogeniniai (susiję su žmogaus veikla) veiksniai.

Svarbiausi ekologiniai veiksniai, kurie dažnai riboja augalų paplitimą, yra vanduo, dirvožemis, šviesa ir šiluma. Į klimato sudėtį iš esmės įeina atmosferos veiksniai: šviesa, šiluma, krituliai, vėjas, oro sudėtis, jo drėgnis ir kt. Daugelio augalų geografinės ribas lemia klimato veiksniai. Bet kurio veiksnio dydžio pakitimas ar šių veiksnių kintamumas konkrečioje vietovėje paveiks gyvenančius organizmus. Augalų rūšys jautrios temperatūrai; reaguodamos į temperatūros pakilimą, gali plisti į vėsesnes vietas, link ašigalių arba migruoti į kalnus. Ekologiniai modeliai prognozuoja, kad Pasaulio biomų paplitimo plotai pasikeis, jiems užimant atitinkamas vietas pagal buvusias klimato sąlygas. Augalų populiacijų paplitimas ir dydis tuose biomuose taip pat pasikeis, atsirandant ekosistemų funkcionavimo pokyčiams.

Augalija ir klimatas: šilumos įtaka augalijai. Pagrindiniai gyvybiniai procesai augaluose (fotosintezė, kvėpavimas, medžiagų apykaita ir kt.) priklauso nuo temperatūros, vyksta tam tikro temperatūros minimumo ir maksimumo ribose bei turi tam tikrą optimumą. Yra ryški augalų geografinio paplitimo sąsaja su šiluminėmis klimato zonomis. Atskirų rūšių prisitaikymą šiuo atžvilgiu

sunku apibrėžti. Jie yra susiję ne tik su atitinkama temperatūra, bet ir su periodiškais jos svyravimais per parą ar metus, su atitinkama augalo plėtotei būtina teigiamų paros temperatūros vidurkių suma (šilumos suma), su šalčiu (temperatūra žemiau 0°C) ir kt. Tačiau metiniai temperatūrų vidurkiai neparodo temperatūros svyravimų, neparodo, kaip ilgai trunka palankių vegetacijai temperatūrų laikotarpis. Remiantis metiniais temperatūrų vidurkiais išskirtos klimato juostos nesisiderina su augalų geografinėmis juostomis. Augalus pagal šilumos reikmę galima grupuoti, remiantis suma šilumos, reikalingos, kad augalas išeitų visą savo plėtotę. Klimato kaitos modelis prognozuoja daugiau šilumos šiauriniuose plotuose, lyginant su temperatūriniais ir atogrąžų plotais. Šiluma pasiskirstys simetriškai per metus, sumažėjant sezonų kontrastams dėl šiltesnės žiemos.

Šilumos apykaita dirvožemio bei augalinės dangos paviršiuje. Saulės spinduliams kertant atmosferą, dalį Saulės spinduliuotės išsklaido oro molekulės, dulkės, vandens garai. Dalis spinduliuotės, kurią absorbuoja dujos, sukelia dalinį oro apvarkalo iššilimą. Be to, dalį bendrosios spinduliuotės, sugrįžtančios į kosmosą, atspindi debesys. Iš viso iki nuogo paviršiaus ateina apie 43% spinduliuotės. Šis procentas sąlyginis. Saulėtomis dienomis spinduliuotė stipresnė nei debesuotomis. Be to, dirvožemio šilumos absorbcija priklauso nuo dirvožemio paviršiaus savybių: paklotės, augalų, sniego ir kt. Insoliacija tuo stipresnė, kuo stačiau krenta Saulės spinduliai. Saulės spinduliuotė stiprėja kylant į kalnus, nes plonėja atmosferos „filtras“. Saulės spinduliuotė sugeria dirvožemio paviršius, ji virsta šiluma, kuri sklinda gilyn – taip dirvožemis kaupia šilumą, ir kartu jos netenkama dirvožemio paviršiuje. Kartu su šilumos skverbimusi į dirvožemį vyksta šilumos išspinduliavimas į atmosferą, išslynt priežemio oro sluoksniui.

Išlįsęs lengvesnis oras pakyla, užleisdamas vietą šaltesniam oro sluoksniui. Taip vyksta nuolatinė oro sluoksnių kaita, kintant apatinio sluoksnio temperatūrai tiek vertikaliai, tiek laike. Šilumos netenkama kartu su pašalinančiais iš dirvožemio vandens garais. Šilumos apykaita kinta ir per parą, ir per metus. Kadangi atmosferoje yra daug junginių, ypač anglies dvideginio, kurie nepraleidžia dirvožemio šiluminių spindulių, tai tik 12% jų patenka į kosmosą, o kita jų dalis sugrįžta į dirvožemį.

Ne tik anglies dvideginis ir vandens garai keičia šilumos režimą. Debesys atspindi ir sulaiko daug Saulės energijos. Kuo gausesni ir storesni debesys, kuo aukščiau yra jų pagrindas, tuo vėsesnė bus Žemė. Nuo debesų aukščio priklauso šiluminių blokuojamų infraraudonųjų spindulių kiekis. Taigi debesys gali vėsinti arba šildyti planetą, priklausomai nuo debesų dangos apimties (visiškai apsiniaukę ar yra pragiedrulių), debesų aukščio ir storio. Vidutiniškai debesys turi tendenciją vėsinti planetą. Palydovų pagalba nustatyta, kad atmosfera absorbuoja daugiau spinduliuotės, nei teoriškai buvo prognozuota. Priešingai, šylant planetai, sniego ir ledo kiekis (tuo pačiu jų atspindimos energijos kiekis) mažės, todėl planetos paviršius dar labiau įšils. Atšilimą skatina šiltnamio dujų efektas, atsirandantis kertant miškus ir deginant biomasę (anglies dvideginio išskyrimas), taip pat pašalinant augaliją, kuri absorbuotų anglies dvideginį iš atmosferos fotosintezės metu. Jei miškų kirtimo ir jų atsodinimo darbai gali trukti nuo metų iki dešimtmečių, tai anglies dvideginio ciklas atmosferoje trunka nuo 50 iki daugiau nei 100 metų. Taigi atspindimų Saulės spindulių vėsinašasis efektas ir šiltnamio dujų šildomasis efektas, vyksta skirtingu laiku: pirma vyksta atvėsimas, vėliau – atšilimas. Biomasę deginant ore atsiranda dūmų dalelių, vadinamų aerozoliais. Šie aerozoliai gali būti vėsimo arba šilimo priežastis, atsi-

žvelgiant į tai, kiek Saulės energijos jie sugeria, lyginant su atspindimos į kosmosą Saulės energijos kiekiu. Virš degimviečių dūmų debesys atrodo visai juodi, rodydami didelę energijos absorbciją, kai toliau pavėjui jie atrodys balti, rodydami mažesnę absorbciją arba jos nebuvimą. Nustatyta, kad XX a. paskutinio dešimtmečio Indonezijos miško gaisrų dūmai sumažino Saulės šviesą, dienos ilgį ir sulėtino fotosintezę.

Šilumos apykaita augalų bendrijoje. Kai augalai visiškai apdengia plotą, dalį spindulių sulaiko augalų lapai ir stiebai bei dirvožemio paklotė. Iki dirvožemio paviršiaus nueina 20% insoliacijos. Jos sugėrimas vyksta ne ploname priežemio oro sluoksnyje, bet tame oro sluoksnyje, kurį užima augalai. Čia šiluma sunaudojama garinimui, kas labai sumažina temperatūrą. Kai auga žoliniai augalai su horizontaliai išsidėstančiais lapais, augalų užimtame oro sluoksnyje padidėja maksimali temperatūra. Oro sluoksnius, kurį užima žoliniai augalai su beveik vertikaliais išsidėstančiais lapais, yra vėsesnis, nes vyksta intensyvesnė oro sluoksnių kaita. Vidutinių platumų miškuose vasaros dienomis temperatūra žemesnė, o naktį – aukštesnė nei atviroje vietoje. Miške ilgesnis šiltasis laikotarpis. Ramiomis dienomis tarp medžių vainikų oro temperatūrų svyravimai labai maži, kas padidina oro įšilimą. Naktį šilumą išspinduliuoja vainikai ir kamienai, oras virš ir po medžių vainikais yra šiltas nei erdvėje tarp vainikų. Miško poveikis temperatūrai labai priklauso nuo jį sudarančios medžių rūšies. Temperatūros amplitudės svyravimai mažesni bukų miške nei pušyne. 80% Saulės spinduliuotės perima vainikai, o likusieji spinduliai (5–20%) pasiekia paklotę. Temperatūros režimą miške sąlygoja paros spinduliuotė, medžių tankumas, jų habitas, reljefas ir ekspozicija.

Augalų bendrijose paprastai nustatomi

mažesni ir metinės, ir paros temperatūrų svyravimai. Vidutinio klimato zonoje augalų vegetacija pavasarį miške prasideda vėliau nei atviroje vietoje, bet rudenį ji trunka ilgiau. Ne tik vegetacijos metu, bet ir augalų bendrijos erdvėje temperatūra nevienoda. Pavyzdžiui, giedrą vasaros dieną ąžuolyno su buku miške aukščiausia temperatūra buvo ąžuolų lajų aukštumoje, o leidžiantis į apačią mažėjo, ir bukų lajų lygyje vėl pakilo, paskui vėl žemėjo, bet ties dirvožemiu kiek pakilo. Vasarą dirvožemio temperatūra miške žemesnė negu atviroje vietoje, nes didelę Saulės spinduliuotės dalį sugeria augalų antžeminiai organai. Žiemą miško paklotė ir sniegas apsaugo dirvožemį nuo šilumos išspinduliavimo, todėl jis šiltesnis. Šilumos režimas veikia ir vandens režimą miške.

Šviesos įtaka augalijai. Šviesa augalams reikalinga fotosintezei – pagrindiniam organinių medžiagų gamybos procesui, be to, ji reguliuoja augalų dygimą, augimą, kvėpavimą ir reprodukciją. Augalai prisitaiko prie dienos ilgumo, kuris priklauso nuo geografinės platumos ir šviesos intensyvumo. Periodiškas šviesos ir tamsos per parą keitimasis turi poveikį augalams ir sukelia atitinkamą jų prisitaikymą. Augalai skirtingai toleruoja šviesos intensyvumą: šviesomėgiai augalai auga atvirose neužtemdytose vietose, ūksminiai augalai – pavėsingose vietose. Tai dažniausiai miško žolės ir krūmokšniai. Dienos šviesos intensyvumas priklauso nuo daugelio aplinkybių: debesuotumo, rūko, dulkių priemaišų ore. Augalų bendrijose augalai ne tik užtemdo vieni kitus, bet ir to paties augalo, ypač medžių, vieni lapai yra atviroje šviesoje, kiti – paunksmėje. Kiekviena augalų rūšis geriausiai auga optimaliomis jai šviesos sąlygomis. Šviesa yra ribojantis ekologinis veiksnys, kuris lemia augalų konkurenciją ir veikia atskirų rūšių paplitimą. Dienos apšvietimo intensyvumas įvairiose Žemės

srityse yra nevienodas, pvz., kalnuose skirsis nuo žemumos. Šviesos reikmės minimumas priklauso nuo augalo geografinės padėties: arčiau ašigalio jis didesnis, todėl augalas pasidaro šviesomėgis, nepakelia didelio užpavėsinimo. Dėl to šiaurės miškai yra šviesesni, ir kai kurie Vidurio Europos miškų augalai šiaurėje keičia biotopą ir pereina į atviras vietas.

Augalų pasiskirstymas aukštais bendrijoje parodo augalų reikmę šviesai, nes nuo viršutinio aukšto žemyn augalų bendrijoje šviesos intensyvumas silpnėja. Viršutinio aukšto augalai gauna visą dienos apšvietimą. Dalį šviesos jie sugeria, dalį atspindi, o likusi silpnesnė šviesa pasiekia žemesnį aukštą. Didesnė šviesos dalis sunaudojama fotosintezėi. Miške krūmų aukštas gauna mažiau nei 10% tos Saulės šviesos, kurią gauna viršutinio aukšto medžiai. Krūmai sugeria vėl dalį atėjusios šviesos ir miško žolių aukštą pasiekia vos 1–5% visos šviesos. Į atogrąžų miško pažemį kartais patenka vos 0,2% Saulės šviesos. Čia ypač silpna fiziologiškai aktyvi spinduliuotė (FAS). Šviesos intensyvumas ir jo spektro sudėtis miško bendrijose kinta ne tik vertikalia, bet ir horizontalia kryptimi dėl medžių lajų nevienodo susivėrimo. Keičiasi šviesos režimas ir skirtingu metų laiku. Vasaržaliame miške palankios sąlygos pavasarį prieš sužaliuojant medžiams. Įvairūs augalų aukštai gauna ne tik skirtingo intensyvumo šviesą, bet ir nevienodos spektro sudėties spindulius, nes fiziologiškai aktyvius spindulius (raudonai geltonus ir mėlynai violetinius) pirmiausia sugeria viršutinio aukšto lapai. Žemutiniame aukšte ypač susilpnėja fiziologiškai aktyvi spinduliuotė.

Vandens režimo įtaka augalijai: vanden-grąža atmosferai. Esminis augalų prisitaikymas vandens režimui – vandens balanso palaikymas. Vandens balansu vadinamas santykis tarp šaknimis įsiurbiamo ir transpi-

racijos metu netenkamo vandens. Jei augalas netenka daugiau vandens negu įsiurbia, vandens balansas sutrinka, ir jei neatsistato, po kurio laiko augalas žūva. Vandens balansas priklauso nuo to, kiek vandens yra aplinkoje, kaip greitai jis patenka vandens indais iš šaknų į lapus ir kaip intensyviai transpiruojama.

Augalų bendrijoje būdingas didesnis nei atviroje vietoje santykinis ir absoliutusias oro drėgnis, kurį nulemia augalų transpiracija. Juo labiau aukštai susivėrę, tuo didesnis drėgnis. Tai savo ruožtu veikia ir žemesnių aukštų garinimo intensyvumą. Garinimo intensyvumas priklauso nuo temperatūros, drėgnio ir vėjo stiprumo. Šie ekologiniai veiksniai veikia ir transpiraciją. Miško fitocenozėje vėjas kelis kartus silpnesnis nei atviroje vietoje. Dalį kritulių miške sulaiko medžių lajos, silpną liūtų jos gali visiškai sulaikyti. Skirtingų medžių rūšių lajos nevienodai sulaiko kritulius: eglynas sulaiko didelę kritulių dalį, o pro buko lapus didesnė dalis kritulių prasisverbina ir pasiekia žemę. Kalnų miškams būdingi horizontalieji krituliai. Tai kondensuoti ant šakų ir lapų vandens garai bei rūko vandens lašeliai. Keiptauno (Pietų Afrika) apylinkių miško krūmų aukšte 16 kartų daugiau susikaupia vandens nei atviroje vietoje. Vandens režimas miško fitocenozėje priklauso nuo kritulių pasiskirstymo žiemą. Miške nenupustomas sniegas sudaro lygų sluoksnį, lėčiau ir vienodžiau tirpsta. Ištirpusį sniegą pamažu sugeria samanų ir paklotė. Tirpsmo vanduo nuteka miške srautais, o susigeria vietoje. Vandens nutekėjimą sulaiko ir augalų bendrijos augalų šaknys. Tiek miško, tiek žolinės fitocenozės kartu su šaknimis apsugo šlaitus nuo erozijos, upių slėnio dirvožemius – nuo išplovimo per potvynius. Augalija ima vandenį iš dirvožemio ir sugrąžina jį atmosferai vandens garų pavidalu. Augalai dalyvauja vandens garinimo-transpiracijos procese, kai vanduo pasišalina iš dirvožemio

į atmosferą, garuojant kapiliariniam vandeniui ir vykstant augalų transpiracijai. Pagal naujausias prognozes, didesni atmosferos anglies dvideginio kiekiai kartu su aukštesne temperatūra gali pakeisti vandens garinimo-transpiracijos procesą. Kartu pasikeis sausumos hidrologinis ciklas ir sausumos augalijos tipai. Fotosintezės metu žalių lapų žiotelės leidžia anglies dvideginiui patekti į lapo vidų, o iš lapo vanduo garų pavidalu patenka į atmosferą. Toks vanduo vėsina sausumos paviršių. Kai vanduo lape išeikvojamas, augalo šaknys paima jo iš dirvožemio. Augalai nuolat reguliuoja žiotelių plotį, kad būtų maksimalus fotosintezės greitis, mažiausiai netenkant vandens. Kai atmosferos anglies dvideginio koncentracija didėja, augalai gali sumažinti savo transpiracijos greitį (vandens netekimą), nesumažinant arba gal net truputį padidinant fotosintezės greitį. Mokslininkams sumodeliavus šį efektą, aiškėja, kad didėjant anglies dvideginio kiekiui transpiracija sumažės, nes mažės vandens garų kiekis atmosferoje. Anot M. Natkevičaitės-Ivanauskienės (1983) atogrąžų lietingųjų miškų drėgmė, sąlygojama kritulių, pastovios debesų dangos ir transpiracijos, sukuria intensyvią aplinkos drėgmę. Dideli lietingųjų miškų masyvai padeda formuoti liūčių debesims ir generuoja apie 75% savo lietaus. Amazonės lietingieji miškai sukuria 50–80% savo lietaus. Miškų naikinimas ir klimato pokytis gali paveikti vandens apykaitos ciklą atogrąžų miškuose. 1990–2005 metais Pasaulio lietingieji atogrąžų miškai patyrė dideles sausras. Sausra kartu su žmonių sukelta miško degradacija paskatino miškų gaisrų kilimą. Kai miškas nukirstas, išvalytas, augalija absorbuoja mažiau šilumos ir išgarina mažiau drėgmės transpiracijos metu. Tada susiformuoja mažiau lietaus debesų ir mažiau kritulių iškrenta į mišką. Tyrimai patvirtino, kad Amazonės miškuose sausuoju metų laiku buvo aiški mažesnio

kritulių kiekio ir aukštesnės temperatūros koreliacija virš iškirsto miško. Miškas tampa sausesniu, jį pakeičia savana, kuri mažiau išgarina vandens, turi mažiau drėgmės ir joje dažniau kyla gaisrai, kurie savo ruožtu gali keisti regiono klimatą, stabdydami debesų formavimąsi. Kai kurie šiuolaikiniai tyrinėtojai teigia, kad aerozoliai, randami miško gaisrų dūmuose, turi iš dalies tiesioginį efektą klimatui, sukeldami debesų dangos sumažėjimą ir paviršiaus atšilimą. Lietaus formavimosi tropikų debesyse procesai dažnai praktiškai sustabdomi, kai debesys užteršiami miško gaisrų dūmais. Nustatyta, kad, kai Kalimantano salos pietrytinė dalis buvo uždengta dūmais, o jos šiaurės vakarinė dalis buvo santykinai švari, krituliai aptikti neužterštuose dūmais debesyse, bet jų visiškai nebuvo užterštuose debesyse. Panašios išvados paskutiniu metu gautos ir Amazonės lietingiesiems miškams.

Atmosferos įtaka augalijai: cheminiai veiksniai. Atmosferos svarbą augalijai lemia jos savybė apsaugoti nuo staigių temperatūros pokyčių ir ultravioletinių spindulių. Atmosfera – anglies dvideginio ir deguonies šaltinis, be kurių nevyktų fotosintezė. Sausas oras turi 78% azoto, 21% deguonies, 0,032% anglies dvideginio ir kitų dujų pėdsakų. Atmosfera turi netiesioginį poveikį augalams, keisdama temperatūros ir šviesos pasiskirstymą. Didžiausią įtaką augalams turi atmosferos deguonis, anglies dvideginis ir vandens garai. Visas atmosferos deguonis pereina per gyvus organizmus apytiksiai per 2 000 metų. Nors kasmet deguonies atsargos papildomos 70×10^9 t, vis tik reikšmingiausias yra esamas atmosferoje deguonis ($1,2 \times 10^{15}$ t). Augalai fotosintezės metu padidina deguonies kiekį, o anglies dvideginio kiekis atmosferoje, manyta, išlieka toks pats. Deguonies kiekį truputį sumažina mikroorganizmų, gyvūnų ir augalų kvėpavimas.

Anglies dvideginis dalyvauja anglies apykaitos cikle: atmosferos anglies dvideginis absorbuojamas augalų fotosintezėje, paverčiant jį angliavandeniais. Kvėpavimo procese angliavandeniai oksiduojami išsiskiriant energijai medžiagų apykaitos procesams, vandeniui ir anglies dvideginiui. Žalieji augalai kasdien asimiliuoja apie 6–7% atmosferos anglies dvideginio, o tik 30% angliavandenių sunaudojama transpiracijai. Augalai turi ne tik fotosintetinančius organus, bet ir tokius, kurie egzistuoja fotosintezės produktų dėka ir dar transpiruoja. Tai labai svarbu, kai augalų bendrijoje vyrauja kvėpuojantys organai. Vidutinių platumų žalioji fotosintetinant masė sudaro 1–2%, sumedėję kamienai – apie 79%, o šaknys ir ūgliai – apie 20% visos fitomasės.

Per paskutinius 20 metų Pasaulio augalija buvo paveikta anglies dioksido padidėjimo, įsisavinant daugiau anglies dvideginio ir fiksuojant jį fitomasėje, o tada išskiriant transpiracijos ar irimo procesuose. Per tą patį laiką oro temperatūra virš sausumos pakilo, todėl susidarė palankesnės augimo sąlygos šiaurės ir vidutinėse platumose. Dabar šiaurėje pavasaris prasideda apytiksliai savaite anksčiau nei prieš 20 metų. Todėl laipsniškas ir nedidelis šilimas veikė fotosintezę, o ne kvėpavimą-irimą, paveikiant Pasaulio anglies balansą, nes apytiksliai ketvirtadalis pramonės išmesto anglies dioksido dabar fiksuojama ir kaupiama augalijoje. Jei tokia tendencija išliks, Pasaulio atšilimas nebus toks katastrofiškas, nes didėjantys anglies dioksido kiekiai yra absorbuojami iš atmosferos ir kaupiami augaluose.

Anglies dioksidas atmosferoje sudaro nedidelį kiekį, lyginant su deguonimi. Net nedideli jo svyravimai gali turėti daryti įtaką fotosintezei. Per parą anglies dioksido kiekio svyravimai nedideli. Tankiose augalų bendrijose tokie svyravimai gali siekti 25% nuo vidutinio dydžio. Šie svyravimai užregistruoti iki viršutinių atmosferos sluoksnių. Bendras

anglies dvideginio asimiliacijos greitis plačiai kinta, atsižvelgiant į augalijos tipą. Per metus 1 m² lietingojo atogrąžų miško fiksuoja 1–2 kg anglies dioksido. Atitinkamas arktinės tundros arba dykumos augalijos plotas fiksuoja vos 1% šio kiekio. Be anglies dioksido paros svyravimų yra ir metiniai svyravimai atmosferoje, ypač virš Šiaurės pusrutulio, kurio didelį plotą užima sausuma. Čia pavasarį anglies dioksido sąnaudos pradeda viršyti iš dirvožemio išsiskiriantį anglies dioksidą. Nuo balandžio iki rugsėjo atmosfera netenka 3% anglies dioksido atsargų (3 mlrd. t). Miškai yra pagrindinis anglies dioksido vartotojas, o kartu ir pagrindinis chemiškai sujungtos anglies rezervas.

Anglies dvideginis išsiskiria, kai dega medžiagos, išsiveržia vulkanai, suyra karbonatinės kalnų uolienos. Anglies dioksido išskiria ne tik augalai sausumos augalų bendrijose, bet ir dirvožemio organizmų visuma („dirvožemio kvėpavimas“). Minėtas procesas skirtingose augalų bendrijose vyksta nevienodai.

Atmosferoje yra nepastovių komponentų, pvz., dūmai arba pramoninės dujos. Pramoninių dujų šaltinis – deginama akmens anglis ir kitas kietas kuras. Pavojingiausios augalams yra dujinės pramoninių dūmų dalys: sieros dioksidas, fluoras, vandenilio fluoridas, chloridai, azoto oksidas. Daugelis jų sukelia augalų nudegimus ir net jų žuvimą. Šios kenksmingos dujos pažeidžia svarbius fiziologinius procesus, sulėtėjant augimui ir augalų plėtotei, sumažėjant jų gyvybingumui ir produktyvumui. Be to, biomasės deginimas sukelia mažas dūmų daleles, vadinamas aerozoliais. Fosilinio kuro deginimas automobiliuose, gamyklose ir elektrinėse irgi padidina aerozolių kiekį atmosferoje, atsiranda taršos debesys. Vidutiniškai Pasaulyje aerozoliai, atsiradę dėl žmogaus veiklos, dabar sudaro 10% visų atmosferos aerozolių. Šie dūmai ir dujos keičia klimato sąlygas greta

pramonės objektų: oro drėgnis ir apšviestumas nesiekia normos, o temperatūra visada aukštesnė. Pramoninės dujos – specifinis antropogeninis veiksnys, istoriškai neilgai veikiantis, todėl augalai dar neprisitaikė, neįgijo jam adaptacijų. Tokios dujos, patekusios per lapų žioteles, kontaktuoja su audiniais, kuriuose vyksta fotosintezė. Tarpuląsčiuose kaupiasi kenksmingos medžiagos, difunduoja (skverbiasi) per ląstelės sienelę į ląstelių citoplazmą. Veikiant dideliems tokių dujų kiekiams, ypač sieros dioksido ir fluoro, lapo audiniai pakinta ir sutrinka angliavandenių bei azoto apykaita, suyra chloroplastai ir chlorofilas. Iš apytakos audinių labiausiai pažeidžiama karniena. Nukenčia žiotelių varstomoji funkcija, kas sumažina transpiracijos intensyvumą. Sieros junginių toksiškumas priklauso nuo temperatūros ir šviesos: didžiausi sieros junginių pažeidimai augalams vyksta vidurdienį. Rūgštusis lietus atsiranda dėl pramonės objektų ir transporto priemonių išmetamų sieros dioksido ir azoto oksidų. Atmosferoje jie susijungia su vandens garais debesyse, virsdami sieros ir azoto rūgštimis. Su lietumi ir sniegu rūgštys patenka ant Žemės paviršiaus. Rūgštusis lietus Vakarų Europoje, Japonijoje, Kinijoje, Pietryčių Azijoje ir Indijoje antroje XX a. pusėje labai paveikė augaliją, ypač miškus. Manoma, kad Vakarų Europos miškai nyksta dėl tokio lietaus, nes rūgštys suardo lapo vaško sluoksnį, po to difunduoja į lapą, paveikdamos dujų apykaitą (sustabdo transpiraciją). Tada mitybos medžiagos ir vanduo nepanaudojami augimui. Be to, miškų dirvožemiuose ne tik inhibuojamos mitybos medžiagos, bet kaupiasi toksiški metalai, ypač aliuminis. Stabdymas vyksta, kai rūgštaus lietaus vandens jonai jungiasi su kalciumu, magniu ir kaliumu, jiems tampant neprieinamais augalams.

Augalų kvėpavimo padidėjimas dėl globalios temperatūros augimo gali būti pervertintas, nes neįvertinta augalų savybė prisitai-

kyti prie kintančių sąlygų. Modeliuojant nustatyta, kad aklimatizuojantis augalams, jie ir dirvožemis anglies sukaups apytiksliai 9% daugiau. Kol kas klimato kaitos modeliuose neįvertinama augalų adaptacija.

Padidėjęs anglies dioksido kiekis skatina augalų augimo greitį. Tai padės augalams įgyti atsparumą ligoms. Nustatyta, kad, padidėjus anglies dvideginio absorbcijai fotosintezės procese, sumažėjo bendras vandens naudojimas. Toks reiškinys padidins augimo ir vandens sunaudojimo efektyvumą Pasaulio augalijai. Nyderlanduose nustatyta, kad kai kurie kultūriniai augalai ne tik greičiau augo, bet ir anksčiau subrendo, padidėjo vaisių svoris ir bendras derlius maždaug 25%. Anglies dvideginio koncentracija atmosferoje laipsniškai didėja, o didesnė jo koncentracija pagreitina augalų augimą.

Per paskutinius 15 metų apytiksliai ketvirtadalį pramonės anglies dioksido emisijos absorbavo ir sukaupe Šiaurės pusrutulio augalija, pirmiausia Š. Amerikos ir Eurazijos borealiniai bei temperatiniai miškai. Lietuvoje planuojama toliau plėsti miškų plotus, nes augant medynams bendra anglies dioksido emisija sumažėjo 41% (2003 m. duomenimis).

9.3. Savaiminė augalijos kaita

Augalų bendriją sudaro skirtingų ekologinių savybių augalų rūšys. Išryškėja tam tikras augalų rūšių pasiskirstymas pagal aukštį (vertikaliąją diferenciaciją), perimant reikalingą šviesos kiekį, išsidėstymas dirvožemio paviršiuje (horizontalioji diferenciacija) ir tam tikra seka vykstanti augalų rūšių plėtotė per vegetacijos laikotarpį (diferenciacija laike).

Įvairiai išsidėstydami dirvožemio paviršiuje augalų bendrijos individai sudaro savotišką mozaiką. Dažniausiai individai išsidėsto ne pavieniui, bet grupėmis. Tokį išsidėstymą

nulemia aplinkos savybės – skirtingas šviesos intensyvumas ir nežymūs mikroreljefo skirtumai, taip pat augalų rūšių tarpusavio priklausomybė.

Įsikūrusios tuščiam plote fitocenozės gali keistis, veikiant aplinkos abiotiniams, ypač klimato, ir biotiniams veiksniams. Dažna tokia fitocenozių raida, kai vieną fitocenozę, užimančią tam tikrą erdvę, pakeičia kita. Toks kitimas vyksta lygiagrečiai su aplinkos sąlygų kurio nors gradiento kitimu. Jį galima pailiustruoti augalų bendrijų kitimo pavyzdžiu Kuršių nerijoje. Pajūrio kopose įsikuria miglinių šeimos rūšių – rugiaveidės ir smiltlendrės – bendrija. Ši bendrija sutvirtina substratą ir sudaro sąlygas kurtis kitoms pilkųjų kopų bendrijoms. Jas pakeičia krūmų ar krūmokšnyų bendrijos, ir pagaliau įsikuria miškas – pušynas. Tokia kaitų eilė, jei vyksta netrikdomai, baigiasi patvariausia, ilgalaike, tas sąlygas geriausiai atitinkančia brandžia bendrija. Kuršių nerijoje tokia bendrija yra mėlyninis pušies – ąžuolo miškas. Augalų rūšys dalijasi ta pačia aplinka, sudedamosios rūšys gali reaguoti į klimato pokyčius skirtingai. Dažnai augalų bendrijų kaitą nutraukia žmogaus veikla.

9.4. Žmogaus poveikis augalijai

Žmogus aktyviai keičia Žemės paviršių veikdamas augaliją. Augalijos pokyčiai, prasidėjus žemdirbystei ir gyvulininkystei, sąlyginai buvo nedideli, nors javų laukams, pievoms ir ganykloms buvo kertami miškai. Pastarieji buvo reikalingi gyvenamojo būsto statybai, kurui, įrankių gamybai. Dabartinė Vakarų ir Centro Europos miškų struktūra nulemta ankstesnio ūkininkavimo. XIX a., vykstant industrializacijai, buvo dar intensyviau naudojami gamtos ištekliai. XX a. pramonės ir transporto plėtra, jų sukelta tarša atsispindėjo Pasaulio augalijos pokyčiuose.

Miškų komercinis kirtimas, intensyvus žemės ūkis, melioracija, irigacija, taip pat didelių miestų ir pramonės objektų statybos paskatino spartų kai kurių augalų rūšių nykimą. Žmogaus veiklos pakeistas kraštovaizdis aiškiai matyti palydovų pagalba (sunaikinti atogrąžų miškų plotai). Žmogus tapo geologiniu veiksniu, pertvarkančiu kraštovaizdį: pakeista nuo 1/3 iki 1/2 sausumos paviršiaus. Labiausiai žmogaus įtaka paveikė vidutinių platumų augalų biomas: įkurti milžiniški agrokultūrų plotai vietoj miškų ir stepių. Miškų naikinimas tęsiasi atogrąžose, kai besivystančios tautos stengiasi aprūpinti savo gyventojus. Pastebėta, kad augalų rūšių įvairovės nykimas spartesnis nei anglies ciklo ir globalaus klimato kaita. Pasaulinės augalijos mastas, tipas ir būklė bus esminis veiksnys, apibrėžiant žemyno klimatą ir atmosferos anglies dvideginio didėjimo greitį. Ateityje reikės daugiau žinoti apie Pasaulio augalijos paplitimo (paplitimo pokyčius) ir jos sezoninius pokyčius, taip pat vandens ir anglies apykaitą tarp sausumos augalijos ir atmosferos. Tai padaryti gali padėti palydovai. Jie jau naudojami, aptinkant fotosintezės produktyvumo, augalijos tipo ir augimo sezono dinamikos pokyčius. Palydovai TERRA ir LANDSAT-7 atlieka Žemės biosferos stebėseną. TERRA prietaisai pateikia Pasaulio augalijos dangos išplitimą, padeda įvertinti sezoninius ir kasmetinius sausumos augalijos pokyčius. Abiejų palydovų prietaisai pateiks detalią informaciją apie pasirinktas ypatingo dėmesio teritorijas, pvz., kertamų miškų plotus. Tyrimai parodė, kad dalis augalų rūšių pasistūmėjo link ašigalio ar pakilo aukščiau, užimdamos plotus, kurie anksčiau buvo per šalti išgyvenimui. Pažymima, kad greitas temperatūros pakilimas, kartu su kitais ekologiniais veiksniais, gali lengvai pertraukti augalų rūšių tarpusavio ryšius, kas nulems daugybės augalų rūšių išnykimą. Temperatinės zonos rūšių analizė atskleidė,

kad pavasario reiškiniai (žydėjimas, ramybės pabaiga) dabar vyksta vidutiniškai 5,1 dienos anksčiau nei prieš dešimtmetį. Tokie ilgalaikiai augalų stebėjimai Viskonsine atskleidė, kad laukiniai snapučiai, sinavadai ir kitos rūšys pražysta anksčiau. Paaiškėjo, kad Alias-koje paskutiniaisiais metais baltosios eglės (*Picea glauca*) augimas vis tiksliai ženkliai sulėtėjo dėl atšilimo. Klimato pokyčio modeliai pranašauja, kad ašigaliai atšils greičiau nei pusiaujaus. Tikėtina, kad augalų rūšys skirtingai reaguos į klimato kaitą: kai kurios augalų rūšys gali išnykti įprastinėse augalų bendrijose.

Miškai. Temperatūra ir dirvožemio drėgmė riboja miško medžių paplitimą. Kai kurie šiaurės miškai ribojami ir dirvožemio veiksnių. Žmogaus tvarkomų miškų natūralus plotas Europoje sumažėjo, pasikeitė didesnės jų dalies struktūra. Šiaurės Europos borealiniuose miškuose vyrauja paprastoji eglė ir paprastoji pušis. Šiltesnėmis sąlygomis jos gali įsikverbti į tundros regioną. Pietiniuose borealiniuose miškuose šios rūšys retėja, nes pradeda konkuruoti su gausėjančiomis lapuočių medžių rūšimis. Daugelis klimato kaitos scenarijų nurodo galimą klimato zonos, tinkamos borealiniais miškams, visišką pokytį kitame amžiuje 150–550 km ruože. Šis pasistūmėjimas vyks greičiau nei ankstesnėse rūšių migracijose (20–200 km poslinkis per amžių). Kyla klausimas, ar bus tinkami miškų plitimui dirvožemiai. Be to, miško pokyčius gali paspartinti padažnėję gaisrai, sustiprėję vėjai vėlyvą rudenį ir ankstyvą pavasarį. Remiantis naujausiais klimato modeliais, žiemos dar bus šaltos ir atitiks pagrindines borealinių miškų bendrųjų reikmes. Jei vasaros ir žiemos kritulių kiekis nepadidės, borealiniai miškai nebus tokie atsparūs gaisrams. Dabar šaltos žiemos borealiniuose ir kai kuriuose temperatiniuose regionuose saugo miškus nuo kenkėjų ir ligų, kas nebūdinga piečiau esantiems miškams. Visoje

Europoje miškai apsisaugo nuo naujų augalų rūšių invazijos esant dabartiniam klimatui. Manoma, kad ateityje miškai bus vienodesni augalų rūšių atžvilgiu. Temperatūros pakilimas 1–3°C pagreitins daugelio rūšių sulapojimą keletu savaitių anksčiau. Jau anksčiau buvo introdukuotos naujos augalų rūšys ar ekotipai (pvz., *Nothofagus procera* Britanijoje). Šiltesnės žiemos gali išplėsti tokių rūšių paplitimo plotą Europoje. Pietų Europoje vyrauja sklerofiliniai miškai, atitinkantys karštas ir sausringas vasaras. Temperatūros kaita gali suteikti galimybę tokioms termofilinėms rūšims, kaip ažuolas *Quercus pyrenaica*, plisti ten, kur pakanka drėgmės. Pirėnuose ir šiaurę ir į kalnus gali plisti Viduržemio regiono augalų rūšys kartu su temperatūros kilimu ir sausra. Yra duomenų, kad per paskutinius kelis dešimtmečius šiaurės miškuose pagreitėjo medžių augimas. Pavyzdžiui, apskaičiuota, kad pušies produktyvumas padidėjo 20–30% dėl bendro temperatūros pakilimo ir anglies dvideginio poveikio. Šiaurės Europoje kritulių pokyčiai nebus tokie svarbūs kaip temperatūros pakitimai. Pasikeis Rusijos borealinių miškų išplitimas (sumažės iki 19% ploto) ir produktyvumas. Klimato kaita ir anglies dvideginio padidėjimas bus teigiamas šiaurės miškams: jiems atsiras geresnė galimybė regeneruoti. Manoma, kad gali padidėti ir jų produktyvumas. Didžiausių pokyčių tikimasi tundros retmiškiuose ir šiaurės taigoje, kur pakilus temperatūrai 1°C bus 12–15% papildomo prieaugio. Vidurio ir Pietų Europoje, kur mažai drėgmės ir dar sumažės vasaros kritulių, miškų produktyvumas atskiruose regionuose sumažės. Anglies dvideginio padidėjimas skatins ir vandens naudojimo efektyvumą pietinėje Rytų Europoje (Rusijoje, Ukrainoje, Moldovoje). Miško augimo sąlygos pablogės dėl sausros, ypač stepių zonoje. Viduržemio regione vasaros temperatūros pakilimas ir kritulių sumažėjimas padidins gaisrų tikimybę. Jau anksčiau

per karščius gaisrų padaugėjo 70%. Be to, dažnesni sausi ir šilti metai skatins patogenų ir kenkėjų plėtotę. Dėl šios priežasties Ukrainos, Baltarusijos ir Rusijos centrinės dalies pušynai gali labai nukentėti. Padidėjusi gaisro tikimybė gresia Rusijos borealiniais miškams šiltais ir sausais metais. Tokios sąlygos pasikartoja kas 15–20 metų. Dabar Rusijoje dideli gaisrai sudaro tik 1–2% visų gaisrų, bet išdega 70–80% ploto. Prognozuojama, kad didelių gaisrų padaugės. Kintantis klimatas gali sukelti augalų biomų migraciją. Tikėtina, kad šiauriniai Kanados, Aliaskos ir Sibiro miškai migruos į šiaurę ir pakeis medžių neturinčią tundrą. Ši migracija bus susijusi su vandens garinimo-transpiracijos pokyčiais, paviršiaus atspindimos Saulės energijos pokyčiais ir skirtingais augalijos tipais. Visi pokyčiai tiesiogiai veiks vietos klimatą.

Per paskutinį amžių Vidurio Aliaskoje augimo sezonas pailgėjo 50–100%. Temperatūra tiesiogiai kontroliuoja metinį medžių augimą daugumoje Aliaskos vietų. Medžių linijoje Aliaskos kalnagūbryje apie 40% baltosios eglės individų auga geriausiai, kai liepos temperatūra žema, ir blogiausiai, kai liepos temperatūra aukšta. Vidurio Aliaskoje baltoji eglė komerciniuose plotuose augo maždaug perpus lėčiau per paskutinius šiltes dešimtmečius, lyginant su šaltesniaisiais. Daugelyje Vidurio Aliaskos augaviečių popierinis beržas ir juodoji eglė (*Picea mariana*) taip pat augo lėčiausiai šiltais metais, o šaltais metais – greičiau. Jei temperatūros atitiks prognozuojamus modelius, dabar augančios medžių populiacijos masiškai žus. Aliaskos vertingiausių, medieną teikiančių rūšių, pvz., nutkinio geltkiparisio (*Xanthocyparis nootkatensis*), brandūs medžiai masiškai žuvo XX a. Esant šiltoms žiemoms, medžiai gali netekti šalčio tolerancijos, kas gali būti nutkinio geltkiparisio mažėjimo priežastis.

Daug ilgaamžių medžių reaguoja į pokytį

netiesiogiai ir lėčiau nei kitos rūšys, turinčios trumpesnį gyvenimo ciklą. Per paskutinius 100–150 metų baltosios eglės tankumas išaugo tundros retmiškiuose Vakarų, Vidurio ir Rytų Kanadoje, nekintant arktinei medžių linijai; tas pat vyksta ir amerikiniame maumedžiui Šiaurės Kvebeke. Juodoji eglė, turinti skirtingą sėklų dispersijos strategiją, susijusią su gana vėlyva kankorėžių branda, pašiltėjus keitė augimo formą. Tundros retmiškių struktūra ir dinamika labai kinta vietiniu mastu. Per paskutinį tūkstantmetį tundros retmiškiai išnyko dėl katastrofiškų miško gaisrų ir šalto klimato. Vėlyvajame holocene trūko laiko medžiams užaugti tarp gaisro ir klimato pokyčio. Medžių eliminacija paskatino šalčio aktyvumą, susidarius plonesniam sniegui. Miško nebuvimas taip pat padidina klimato skirtumus tarp miško salelių ir tundros. Tikėtina, kad pietinės tundros retmiškiuose pašiltėjus padažnės gaisrai, padidės dirvožemio drėgnis. Bet nepanašu, kad medžiai skverbsis į krūmokšnių tundrą, jei čia vyrauja drėgnesnės dirvožemio sąlygos. Tikėtina, kad miškai įsigalės pietinėje tundros retmiškių dalyje.

Apskritai modeliai prognozuoja Šiaurės pusrutulio taigos, borealinių spygliuočių ir temperatinių mišrių miškų juostų pasistūmėjimą link Šiaurės ašigalio. Pasaulio klimato kaitos modelių viena iš sąlygų, kad rezultatas parodo augalijos paplitimą, esantį pusiausvyroje su klimatu. Bet nežinia, ar tai tiks ir kitam amžiui. Medžių rūšių plitimas apima keletą veiksnių: sėklų plitimą, regeneraciją tinkamoje vietoje, brendimą, sėklų produkciją. Jei klimatas keičiasi greičiau nei medžiai gali paplisti į naujas tinkamesnes vietas, miško sudėtis gali pasikeisti, ir kai kurios augalų rūšys gali išnykti. Klimato kaitos modeliai neįvertina netiesioginio klimato poveikio veiksnių: pesticidų, ligų, gaisrų, potvynių ir vėjo. Fiziniai barjerai (kalnų grandinės, dideli miestai) gali sustabdyti kai kurių rūšių

migraciją į tinkamesnes augavietes. Izoliuotų aukštikalnių rūšių atveju gali nebūti naujų augaviečių dar aukštesnėse altitudėse. Kiti ribojantys veiksniai (mitybos veiksniai, dirvožemio tipas, tinkamos vietos reprodukcijai) taip pat gali veikti plitimą.

Žolinės augalų bendrijos (pievos, stepės ir dykumos). Didelę Europos žolinių bendrijų dalį užima žemės ūkio naudmenos. Žolinės bendrijos įvairuoja nuo žolių ir krūmokšnių bendrijų Viduržemio regione iki drėgnų viržynų Vakarų Europoje. Šių bendrijų produktyvumą ir sudėtį klimato pokytis gali paveikti padidėjusiu anglies dvideginio kiekiu, pakitusia temperatūra ir kritulių kiekiu. Manoma, kad pagerės sąlygos pupinių šeimos atstovų plėtotei. Intensyviai naudojamoms, turtingoms mitybos elementais pievoms teigiamai atsilieps anglies dvideginio kiekio padidėjimas ar temperatūros pakilimas, kol bus pakankami vandens ištekliai. Gali tokių pievų produktyvumas padidėti 20–30%. Bet kai kuriuose regionuose (pvz., Anglijoje, Velse) klimato pokyčiai gali sukelti sausrą, ir plotai taps netinkami pievoms. Eksperimentų duomenys šiuo metu dar labai prieštaringi: neaišku, ar pievos bus produktyvesnės, ar jų produktyvumas sumažės.

Žolinių bendrijų tyrimai JAV, Kinijoje, Rusijoje, Mongolijoje, Vidurinės Azijos valstybėse yra taip pat gana prieštaringi. Kintant klimatui, kylant temperatūrai, JAV prerijų vyraujančių rūšių (pvz., *Bouteloua gracilis*) produktyvumas mažėja, o egzotinių vienamečių augalų rūšių – didėja. Be to, šios ekosistemos labai jautrios kritulių kiekiui. Ilgainiui, tręšiant prerijų žolines bendrijas, gali sumažėti metano įsisavinimas. Azijoje žolinės bendrijos – stepės, dykuminės stepės, dykumos, labai nugautos ir išartos. Kintant klimatui, šiuo metu anksčiau sužaliuoja stepės, bet Mongolijos dykuminių stepių vegetacija vėluoja. Tokios pažeidžiamos sistemos labai jautrios invaziniam augalams.

9.5. Adventyviniai ir invaziniai augalai

Visi svetimžemiai augalai, priklausomai nuo to, kada pateko, skirstomi į dvi grupes: archeofitus (kurie su žmonėmis arba dėl žmonių veiklos į šalį pateko iki 1500 m.) ir adventyviniai (patekusius po 1500 m.). Ši data siejama su svarbiais geografiniais atradimais, prasidėjusia pramonės plėtra ir įvairių prekių gabenimu iš kitų žemynų. Dabar Lietuvoje užregistruota daugiau kaip 550 rūšių adventyvinų augalų ir apie 90 rūšių archeofitų. Invaziniai augalai – introdukuotos augalų rūšys, sėkmingai įsikūrusios naujose gamtinėse ar pusiau gamtinėse ekosistemose ir sukeliančios pavojų vietinei biologinei įvairovei. Globalizacija ir sumažinti verslo barjerai ateityje padidins tokių augalų plitimą. Keičiantis klimatui, šis procesas paspartės ir sumažins regionų biologinę įvairovę. Invaziniai augalai keičia gamtinių ir pusiau gamtinių ekosistemų struktūrą, išstumdami laukines retas augalų rūšis, tuo pačiu nyksta ir laukinės vabzdžių, ypač drugelių, rūšys. Invaziniai augalai sudaro tankius sąžalynus, neleidami įsikurti kitoms augalų rūšims, nes pasižymi didesnėmis konkurencinėmis savybėmis. *Eichhornia crassipes* – vandens augalas, kuris ne tik pakeičia hidrologinį režimą ir išstumia laukinių vandens augalų ir gyvūnų rūšis, bet ir sukelia žmonėms daug nuostolių. Pakeista žmogaus aplinka padeda įsikurti invaziniam augalui, kas būdinga Lietuvoje Sosnovskio barščio (*Heracleum sosnowskii*) plitimui. Daugelis išsivysčiusių šalių kuria agentūras, kurios turi sustabdyti, sekti ir kontroliuoti tokių augalų rūšių pasirodymą arba laiku reaguoti ir naikinti jau įsiveržusias augalų rūšis. Lietuvoje tokį darbą atlieka Valstybinė augalų apsaugos tarnyba. Įsiveržę augalai gali natūralizuotis, ir maždaug 10% tokių invazinių augalų tampa piktžolėmis. Daugiausiai augalų introdukuo-

jama dekoratyviniais tikslais, vėliau jie gali ištrūkti ir nekontroliuojami labai paplisti. Kita vertus, ištrūkusios augalų rūšys gali ilgai išbūti latentinėje fazėje (pvz., *Mimosa pigra* Australijoje). Vis tik išankstinis potencialaus svetimžemių augalų plitimo įvertinimas ir naikinimo programos pateisina įdėtas lėšas.

9.6. Grybijos funkcionavimas ekosistemose

Natūrali ir antropogeninių veiksmų nulėmta aplinkos kaita, kurios tempai ir mastai pastebimai išaugo per pastarąjį šimtmetį, įvairiais aspektais paveikė grybijos augimo sąlygas, gyvenseną, ryšius su kitais organizmais ir paplitimą. Mokslinės žinios apie skirtingų taksonominių ir funkcinių grupių grybų būklę ir kaitą leidžia mums geriau suprasti ir, jeigu įmanoma ar reikia, reguliuoti procesus, vykstančius įvairiose ekosistemose. Šiame skyriuje nagrinėjami grybijos kaitos mechanizmai, priežastys ir pasekmės, aptariami svarbiausi grybų nykimo ir jų apsaugos klausimai.

Grybai yra visų ekosistemų dalyviai, ir didžiajame medžiagų apykaitos cikle jie yra svarbiausi organizmai organikos ardymo (depolymerizacijos) procese. Kartu su bakterijomis grybai skaido organizmų liekanas, formuoja dirvožemį. Tik grybai sugeba ardyti pirminius medienos komponentus – celiuliozę, hemiceliuliozę ir ligniną. Tikrovėje, miško ekosistemų biomasės produkciją reguliuoja medieną pūdantys grybai, kadangi po medžių mirties šių grybų veikla apsprendžia mitybinių medžiagų grąžinimo į ekosistemą laipsnį ir tempą. Gyvūnų virškinimo sistemoje besivystantys grybai padeda gyvūnams įsisavinti sunkiai virškinamą augalinį maistą. Endofitiniai grybai, išskirdami antibiotines ir toksines medžiagas, apsaugo augalą maitintoją nuo patogeninių grybų, vabzdžių

ar net žolėdžių gyvulių. Mikoriziniai grybai pagerina augalų vandens ir mitybinių medžiagų absorbciją, apsaugo juos nuo šaknų ligų, sausrų ir nuo potencialaus sunkiųjų metalų poveikio, padeda dygti kai kurių augalų sėkloms, vystyti sėjinukams ir palaiko dirvožemio stabilumą. Grybų vaisiakūniai, grybiena ir kerpių gniužulai yra daugelio organizmų, pvz., kai kurių bakterijų, pirmuonių, gyvūnų ir kitų grybų, buveinės, maisto medžiagų ir vitaminų šaltiniai.

Ekosistemose grybų funkcijos yra tokios: 1) fiziologinės ir metabolinės (organinių medžiagų skaidymas, elementų išlaisvinimas, mineralizacija ir saugojimas, toksinių medžiagų akumuliacija, humuso medžiagų sintezė), 2) ekologinės (energijos mainų tarp antžeminių ir požeminių sistemų palengvinimas, nišų vystymosi skatinimas ir keitimas, sukcesijų krypties ir greičio reguliavimas), 3) tarpininkavimo ir integravimo (svarbių elementų ir vandens transporto iš dirvožemio į augalų šaknis palengvinimas, svarbių elementų ir angliavandenių judėjimo iš augalo į augalą palengvinimas, vandens ir jonų judėjimo augaluose reguliavimas, svarbiausių producentų fotosintezės greičio reguliavimas, anglies pasiskirstymo požeminiuose sluoksniuose reguliavimas, daigų gyvybingumo padidinimas, apsauga nuo šaknų patogenų, dirvožemio detoksikacija, dalyvavimas saprotrofinės mitybos grandinėse, parazitinių ir mutualistinių simbiozių sudarymas, biocheminių medžiagų – antibiotikų, fermentų ir imunosupresantų – išskyrimas.

9.7. Grybijos kaitos istoriniai aspektai

Tik istoriniame kontekste galime geriau suprasti ir tirti grybijos būklę ir jos kaitą šiuolaikiniame Pasaulyje. Grybų formų ir funkcijų evoliucijai įtaką darė visa eilė geo-

loginių, klimato ir biologinių procesų, vykusių Žemėje per pastaruosius milijardą metų. Grybai, kilę iš vandenyje gyvenusių žiuželių pirmuonių prieš maždaug 900 milijonų metų, keitėsi patys ir keitė kitus organizmus, jų aplinką. Evoliucijos eigoje grybai, palyginus su kitais absorbuojančiais heterotrofais, sugebėjo sėkmingiau užimti įvairiausias galimas nišas ir įsitvirtino jose daugeliui milijonų metų. Grybų simbiozės su augalais (mikorizės) ir dumbliais (lichenizmas) padėjo pirmąsiais organizmams kolonizuoti sausumą prieš 500–350 milijonų metų, o organikos ardymas ir mineralizavimas suformavo derlingąjį dirvožemio sluoksnį, nuo kurio kokybės priklauso daugelis fotosintezuojančių organizmų. Gamtinių kataklizmų metu saprotofiniai grybai dalyvavo ardant žuvusius organizmus, taip pat buvo ekosistemų atsistatymo pionieriniai organizmai. Pvz., prieš 250 milijonų metų permio periode Pangėjos žemyne masiškai išnyko apie 90 procentų visų organizmų rūšių. Ekosistemų ir organizmų nykimas vyko apie 100 000 metų tiek jūroje, tiek sausumoje. Tai atsitiko dėl klimato, oro bei vandens cheminės sudėties pokyčių, kuriuos galėjo sukelti masiškas vulkaninių dujų išsiveržimas, nepaprastai didelio asteroido kritimas ant Žemės ar kiti globalios reikšmės procesai. To laikotarpio uolienose Pietų Afrikos, Italijos, Kinijos, Aliaskos ir kituose kalnuose paleontologai aptiko mikroskopines fosilijas, sudarytas iš augalų ir grybų fragmentų. Jei ankstesnių laikų nuogulose randama daug žiedadulkių, kurios liudija apie sveiką spygliuočių mišką, tai permio–triaso ribos nuogulose žiedadulkes pakeitė fosilinės grybų gijos – apie milijoną segmentų golfo kamuoliuko dydžio uolienos gabale. Paleontologai mano, kad masiškai žuvus miškų medžiams labai padaugėjo medieną ardančių grybų.

Dabartinė grybija, jos formų, funkcijų ir rūšių įvairovė susidarė prieš 100–70 milijonų

metų. Atskirų rūšių paplitimui skirtingose mūsų planetos vietose įtaką darė klimato režimas ir geologiniai procesai, pvz., atskirų žemynų susidarymas suskilus Gondvanai prieš 100 milijonų metų. Atlanto vandenyno susidarymas pleistocene lėmė, kad kai kurios rūšys turi disjunktyvinį arba vikariantinį paplitimą Europoje ir rytinėje Šiaurės Amerikos dalyje. Rūšių įvairovė yra apčiuopiamai didesnė Šiaurės Amerikoje nei Europoje, kadangi turėjo daugiau galimybių gauti prieglobstį pleistoceno ledynmečiais. Vienos grybų rūšys išplito beveik visame Pasulyje, kitos – tam tikrose klimato ir geografinėse juostose bei prisitaikė gyventi kartu su asocijuotomis tų regionų augalų, gyvūnų ir kitų grybų rūšimis. Ektomikorizė ir ją sudarantys grybai labiau paplito vidutinio ir šaltesnio klimato juostose, o endomikorizė ir ją sudarantys grybai vyrauja šiltesnio ir tropinio klimato juostose.

Vidurio Europos ir Lietuvos grybijos raidai didelę įtaką padarė pleistoceno ir haloceno pradžios apledėjimai. Per ledynmečius pasikeisdavo klimato juostos, šilumamėgę plačialapių miškų augaliją keitė šaltamėgę tundros augalija, augalai tai pasitraukdavo, tai vėl sugrįždavo. Keičiantis klimatui ir augalijai, kito ir grybija. Dabartinė grybija pradėjo formuotis pasibaigus paskutiniam ledynmečiui prieš maždaug 8000 metų. Didelę reikšmę, ypač per paskutinius kelis tūkstančius metų, jos formavimuisi turėjo žmonių bendruomenės vystymasis ir žmogaus vis didėjanti įtaka keičiant ir pertvarkant gamtines sąlygas.

9.8. Grybų migracija ir invazijos

Grybų paplitimą erdvėje ir laike bei paplitimui įtaką darančius veiksnius tiria mikogeografija. Pagrindinė problema, su kuria susiduriama atskleidžiant paplitimo dėsningumus ir grybų migracijos ypatumus, yra gana menki grybų rūšių paplitimo Žemėje

duomenys. Daugiausia duomenų turima apie parazitinių grybų paplitimą ir migraciją, žymiai mažiau žinoma apie saprotrofinių ir mikorizinių grybų arealus.

Pagrindiniai veiksniai, kurie daro įtaką grybų migracijai, yra klimatas, tinkamų buveinių ir substrato būvimas bei antropogeninė veikla. Grybų migracija arba paplitimo arealo ekspansija gali vykti keliais būdais: 1) natūrali kolonizacija, 2) augalų maitintojų introdukcija ir 3) grybų introdukcija. Kai kurios grybų rūšys už savo natūralaus arealo ribų išplinta savaime (spontaniškai). Pvz., neseniai pastebėta, kad *Fomes fomentarius*, *Pycnopus cinnabarinus* ir *Schizopora carneolutea* savaime apsigyveno Šiaurės vakarų Europos žemumoje. Šių natūralių migracijų priežastys kol kas nežinomos, tačiau yra nuomonių, kad tai galėjo lemti klimato pokyčiai, nauji miškininkystės būdai ar medžių gyvybingumo sumažėjimas. Augalų maitintojų introdukcija už jų arealų ribų sukuria naują potencialią aplinką asocijuotiems ar specializuotiems parazitiniams, simbiotiniams ar saprotrofiniams grybams. Pvz., ektomikorizinis grybas grakštusis kazlėkas (*Suillus grevillei*) ir ksilotrofas Vilkomio lachnelulė (*Lachnellula willkommii*), kuri sukelia mau-medžių vėžį, paplito įvairiuose regionuose, introdukavus juose maumedžius (*Larix*). Paprastoji musmirė (*Amanita muscaria*) paplito Australijoje introdukuotų pušų (*Pinus*) medynuose ir net notofagų (*Nothophagus*) miškuose Tasmanijoje. Lieka nevisiškai aišku, ar šie grybai paplito savarankiškai, ar atkeliavo kartu su sodinukais. Daugelis patogeninių grybų buvo introdukuoti kitose teritorijose atsitiktinai. Pvz., parazitinis grybas *Puccinia horiana*, kuris sukelia chrizantemų baltąsias rūdis, iš savo natūralių augaviečių Japonijoje ir Kinijoje kartu su kultivuojamais augalais paplito Azijoje, Europoje, Afrikoje, Amerikoje ir Australijoje. Dalis introdukuotų grybų sukėlė invazijas ir katastrofiškas

ekonominės pasekmes, pvz., *Phytophthora infestans*, *Hemileia vastatrix*, *Cryptonectria parasitica* ir *Ceratocystis ulmi*. Kai kurių grybų introdukcijos yra nežalingos aplinkai. Pvz., dirvožemio saprotrofas Ravenelio poniabudėlė (*Mutinus ravenelii*) atkeliavo į Europą XX a. viduryje iš Šiaurės Amerikos ir auga parkuose, soduose, miškuose ant derlingų dirvožemių. Kitas dirvožemio saprotrofas Archerio tinklagrybis (*Anthurus archeri*), kuris Europoje dabar auga parkuose, soduose ir šiltadaržiuose, atkeliavo iš Australijos, manoma, kartu su avių vilna ar australų kareiviais, kovojusiais Prancūzijoje per I pasaulinį karą.

Vietiniais (autochtoniniais) grybais Vidurio Europoje vadinami tokie grybai, kurie be žmogaus prisidėjimo kolonizavo teritorijas po paskutinio ledynmečio. Nevietiniai (adventyviniai) grybai apsigyveno šiose teritorijose dėl tiesioginės (sąmoningos) ar netiesioginės (nesąmoningos) žmogaus veiklos (šiems grybams taip pat galima priskirti natūraliai atkeliavusias rūšis). Nevietiniai grybai, kurie paplito iki 1492 m., vadinami archeomicetais, po 1492 m. – neomicetais. 1492 metai yra simbolinis momentas, kai Kolumbas atrado Ameriką. Tai sutartiniai metai; jie pažymi istorinę moderniojo (naujojo) amžiaus pradžią, prasidėjusią moderniąją Pasaulio kolonizaciją ir organizmų rūšių perkėlimo erą. Lietuvoje dabar priskaičiuojama apie šimtą nevietinių grybų rūšių, daugiausia jų yra introdukuotų augalų parazitai.

Invaziniai grybai – nevietininiai grybai, kurių įsikūrimas natūraliose ar pusiau natūraliose ekosistemose turi žalingą ekologinį ir ekonominį poveikį. Pasaulyje geriausiai žinomos ir didžiausią žalą padariusios invazinių grybų rūšys yra *Aphanomyces astaci* (sukelia upių ir ežerų vėžių marą; kilusi iš Šiaurės Amerikos, paplito Europoje), *Cryptonectria parasitica* (sukelia kaštainių (*Castanea*) ir kitų lapuočių medžių vėžinę ligą;

kilusi iš Rytų Azijos, paplito Šiaurės Amerikoje ir Europoje), *Ophiostoma ulmi* s.l. (sukelia guobų marą; tikriausia kilusi iš Azijos, paplito Europoje, Šiaurės Amerikoje ir Naujojoje Zelandijoje) ir *Phytophthora cinnamomi* (sukelia įvairių medžių šaknų puvinius ir medžių džiūvimą; kilusi iš Pietryčių Azijos, paplito Azijoje, Australijoje, Europoje, Šiaurės Amerikoje ir Pietų Afrikoje).

9.9. Grybų rūšių įvairovė ir paplitimas

Manoma, kad Žemėje gali gyventi apie 1–1,5 milijono grybų rūšių. Dabar Pasaulyje žinoma apie 100 000 grybų rūšių, iš jų apie 20 000 rūšių sudaro kerpės. Kasmet aprašoma apie 1000 naujų mokslui rūšių. Grybų rūšių įvairovė Pasaulyje ištirta netolygiai. Geriausiai pažinti makromicetai ir kultūrinių augalų parazitiniai grybai, Europos, Šiaurės Amerikos ir Australijos mikobiotos. Kiti žemynai, ypač atogrąžų regionai, menkai tyrinėti. Tam tikrų substratų grybija taip pat nepakankamai ištirta. Pvz., palyginti nedaug duomenų turima apie samanų, kerpių, vabzdžių ir vandens grybų rūšis. Ypač daug nežinomų yra mikroskopinių grybų.

Lietuvoje dabar nustatyta apie 6500 grybų rūšių (kartu su kerpėmis), iš jų daugiausia aukšliagrybių (apie 3500 rūšių, kartu su grybšiais) ir papėdgrybių (apie 2200 rūšių). Per pastarąjį dešimtmetį kiekvienais metais vidutiniškai užregistruojama apie 120 naujų Lietuvai grybų rūšių. Tikėtina, kad Lietuvoje iš viso galėtų augti ne mažiau kaip 12 000 grybų rūšių. Lietuvoje grybai paplitę tiek natūraliose, tiek antropogeninėse buveinėse. Daugiausia grybų auga miškuose, kadangi čia yra daug ir įvairių grybams tinkamų substratų. Lietuvoje didžiausia grybų rūšių įvairovė pasižymi lapuočių ir mišrūs miškai. Atlikus tyrimus Kėdainių raj. lapuočių miškuose, nustatyta, kad 700 m² plote auga apie 1400

rūšių. Tik su ažuolu Lietuvoje yra susiję virš 650 įvairių sistematinių ir ekologinių grybų rūšių. Grynuose eglynuose ar pušynuose rūšių sutinkama mažiau. Negausia, bet specifinė rūšių įvairovė pasižymi pelkių, pievų ir pajūrio kopų grybijos. Pvz., smiltyninis ausūnis (*Peziza ammophila*), kopinė trapiabudė (*Psathyrella ammophila*) ir Hadriano poniabudė (*Phallus hadriani*) auga tik pajūrio kopose. Natūralių buveinių grybai gana detalai tirti saugomose teritorijose. Viešvilės rezervate nustatyta apie 900 grybų, kerpių ir gleivainių rūšių, Dzūkijos nacionaliniame parke dabar žinoma apie 750 aukšliagrybių ir papėdgrybių rūšių. Nemaža dalis grybų, ypač mikromicetų, paplitusi žmogaus aplinkoje, pastatuose, sandėliuose, šiltnamiuose. Pastaruoju metu sukaupta daug informacijos apie antropogeninių vietų grybus. Iš įvairių Lietuvos miestų oro išskirta virš 600 grybų rūšių pradų. Beveik 400 mikromicetų pradų rūšių nustatyta įvairių darbo ir gyvenamųjų patalpų ore ir dulkėse. 17 mielinių grybų rūšių aptikta Lietuvoje gaminamuose pieno produktuose. Nustatyta beveik 30 dermatomicetų, sukeliančių žmogaus odos ligas.

9.10. Toksinių metalų ir radionuklidų taršos poveikis grybams

Grybai yra mažiau jautrūs sunkiesiems metalams nei kiti organizmai. Toksinių metalų poveikis priklauso nuo metalo rūšies, grybo rūšies ir aplinkos sąlygų. Nustatyta, kad toksiniai metalai mažina grybų populiacijų gausumą ir rūšių įvairovę, atrenka jiems tolerantiškiausias rūšis. Pvz., didėjant Cu ir Zn koncentracijoms dirvožemyje, padidėjo *Geomyces* ir *Paecilomyces* genčių grybų populiacijos, o kai kurių *Penicillium* ir *Oidodendron* genčių rūšių populiacijos sumažėjo. Iš švinu užteršto dirvožemio dažniau nei iš neužteršto buvo išskirtos *Trichocladium asperulum*, *Trichoderma hamatum* ir *Chrysos-*

porium pannorum. Švinui tolerantiška *Aureobasidium pullulans* dominavo ant metalais užterštų augalų lapų paviršiaus. Kadmio dulkėmis užterštoje teritorijoje dažniausi papėdgrybiai buvo *Strobilurus tenacellus*, *Mycena ammoniaca*, *Auriscalpium vulgare* ir *Armillaria lutea*. Kadangi kai kurios grybų rūšys sugeba efektyviai kaupti sunkiuosius metalus, todėl šias rūšis galima panaudoti metalais užteršto dirvožemio detoksikacijai.

Mikorizinių grybų sugebėjimas savyje akumuliuoti metalus mažina metalų toksinį poveikį augalams. Nustatyta, kad nesuformavę mikorizės erikinių šeimos augalai negali augti ant dirvožemių, kuriuose yra Cu ir Zn. Ektomikoriziniai grybai *Amanita muscaria* ir *Paxilus involutus*, sukaupdami Zn ir Al, sumažina šių metalų toksinį poveikį savo simbiotiniams partneriams beržams ir eglėms. Tokios simbiozės yra reikšmingos augalų produktyvumui ir užterštų vietų apželdinimui.

Makromicetų vaisiakūniuose sukaupiamas Pb, Cd, Zn ir Hg kiekis yra didesnis miestuose ir pramonės vietose nei kaimo aplinkoje. Vaisiakūniuose sukaupiamas toksinių metalų koncentracija gali būti kelis ar keliolika kartų didesnė nei substrate. Nustatyta, kad kelmūčių (*Armillaria*) rizomorfose įvairių metalų (Al, Zn, Cu ir Pb) koncentracija buvo beveik 100 kartų didesnė nei substrate. Manoma, kad metalais prisotintas rizomorfų dengiamasis sluoksnis pagerina apsaugą nuo išorės neigiamų poveikių ir užtikrina grybo ilgaamžiškumą.

Tarša radioaktyviomis medžiagomis atsiranda dėl branduolinių sprogimų, branduolinių reaktorių, atominių elektrinių branduolinio kuro perdirbimo įmonių veiklos, jose vykstančių avarijų ir radioaktyvių medžiagų šalinimo į aplinką. Pavojingiausias radioaktyvusis teršimas yra ilgaamžiais radionuklidais (plutonių ^{239}Pu , stroncių ^{90}Sr , cezium ^{137}Cs). Jų poveikis organizmams priklauso nuo radioaktyvios apšvitos dozės, po-

būdžio ir organizmo savybių. Po Černobylio atominės elektrinės avarijos 1986 m. žymiai padidėjo daugelio Europos šalių grybų ir kerpių radioaktyvumas. Pavyzdžiui, 1993 m. Ukrainos, Švedijos ir Šiaurės Amerikos grybų pavyzdžiuose radioaktyviojo cezio (^{137}Cs) vidutinis aktyvumas atitinkamai buvo 4660, 9750 ir 205 Bq/kg sausos masės. Austrijoje kerpėje *Pseudevernia furfuracea* esančio ^{137}Cs aktyvumas padidėjo nuo 400 Bq/kg sausos masės iki 50 000 Bq. Nustatyta, kad grybų sugebėjimas kaupti ^{137}Cs priklauso nuo rūšies ir dirvožemio ypatybių, kad grybai gali imobilizuoti beveik visą radioaktyviojo cezio nusėdimą dirvožemyje, kad mikoriziniai makromicetai sukaupia didesnes ^{137}Cs aktyvumo koncentracijas nei saprotofiniai ir parazitiniai grybai.

Lietuvos Radiacinės saugos ir Visuomenės sveikatos centrų 1998–2002 m. tyrimų duomenys parodė, kad ^{137}Cs kiekis žmogaus apšvitos požiūriu svarbiausiuose valgomuose grybuose (voveraitės, baravykai, ūmėdės) buvo gerokai mažesnis už didžiausią leistiną aktyvumą (600 Bq/kg šviežios masės). Radionuklidus labiau kaupė gudukai, pilkoji meškutė ir žaliuokės. Pastebėta, kad ^{137}Cs kiekis kai kuriuose grybuose, užaugusiuose ant labiau užteršto radionuklidais dirvožemio, ypač sausesniais metais, gali viršyti leistinus lygius. Nustatyta, kad radioaktyvias medžiagas grybai kaupia apie 10 kartų daugiau nei augalai, kad džiovintuose grybuose ^{137}Cs kiekis yra apie 10 kartų didesnis negu šviežiuose, kad grybų tarša sumažėja juos nuplovus, pamirkus, išvirus ir nupylus pirmą vandenį, kepančią ir marinuojant.

9.11. Grybų reakcija į aplinkos pokyčius

Visos ekosistemos nuolat patiria skirtingo masto natūralias ir antropogenines pažeidas. Nedidelio masto miškų pažaidos yra

dažnos, pvz., vėjovartos, šaknų ligos, medžių žūtis dėl kenksmingų vabzdžių veiklos ar nedidelių gaisrų. Kadangi miškai natūraliai gana greit atsistato po mažo masto pažaidų, todėl grybija, pvz., ektomikorizinių grybų bendrijos, nepatiria didelių pokyčių. Tačiau didelio masto miškų pažaidos, pvz., miško gaisrai ar miško kirtimai dideliuose plotuose, sukelia reikšmingus grybijos pokyčius. Ilgai trunkantys miško gaisrai, kurie neretai kyla dėl žmogaus kaltės, yra katastrofiško masto pažaida, dėl kurios žūsta didžioji bioįvairovės dalis ir ženkliai pasikeičia fizinė aplinka (dirvožemis, mikroklimatas). Ant negyvos organikos ir peleningo (karščiu sterilizuoto) dirvožemio pradeda intensyviai vystytis ruderalinės strategijos grybai, pvz., pirofiliniai (fenikoidiniai) grybai. Ant apsilpusių augalų šaknų ar pradėjusių augti samanų gaisravietėse pagausėja parazitinių grybų. Tačiau ektomikorizinių grybų bendrijos nyksta, kadangi apmiršta sudegusių medžių šaknys. Plynį ar beveik plynį miško medžių kirtimai taip pat daro neigiamą įtaką ektomikorizei bei ektomikorizinių grybų bendrijoms ir fruktifikacijai. Palaipsniui atsistatant ekosistemoms pažaidų vietose, formuojasi stabilesnės augalų ir ektomikorizinių grybų bendrijos.

Globalios klimato kaitos poveikis grybijai. Pagrindiniai reiškiniai, susiję su pastarojo šimtmečio globalia klimato kaita, yra padažnėjusios sausros ir audros, padidėjusi temperatūra ir CO₂ kiekis, nevienodas kritulių kiekis ir staigūs temperatūrų svyravimai žiemą. Visų šių besikeičiančių veiksnių kompleksas sąlygoja suintensyvėjusią grybų rūšių migraciją, išplitimą arba nykimą tam tikrose vietose, bendrijų struktūrų, nusistovėjusių santykių su kitais organizmais pokyčius, biologinių ir ekologinių savybių kaitą. Grybijos adaptacinis atsakas šiuolaikiniame Pasaulyje pastebimai veikia ne tik pačius gamtinius

procesus, bet ir žmogaus sveikatą bei ekonominę veiklą.

Padidėjęs CO₂ kiekis atmosferoje grybus veikia netiesiogiai, paprastai per augalus. Jei dirvožemyje yra pakankamai vandens ir mineralinių medžiagų, nuo padidėjusio CO₂ kiekio ore paspartėja augalų fotosintezė ir susidaro daugiau organikos, ima augti ir ją naudojančių parazitinių ir saprotrofinių grybų populiacijos. Lauko eksperimentai su padidėjusiu CO₂ kiekiu aplinkoje rodo, kad padidėja arbuskulinę mikorizę su medžių šaknimis sudarančių grybų augimas ir sporifikacija. Didžiojoje Britanijoje ketverių metų trukmės eksperimentiniu tyrimu ekotrone (šiltnamyje su reguliuojama aplinka) buvo bandoma išsiaiškinti padidėjusio CO₂ kiekio ir temperatūros (kartu ir atskirai) įtaką modelinėms bendrijoms. Tyrimai parodė, kad antžeminė flora ir fauna pakito palyginti nedaug. Antžeminės biomasės susidarymui temperatūra turėjo didesnės reikšmės nei CO₂. Reikšmingiausia klimato pokyčio įtaka pastebėta požeminėje ekosistemoje. Padidėjusio CO₂ eksperimente dirvožemyje susidarė celiuliozę ardančių grybų didesnė biomasė, pasikeitė grybų ir jais mintančių kolembolų (podurų) taksonominė sudėtis, rizosferoje aptiktas didesnės ištirpusių anglies ir azoto junginių koncentracijos. Remiantis tyrimo rezultatais, nustatytas toks padidėjusio atmosferoje CO₂ kiekio sumažinimo ir jo kaupimo dirvožemyje mechanizmas: pakyla CO₂ lygis atmosferoje → fotosintezės metu augalai daugiau įsisavina CO₂ → pagaminti anglies junginiai transportuojami į šaknis ir patenka į dirvožemį → keičiasi dirvožemyje gyvenančių ardytojų (grybų ir jais mintančių kolembolų) bendrijos ir padidėja anglies junginių utilizavimas → taigi vyksta mitybinių medžiagų cirkuliavimo ir susikau-pimo dirvožemyje pokyčiai. Šis ilgalaikis ir globaliu mastu vykstantis anglies apykaitos ir kaupimo dirvožemyje mechanizmas gali

suvaidinti gyvybiškai svarbų vaidmenį mažinant atmosferoje CO₂ kiekio didėjimą, kurį sukelia žmonių veikla.

Planetos temperatūra per pastarąjį šimtmetį pakilo 0,6 °C. Kai kuriais tyrimais bandoma įrodyti ryšį tarp pakilusios temperatūros ir kai kurių grybinių ligų apraiškų. Pvz., grupė mokslininkų, tyrusių varlių ligas Kosta Rikoje, paskelbė duomenis, pagal kuriuos pakilusi temperatūra statistiškai koreliavo su varlių grybinės ligos išplitimu. Ši labai išplitusi ir pavojinga liga per pastaruosius kelis dešimtmečius išnaikino daug atogrąžų varlių rūšių. Ligą sukelia chitridiomycetas *Batrachochytrium dendrobatidis*, kuris dauginasi ir plinta zoosporomis, pažeidžia varlių odą, išleidžia toksinus ir galiausiai nužudo varles. Mokslininkai iškėlė hipotezę, kad pakilusi temperatūra skatina debesų formavimąsi atogrąžų kalnuose, dėl to dienos darosi vėsesnės, o naktys šiltesnės, ir tai palankiai veikia parazitinio grybo augimą ir dauginimąsi. Šis grybas paprastai nužudo varles daugiausia vėsiose aukštikalnėse ar žiemą, tačiau dabar labai pasireiškia ir šiltesniu metų laiku. Šios teorijos skeptikai mano, kad klimato šiltėjimas nebūtinai darė įtaką ligos išplitimui ir kad gali egzistuoti kiti varlių nykimo mechanizmai.

Klimato kaita gali veikti augalų parazitų ir jų maitintojų ryšius bei ligų paplitimą. Didžiojoje Britanijoje pastebėta, kad išplito kai kurios varpinių augalų, kurie paprastai auginami įvairios paskirties vejose, pavyzdžiui, golfo aikštynuose, grybinės ligos. Jų sukėlėjai yra *Fusarium nivale*, *Colletotrichum graminicola*, *Gaeumannomyces graminis*, *Sclerophthora macrospora* ir kai kurie anksčiau nežinoti *Bipolaris* ir *Culvularia* genčių grybai. Manoma, kad šiems parazitiniams grybams pasireikšti susidarė tinkamesnės klimatinės sąlygos – šiltesnės ir drėgnesnės vasaros bei švelnesnės temperatūros atžvilgiu ir drėgnesnės žiemos. Padažnėjusios vasaros sausros

ir žiemos šalnos gali neigiamai paveikti augalų gyvybingumą ir atsparumą grybinėms ligoms. Dėl klimatinių stresų apsilpusias ar apmirusias medžių dalis, pvz., šaknis, šakas ar lapus, lengviau pažeidžia patogeniniai grybai. Manoma, kad dėl padažnėjusių ekstremalių klimato sąlygų fiziologiškai susilpnėjo lapuočiai medžiai, ir juos masiškai pažeidė *Armillaria* genties grybai įvairiose Europos šalyse.

Klimato atšilimas sudaro sąlygas vienoms rūšims plisti į šiaurę (Šiaurės pusrutulyje), kitoms – į pietus (Pietų pusrutulyje). Tokio plitimo mechanizmai skirtingi. Vienos grybų rūšys plinta kartu su savo augalais maitintojais, o kitos rūšys užima naujas teritorijas ir utilizuoja kitų augalų ar buveinių resursus. Tačiau rūšys, kurios dėl biologinių savybių (specializuotos mitybos ar prisitaikymo plisti) ar kitų aplinkybių (plitimo neįveikiami barjerai – kalnų masyvai, dideli miestai) nesugeba greitai prisitaikyti prie klimato atšilimo, pvz., migruoti į tinkamesnes vietas, pradeda nykti. Pastebėta, kad žemyninės Europos grybas *Plicaturopsis crispa*, kuris vystosi ant įvairių lapuočių medžių negyvų šakų, per pastarąjį dešimtmetį paplito šiaurinėje Olandijos dalyje. Tokia grybo plitimo į Šiaurės vakarų Europą tendencija siejama su klimato šilimu, nes tinkamo substrato šio grybo naujose vietose buvo jau ir anksčiau. Analogiški pranešimai iš Didžiosios Britanijos rodo, kad šalyje per pastaruosius kelis dešimtmečius pastebėtos kai kurios šiltesnių kraštų grybų rūšys. Pvz., iš Viduržemio jūros regionų atkeliavo *Amanita ovoidea*, *Leucopaxillus rhodoleucus*, *Pulcherricium caeruleum* ir *Stereum subtomentosum*, iš Afrikos – *Flavoporus brownii* ir *Perenniporia ochroleuca*. Kai kurios grybų ir gleivinių (*Myxomycetes*) rūšys, kurios prieš 30 metų buvo randamos tik pietinėje Anglijos dalyje, dabar dažnai sutinkamos šiaurinėje Anglijos dalyje ir Škotijoje. Olandijoje nustatyta, kad per

pastaruosius 15 metų padaugėjo šiltamėgių Pietų Europos ir net atogrąžų kerpių rūšių, bet sumažėjo rūšių, kurios mėgsta vėsesnį klimatą. Manoma, kad tokį kerpių rūšių sudėties kitimą stimuliuavo tarša azotinėmis medžiagomis, kadangi šiauresnio paplitimo kerpės, palyginti su pietinio paplitimo kerpėmis, mažiau toleruoja išaugusį azoto kiekį ir todėl greičiau nyksta.

Sausesnės ir šiltesnės vasaros paveikė kai kurių grybų rūšių teleomorfų (lytinių stadijų) susidarymą. Pavyzdžiui, Didžiojoje Britanijoje ažuolų lapų parazitinis grybas *Microspora alphitoides* anksčiau suformuodavo vaisiakūnius tik karštomis vasaromis, tačiau dabar jo frukifikacija aptinkama labai dažnai.

Bendras klimato švelnėjimas visame Šiaurės pusrutulyje prailgino vegetacijos sezoną. Augalams ir grybams susidarė galimybė anksčiau pradėti ir vėliau baigti savo vystymąsi. Kai kurių rudens grybų vystymasis ir frukifikacija pailgėjo 2–4 savaitėmis per pastaruosius kelis dešimtmečius. Pailgėjusi organizmų aktyvumo sezoninė trukmė sudaro sąlygas ilgesnį laiko tarpą žmonėms kontaktuoti su ore esančiais aeroalergenais – žiedadulkėmis ir grybų sporomis. Tai kelia nerimą medikams, kurie pastebi dažnesnes žmonių alergijų ir astmų apraiškas. Augalų parazitiniai grybai, turėdami galimybę ilgesnį laikotarpį būti aktyviems, gali išplisti didesnėje teritorijoje, pažeisti didesnę augalų skaičių ir labiau išplisti pažeistame augale. Tai gali padaryti didesnių ekonominių nuostolių žemės ir miškų ūkyje.

Pakilęs vandenynų ir jūrų lygis bei suintensyvėjusios audros pajūryje gali suniokoti daugelio specializuotų grybų buveines pajūrio kopose, pievose ir miškuose. Tam tikrų substratų ar buveinių grybų bendrųjų pokyčius, grybų skirtingų gyvenimo strategijų pasireiškimo padidėjimą ir sumažėjimą gali sukelti dėl užsitęsusių sausrų kilę gaisrai

ar audrų padarytos didelės apimties medžių vėjovartos.

Taigi dabar sukaupia nemažai medžiagos apie grybijos kaitą, kurią galima interpretuoti įvairiais aspektais ir sieti su globalia klimato kaita. Daugelį vykstančių procesų ir jų priežastingumą reikia tyrinėti toliau. Kai kurie grybijos atsako ar prisitaikymo mechanizmai besikeičiančioje aplinkoje pagrįsti prognozėmis, kurios gali pasitvirtinti arba būti atmestos ateityje.

Makromicetų produktyvumui įtaką darantys veiksniai. Natūraliai augančių makroskopinių, ypač valgomųjų grybų vaisiakūnių produkcijos tyrimai įvairiais metodais atlikti įvairiose šalyse, daugiausia Europoje ir Šiaurės Amerikoje. Gera žinoma, kad produkcija labai įvairuoja iš metų į metus, skirtingais metų laikais ar net per savaitę. Vaisiakūniai gali augti grupėmis ar pavieniui, būti asocijuoti su tam tikrais medžiais, medienos nuokritomis ar kitais substratais. Vaisiakūnių formavimosi greitis ir gyvenimo trukmė skiriasi ir priklauso nuo rūšies, geografinės padėties, sezono, klimato ir įvairių kitų biotinių ir abiotinių veiksnių. Tačiau iki šiol nėra aiškiai suprasta įvairių aplinkos veiksnių įtaka vaisiakūnių produkcijai. Pastebėta, kad sausros sąlygomis produkcija sumažėja, tačiau daug palijus po 2–3 savaitių ji vėl padidėja. Dirvožemio aukšta temperatūra ir didelis drėgmės kiekis jame palankiai veikia vaisiakūnių formavimąsi, tačiau požeminių grybų frukifikacijai kai kurie aplinkos veiksniai (temperatūra, krituliai) beveik jokio poveikio neturi. Kai kurie autoriai pažymi, kad vaisiakūnių derlių daugiausia apsprendžia substrato miškinės medžiagos ir jų prieinamumas tam tikru metu, o ne aplinkos fiziniai veiksniai. Biotiniai veiksniai (medynų rūšių sudėtis ir amžius) reikšmingai veikia grybų rūšių sudėtį ir vaisiakūnių biomasę. Spygliuočių miškų ekosistemose vaisiakūnių produkcija didesnė

nei plačialapių medžių miškuose. Matomai, tai vyksta dėl: 1) lėtesnio spygliuočių medienos irimo greičio nei lapuočių medienos ir 2) spygliuočių miškuose vyraujančių ektomikorizinių asociacijų, kurios produkuoja epigėjinius ir hipogėjinius vaisiakūnius. Mikorizės, mikorizinių rūšių ir vaisiakūnių skaičius didėja pradinėse medyno formavimosi stadijose ir pasiekia maksimumą, kuomet susiveria medžių vainikai. Vėliau vaisiakūnių produkcija ir mikorizės dažnumas turi lėto mažėjimo tendenciją.

Miško tvarkymo darbai (plyni kirtimai, retinimai, šviesinimai, kirtimo atliekų deginimas, tręšimas) taip pat veikia vaisiakūnių produktyvumą. Pvz., miško plantacijų skirtingas tręšimas gali sumažinti arba padidinti vaisiakūnių produkciją. Nustatyta, kad ektomikorizinių grybų produktyvumo sumažėjimą kai kurių Europos šalių miškuose XX a. pabaigoje galėjo nulemti oro tarša (rūgštieji lietūs) ir jos poveikis dirvožemio cheminei būklei bei medžių gyvybingumui. Pastebėta, kad dėl įvairių antropogeninių ir natūralių veiksnių Europoje sumažėjo kai kurių ektomikorizinių valgomųjų grybų, pvz., valgomosios voveraitės (*Cantharellus cibarius*) ir tikrinio baravyko (*Boletus edulis*), fruktifikacija. Manoma, kad ektomikorizinių grybų vystymąsi neigiamai veikia storas ir daug azotinių medžiagų turintis nuokritų sluoksnis (miško paklotė). Taip pat žinoma, kad medžių šaknų augimas ir ektomikorizės vystymasis sparčiau vyksta dirvožemiuose, kuriuose yra palyginti nedidelis maisto medžiagų kiekis.

Lietuvos miškuose kasmet gali užaugti 40–50 (iki 70) tūkst. tonų visų valgomųjų grybų derlius. Kadangi dėl kenkėjų, ligų ir kitų priežasčių patiriami 30–50% nuostoliai, tai eksploataciniai ištekliai gali sudaryti 20–35 tūkst. tonų. Komerciniu požiūriu reikšmingiausių grybų (10–15 rūšių) derlius Lietuvoje gali siekti 10–17 tūkst. tonų per

metus. Vidutinis derlingumas – 15–20 kg/ha sausos masės, tik ekstremaliais metais jis svyruoja nuo 1–6 kg/ha iki 40 kg/ha. Tikrinio baravyko šviežių vaisiakūnių derlingumas tinkamose vietose gali siekti 50–125 kg/ha, valgomosios voveraitės – 18–50 kg/ha, tačiau paprastai šių grybų derlingumas būna žymiai mažesnis. Per pastaruosius keliolika metų gerokai padidėjo grybų rinkimas. Kai kuriuose regionuose, ypač Pietų ir Pietryčių Lietuvoje, už grybus ir uogas gaunamos pajamos beveik prilygsta ar yra net didesnės nei pajamos, gaunamos už medieną (1998 m. vien iš Varėnos raj. miškų supirkta 3000 tonų grybų už 23 mln. Lt, tuo tarpu vietinės urėdijos gavo beveik per pus mažiau pajamų už parduotą medieną). Grybų rinkos plėtrai didelės įtakos darė smarkiai padidėjęs šio produkto eksportas į Vokietiją, Prancūziją, Italiją, Skandinavijos ir kitas Europos šalis. Oficialiais statistikos duomenimis per pastaruosius 10 metų kasmet Lietuvoje superkama nuo 0,45 tūkst. tonų (sausringais 2002 m.) iki 3,87 tūkst. tonų (2001 m.) grybų, vidutiniškai apie 2,2 tūkst. tonų grybų, kurių vertė siekia apie 25 mln. Lt. Daugiausia superkama voveraitės (80–99% visų grybų), baravykų (0,5–24,5%), žaliuokių (iki 5%) ir makavykų (iki 3,5%), gerokai mažiau kitų grybų – gudukų, šilbaravykių, ūmėdžių, baltikų, piengrybių, bobausių ir briedžiukų. Manoma, kad šalies gyventojai iš viso kasmet surenka 6–16 tūkst. tonų ir savo reikmėms sunaudoja iki 3–10 tūkst. tonų grybų.

Valgomųjų grybų vaisiakūnių komercinio rinkimo įtaka grybų grybienos vystymuisi ir gyvybingumui yra skirtinga ir, matyt, priklauso nuo rinkimo masto ir būdo, grybų biologinių ypatybių ir augaviečių savybių. Pastebėta, kad mažėja mikorizinių grybų, iš jų pagrindinių valgomųjų grybų, vaisiakūnių dydis ir bendras kiekis. Kol kas neaišku, ar šių grybų mažėja dėl intensyvaus rinkimo, dėl kurio vaisiakūniai nespėja užaugti, ar

dėl augaviečių pažeidimo – suplūktų ir surdėtų dirvožemių, rūgščiųjų lietu, klimato pokyčių. Įvairių šalių mikologai, tirdami su grybavimu susijusias problemas, pateikia gana prieštaringsus duomenis. Eksperimentiniais tyrimais keliose Europos šalyse nustatyta, kad kelerius metus trukęs saprotrofinių agarikoidinių grybų vaisiakūnių nurinkimas pievose ir mišriuose miškuose nesumažino vaisiakūnių produktyvumo. Vieni autoriai teigia, kad vaisiakūnių rinkimas iš esmės neprisideda prie rūšių populiacijų sumažėjimo ir grybienos nykimo, pvz., valgomosios voveraitės išliko gana gausios tradicinėse grybavimo vietose Olandijoje. Tačiau kiti tyrėjai pastebi, kad plataus masto grybų rinkimas gali sukelti dirvožemio suslėgimą (sumažėja aeracija), paviršinio dirvožemio sluoksnio ir paklotės suardymą bei ženklų grybų diasporų sumažėjimą. Šie padariniai gali trikdyti ekologinius procesus, vykstančius miškuose ir kitose augavietėse. Tyrimai, kuriais buvo bandoma atskleisti miško paklotės ir humuso ardymo įtaką ektomikorizinių grybų vaisiakūnių formavimui, parodė nevienareikšmius duomenis. Vienur paklotės ardymas ar jos pašalinimas padidino derančių rūšių ir formuojamų vaisiakūnių skaičių, tačiau kitur darė neigiamą įtaką. Pvz., atlikus eksperimentinius bandymus Pietų Lietuvos pušynuose, nustatyta, kad ploteliuose, kuriuose buvo pašalinta samanų danga, per pirmus ketverius metus sumažėjo valgomosios voveraitės vaisiakūnių skaičius, kepurėlių dydis ir biomasė bei padidėjo grybienos jautrumas klimatinėms sąlygoms. Viena aiškiai matosi, kad masinis grybų rinkimas kelia gamtosauuginių problemų. Iš šio verslo miškų savininkams neretais atvejais lieka tik miške paliktos šiukšlės, ištrypta, išardyta ar automobilių ratais išvažinėta miško paklotė, sukelti gaisrai. Todėl natūralu, kad miškininkai, mokslininkai ir gamtosauugininkai rekomenduoja labiau kontroliuoti šį verslą.

Taip pat reikia suprasti, kad grybų vaisiakūniai gamina ekologiškai svarbias grybų diasporas, yra gyvūnų (vabzdžių, sraigų, žinduolių) ir kitų grybų maisto šaltinis bei turi estetinę vertę.

Mikoindikacija ir lichenoidindikacija. Mikoindikacija ir lichenoidindikacija – vieni iš bioindikacinių metodų, leidžiančių vertinti aplinkos kokybę pagal grybus ir kerpes, jų rūšių sudėtį, bendrijas ir bioindikacines reakcijas. Indikatorinių grybų rūšių tyrimai atliekami norint išsiaiškinti oro ir dirvožemio taršos pobūdį ir mastą, augalų bendrijų natūralumą ir sveikatingumą. Kai kurie grybai sugeba savyje sukaupti ženklus kiekius sunkiųjų metalų ir net viršijančius jų kiekį, esantį substrate. Todėl grybai gali būti panaudoti miško ekosistemų užterštumo sunkiaisiais metalais preliminariai indikacijai. Kai kurie lapų ir spyglių grybai, pvz., *Lophodermium pinastri* ir *Rhytisma acerinum*, yra jautrūs padidėjusiai sieros dioksido koncentracijai ore, kadangi ant substratų susidariusi rūgštinga terpė stabdo šių grybų sporų dygimą ir pradinės grybienos vystymąsi. Epifitinės kerpės jau nuo XIX a. žinomos kaip oro taršos indikatoriai, nes buvo pastebėta, kad miestuose kerpės nyksta. Įvairius kerpių fiziologinius procesus neigiamai veikia rūgštieji lietūs, fluoridai, sunkieji metalai, kai kurie organiniai junginiai ir azoto junginių perteklius. Oro taršos poveikis kerpių bendrijoms pasireiškia keliais būdais: sumažėja kerpių rūšių įvairovė, sumažėja bendras kerpių gniužulų paviršius, pasikeičia kerpių bendrijų rūšių sudėtis (paprastai, atitinkamai padaugėja taršai tolerantiškų rūšių). Pavojingiausi teršalai yra azoto dioksidas NO_2 ir sieros dioksidas SO_2 , kurie, ištirpę ore esančiuose garuose, virsta rūgštimis. Patekus joms į kerpės gniužulo ląsteles, sutrinka jų medžiagų apykaita. Kerpių jautrumą teršalams lemia jų biologija. Dauguma kerpių yra

daugiamečiai organizmai ir aktyvūs ištisus metus, todėl savyje nuolat kaupia teršalus. Jos neturi kasmet sezoniškai atmirštamų ar numetamų dalių, todėl negali pašalinti organizme susikaupusių toksiškų medžiagų. Kerpės gniužulas neturi apsauginės kutikulos ir žiotelių, todėl į jį bet kada gali patekti tirpalai, dujos ir aerozoliai. Netgi gniužulo išdžiūvimas iki orasausio – fiziologinė savybė, padedanti kerpei išgyventi sausros laikotarpius, užterštumo sąlygomis gali būti kerpei pražūtinga, nes tirpalai su kenksmingomis medžiagomis džiūdami pasiekia toksiškas koncentracijas. Kerpių rūšys pasižymi skirtingu jautrumu oro taršai: nuo labai atsparių (tolerantiškų) iki labai jautrių. Dėl oro taršos pirmiausia žūsta krūmiškosios kerpės, atspariausios yra žiauberiškos kerpės. Pvz., vienos rūšys išnyksta esant ore SO_2 koncentracijai apie $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (*Lobaria pulmonaria*, daugelis *Usnea* genties rūšių), o kai kurios visai neblogai jaučiasi ir esant $125 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pasaulyje, taip pat Lietuvoje, atliekami įvairaus pobūdžio lichenoidindaciniai tyrimai, nustatant kerpių reakciją į užterštumą: registruojami rūšių įvairovės ir bendrijų pasikeitimai, sudaromi lichenoidindaciniai oro užterštumo žemėlapiai, tiriami morfologiniai, anatominiai, cheminiai, fiziologiniai ir populiaciniai kerpių pokyčiai.

Kerpių stebėseną Olandijoje atskleidė oro kokybės ir kerpių rūšių kaitos dėsninimumus. Didelė kerpėms toksiškų SO_2 dujų emisija 1960–1980 m. sukėlė smarkų kerpių nykimą, tačiau, sumažinus SO_2 dujų emisiją, 1980–2000 m. kerpių rūšių padaugėjo, jų įvairovė beveik atsistatė. Daug grįžusių kerpių rūšių yra nitrofilinės, jos labiausiai paplitę vietose, kuriose intensyviai vystoma gyvulininkystė ir į atmosferą išskiriama daug amoniako (NH_3). Šios dujos mažina medžių žievės rūgštingumą ir padidina azoto kiekį. Dėl šios priežasties pradėjo nykti acidofilinės kerpės, ypač tos, kurios augo ant ažuolų

ir bukų – medžių, ant kurių dažniausiai auga kerpės Olandijoje. Naujausiais duomenimis, nitrofilinių kerpių, kurių buvo labai padaugę 1990–2000 m., pradėjo vėl mažėti. Matyt, tam įtaką darė išskiriamo amoniako kiekio sumažėjimas.

Tam tikri saprotrofiniai grybai yra charakteringi natūralioms ar pusiau natūralioms pievoms ir ganykloms, ypač toms, kurios susidarė ant skurdžių, maisto medžiagų mažai turinčių dirvožemių. Kai kurios makromicetų rūšys iš *Hygrocybe*, *Camarophyllus*, *Clavaria*, *Entoloma* ir *Geoglossum* genčių yra mikologiniu požiūriu vertingų pievų ir kitų žolynų bioindikatoriai. Analogiškai, kai kurios grybų (pvz., *Fomitopsis rosea*, *Ganoderma lucidum*, *Grifola frondosa*, *Hapalopilus croceus*, *Phlebia centrifuga*, *Pycnoporellus fulgens*, *Xylobolus frustulatus*, *Geastrum* ir *Clavariadelphus* genčių rūšys) ir kerpių (pvz., *Chaenotheca phaeocephala*, *Evernia divaricata*, *Lecanactis abietina*, *Lobaria pulmonaria*, kai kurios *Bryoria*, *Calycium*, *Peltigera* ir *Usnea* genčių kerpės) rūšys yra senų ir natūralių (mažai paveiktų miško tvarkymo darbų) miškų ar jų fragmentų (buveinių) indikatoriai, kadangi jos tiesiogiai ar netiesiogiai priklauso nuo miško amžiaus, stambių medienos elementų (stovinčių kamienų ir nukritusių stuoabrių ar šakų) bei jose esančio specifinio ir pastovaus mikroklimato. Šios indikacinės rūšys naudojamos nustatyti ir išskirti bioįvairovės požiūriu vertingiems miško plotams, kad reti ir saugotini organizmai galėtų juose rasti prieglobstį ir iš jų plisti į kitas miško buveines. Kaip ir įvairiose Europos šalyse, siekiant išsaugoti biologinės įvairovės ir kraštovaizdžio elementus miško ekosistemose, visoje Lietuvoje 2001–2005 m. buvo atlikta kertinių miško buveinių (KMB) inventorizacija. KMB – nepažeistas miško plotas, kuriame dabar yra didelė tikimybė aptikti nykstančių, pažeidžiamų, retų ar saugotinių specializuotų ar indikatorinių

buveinių rūšių. Šios rūšys evoliucijos metu prisitaikė gyventi vėlyvos sukcesinės stadijos miškuose, yra priklausomos nuo tam tikros kokybės specifinių miško buveinių ir negali išgyventi ūkiniuose miškuose. Remiantis specializuotomis ir indikatorinėmis grybų, kerpių, samanų, vabzdžių ir kitų organizmų rūšimis, kertiniais biologiniais ir kraštovaizdžio elementais, aprašyta ir kartografuota 8902 KMB, apimančios 26 428 ha ypatingos aplinkosauginės vertės miškų.

9.12. Grybų nykimas ir apsauga

Gamtoje nuolat vyksta grybų rūšių įvairovės, funkcinų grupių ir bendrių kaita. Vienų grybų rūšių populiacijų mažėja, kitos lieka beveik nepakitusios, o trečių daugėja. Prognozuojama, kad jei gamtos destruktija vyks tokiu tempu kaip dabar, tai per artimiausius 25 metus Žemėje gali išnykti apie ketvirtį biologinės įvairovės, tai yra apie 20 000 žinomų ir tūkstančiai dar nežinomų grybų rūšių. Paradoksalu, tačiau kol kas dar nėra pagrįstų pranešimų apie kokios nors konkrečios grybų rūšies išnykimą globaliu mastu. Visų pirma, tai yra dėl to, kad iš šios srities atlikta nepakankamai tyrimų. Kaip sužinoti, ar reta rūšis visiškai išnyko, jeigu jos efemeriniai vaisiakūniai randami nereguliariai daugelio metų intervalu ir skirtingose vietose? Antra, grybai yra mažiau pažeidžiami nei augalai, kadangi tik keletas rūšių yra endemai mažame plote, jų plitimo galimybės yra didesnės, beveik neįmanoma grybų išnaikinti tikslingai, pvz., renkant jų vaisiakūnius, kaip tai įvyko su kai kuriais augalais ar gyvūnais.

Grybų nykimas pastebėtas regioniniu ar žemyno mastu. Apie 30–40% Europos grybų ir kerpių rūšių populiacijos mažėja, ir joms gresia išnykimas. Grybų rūšių mažėjimą demonstruoja kai kurie Vakarų Europos miko-

logų darbai. Pvz., Austrijos Zalcburgo apylinkių miškuose per 50 metų (1937–1987) makromicetų rūšių skaičius sumažėjo 45% – nuo 172 rūšių (1937 m.) iki 95 rūšių (1987 m.). Išryškėjo keli dėsningumai: pastebimai sumažėjo ektomikorizinių rūšių (1937 m. jos sudarė 64% (110 rūšių), o 1987 m. – tik 51% (48 r.), medieną ardančių grybų procentinė dalis ir rūšių skaičius padidėjo (atitinkamai pagal metus nuo 10% (17 r.) iki 21% (19 r.)), kitų saprotrofinių grybų rūšių skaičius sumažėjo, bet procentinė dalis liko beveik tokia pati (atitinkamai nuo 26% (45 r.) iki 28% (28 rūšys)). Šiuos grybų kaitos dėsningumus patvirtina kiti makromicetų tyrimai, atlikti 1950–1990 m. Olandijoje *Pinus sylvestris* medynuose. Nustatyta, kad per 40 metų laikotarpį labai sumažėjo visų ektomikorizinių grybų rūšių skaičius (gentys *Cortinarius*, *Inocybe*, *Lactarius*, *Russula*, *Amanita*, *Boletus*, *Suillus*, *Cantharellus*, *Gomphidius* ir kt.). Tačiau saprotrofinių grybų rūšių skaičius nesumažėjo (gentis *Paxillus*) ar tik nežymiai sumažėjo (gentis *Laccaria*). 1950–1972 m. Olandijoje nustatytos mikorizinės rūšies *Amanita porphyria* 37 radavietės, tačiau 1973–1983 m. – tik 4 radavietės. Įvairių ektomikorizinių makromicetų rūšių nykimas užregistruotas ir kitose Pasaulio valstybėse. Nustatyta, kad natūraliose pievose, ypač tose, kurios susidarė ant skurdžių dirvožemių, saprotrofiniai grybai iš *Entoloma*, *Geoglossum* ir *Hygrocybe* genčių praranda savo įvairovę.

Mažėja ne tik grybų rūšių skaičius, bet menkėja makroskopinių grybų vaisiakūnių kiekis ir jų produkcija. Ypač mažėja ektomikorizinių grybų produkcija. XX a. pradžioje Vakarų Slovakijoje kasmet buvo superkama apie 200–300 kg trumų (*Tuber*) vaisiakūnių, tačiau dabar jų beveik nerandama. Vokietijoje 1955–1975 m. tirtas Saarbrücken'o mieste supirktų grybų kiekis. Nustatyta, kad mikorizinės rūšies valgomosios voveraitės (*Cantharellus cibarius*) surinkta ir supirкта

vis mažiau: 1955 m. supirkta daugiau nei 9 tonos, 1965 m. – mažiau kaip 2 t., o 1975 m. – mažiau nei 0,5 t. Kitų mikorizinių grybų iš baravykų (*Boletus*) genties 1955 m. supirkta 4 t., 1965 m. – apie 1 t., o 1975 m. – mažiau kaip 0,5 t. Tačiau medieną ardančios rūšies paprastojo kelmučio (*Armillaria mellea*) supirkta maždaug toks pat kiekis – priklauso mai nuo metų, nuo 0,5 iki 5 tonų.

Pagrindinės grybų ir kerpių nykimo priežastys yra: 1) buveinių/augaviečių destruktija (pastatų, kelių ir užtvankų statyba, karjerų ir eksploatuojamų durpynų įsteigimas, plynas miško kirtimas), 2) buveinių/augaviečių natūrali sukcesija (pvz., vyraujančių medžių amžiaus ir rūšių kaita, pievų užaugimas krūmais ir medžiais), 3) miško ir žemės ūkio tvarkymo būdai ir jų keitimas (miškų konversija į žemės ūkį, plačialapių miškų pakeitimas spygliuočių medžių plantacijomis, monokultūrų auginimas, medienos liekanų pašalinimas, pievų dirvožemio arimas ir kitų žolinių augalų sėjimas, miško želdinimas ar natūralus miško užaugimas vietose, kuriose buvo nutraukta pievininkystė ar ganymas, sunkios technikos naudojimas), 4) dirvožemio gruntinio vandens lygio kritimas (melioracija), 5) oro ir aplinkos tarša (eutrofikacija, rūgštėjimas – azoto ir sieros junginių padidėjimas (rūgštieji lietūs), užterštumas sunkiaisiais metalais, radionuklidais ir dulėmis), 6) tręšimas ir pesticidų vartojimas (natūralių pievų tręšimas organinėmis ir mineralinėmis trąšomis, fungicidų naudojimas), 7) nesaikingas valgomųjų grybų rinkimas, 8) turizmas ir rekreacija (viršutinio dirvožemio sluoksnio sutrypimas ir suardymas, dirvožemio erozija). Didžiausią įtaką grybų rūšių nykimui Pasaulyje daro oro tarša, agrokultūrinė konversija (miškų, pelkių ir natūralių pievų pritaikymas žemdirbystei) ir miškininkystė.

Pagrindinės grybų ir kerpių apsaugos priemonės: 1) mikologiniu ir lichenologiniu

požiūriu vertingų buveinių/augaviečių išsaugojimas, 2) draugiškų bioįvairovei ūkininkavimo būdų parinkimas, 3) aplinkos taršos mažinimas, 4) valgomųjų grybų ir vaistinių kerpių rinkimo reguliavimas, 5) nykstančių rūšių auginimas dirbtiniu būdu ir renatūralizacija, 6) aplinkos apsaugos teisinės bazės tobulinimas, 7) visuomenės ekologinis švietimas, 8) moksliniai tyrimai ir stebėseną.

Išnykusios, nykstančios, retos ir kitos saugotinos grybų ir kerpių rūšys įrašomos į Raudonąsias knygas ir Raudonuosius sąrašus. Beveik visose Europos šalyse sudaryti nacionaliniai grybų raudonieji sąrašai, įrašytų rūšių skaičius juose įvairuoja nuo kelių dešimčių iki tūkstančio ir daugiau. Didžiąją dalį sudaro makroskopiniai grybai ir kerpės. Iš beveik 3000 potencialių nykimo grėsmę patiriančių makromicetų rūšių Europoje 2760 sudaro papėdgybiai, t.y. maždaug 50% visų Europos rūšių. Dirvožemio saprotrofiniai grybai sudaro 35%, ektomikoriziniai grybai – 31%, medienos saprotrofai – 28%, medžių parazitai – 2%, koprotrofai – 1%. Į kai kuriuos sąrašus taip pat įrašyti gleivūnai ir mikroskopiniai grybai, pvz., tik ant endeminių ar nykstančių augalų augantys patogeniniai grybai.

Raudonųjų sąrašų analizė rodo, kad didžiausią dėmesį būtina atkreipti į tam tikrų taksonominių ir ekologinių grybų grupių būklę:

- 1) pirmąkartiniams ir seniems miškams būdingos grybų ir kerpių rūšys, kurios prisitaisiusios gyventi ant senų kamienų ir šakų bei stambių medienos nuokritų, pvz., kempininiai grybai. Tokių miškų Europoje daugiausia išliko nuošaliose Skandinavijos vietose ir kalnuose. Didžiausią grėsmę jiems kelia medžių iškirtimas ir miško nykimas dėl oro taršos.
- 2) pelkėms ir kitoms šlapžemėms būdingi grybai, kuriems pavojų kelia melioracija, durpynų eksploatavimas, jų pritaikymas

žemdirbystei ar užželdinimas mišku.

- 3) pajūrio ir žemyninėms kopoms bei stepėms būdingi saprotofiniai grybai, pvz., nemaža dalis gasteromicetų. Jų buveinės nyksta dėl smėlio kasimo, rekreacijos, miško želdinimo ar natūralių sukcesijų.
- 4) senų, skurdžių ir netręšiamų natūralių ir šienaujamų pievų specializuoti grybai, pvz., iš *Hygrocybe*, *Entoloma* ir *Dermoloma* genčių ar *Clavariaceae* ir *Geoglossaceae* šeimų. Jų tipinės augavietės kinta dėl padidėjusio ūkininkavimo (tręšimo mėšlu ir mineralinėmis trąšomis) ir užsodinimo mišku.
- 5) daugelis ektomikorizinių grybų ir epifitinių kerpių rūšys, kurios asocijuotos tiek su lapuočiais, tiek su spygliuočiais medžiais ir patiriančios didelį industrinės taršos poveikį. Jų nykimas siejamas su teršalų neigiamu poveikiu medžiams (sumažėjusi fotosintezė) ir dirvožemiui (rūgštėjimas ir azotinių medžiagų akumuliacija).

Grybų apsaugos praktika Europos šalyse yra nevienoda. Vienose šalyse jokių specialių teisinių aktų ir grybų rinkimą reguliuojančių taisyklių nėra, kitose šalyse draudžiama rinkti kai kurias retas grybų rūšis, įvesti apribojimai valgomųjų grybų rinkimo kiekiui ir laikui, įsteigti mikologiniai draustiniai retų grybų bendrijoms išsaugoti.

112 grybų ir 63 kerpių rūšys įrašytos į Lietuvos raudonąją knygą (2007 m.), visos jos saugomos įstatymų. Lietuvos grybų rinkimą ir supirkimą reguliuoja *Lietuvos Respublikos Miškų, Saugomų teritorijų, Laukinės augalijos, Saugomų gyvūnų, augalų, grybų*

rūšių ir bendrųjų įstatymai, Grybavimo Lietuvos miškuose taisyklės ir kiti teisės aktai. Juose nėra nustatyta grybų išteklių naudojimo limitų. Grybauti leidžiama visuose šalies miškuose, išskyrus rezervatų ir ornitologinių draustinių (nuo balandžio 1 iki rugsėjo 1 d.) miškus, taip pat miškuose, kuriuose grybavimas laikinai uždraustas, bei privačiuose miškuose, esančiuose arčiau kaip 100 metrų iki miško savininko sodybos. Leidžiama rinkti visų, išskyrus į Lietuvos raudonąją knygą įrašytų rūšių grybus. Taisyklės numato, kad negalima rinkti, parduoti ir supirkti voveraičių, kurių kepurėlės skersmuo mažesnis negu 1 cm, baravykų, kurių kepurėlės skersmuo mažesnis negu 1,5 cm. Draudžiama ardyti miško paklotę, samanų ir kerpių dangą, niokoti nerenkamus grybus. Taisyklių laikymąsi kontroliuoja Valstybinė aplinkos apsaugos inspekcija ir regionų aplinkos apsaugos departamentų rajonų (miestų) aplinkos apsaugos agentūros.

Literatūra

- Andersson L., Kriukelis R., Skuja S. (2005). *Kertinių miško buveinių inventorizacija Lietuvoje*. Vilnius.
- Breckle-Siegmund W. (2002). *Walter's Vegetation of the Earth*. Berlin.
- Deacon J. W. (1997). *Modern Mycology*. Cambridge.
- Dix N. J., Webster J. (1995). *Fungal Ecology*. London.
- Fungi and Environmental Change* (1996). J. C. Frankland, N. Magan, G. M. Gadd (eds.). Cambridge.
- Kutorga E. (2004). Lietuvos grybų įvairovės pažinimas: dabartis ir perspektyvos. *Mokslas Gamtos mokslų fakultete. Fakulteto trečiosios mokslinės konferencijos pranešimai*, 102–112.
- Natkevičaitė-Ivanauskienė M. (1983). *Botaninė geografija ir fitocenologijos pagrindai*. Vilnius.
- Plant Ecology* (1997). Crawley M. J. (ed.). Cambridge.
- The Mycota. Environmental and Microbial Relationships* (1997). K. Esser, P. A. Lemke (eds.). Berlin.

10. Faunos būklė dabarties antroposferoje

Biologinė rūšių įvairovė suprantama kaip visų mums šiandien žinomų Žemėje egzistuojančių gyvybės formų visuma, apimanti visus atskirus jų organizacinius lygmenis – rūšis ir jų genomus, populiacijas, pačias ekosistemas ir jų struktūrinius vienetų (buveines, biotopus).

Žvelgiant plačiau, biologinės įvairovės įtakai turėtume priskirti ir atskirus ekologinius procesus, kurie yra susiję su rūšių populiacijų tarpusavio sąveikomis, kolektyvinio dalyvavimo kituose, aukštesnio rango procesuose. Pavyzdžiui, dalyvavimas ekosistemų funkcionavimo palaikymo procesuose (anglies dioksido asimiliacija, deguonies produkcija, maisto medžiagų sulaikymas, jų skaldymas, produkcijos (biomasės) kaupimas ir kt.), įskaitant ir atsakomąsias atmosferos reakcijas (ilgalaikiai ar trumpalaikiai klimato, kraštovaizdžio pokyčiai, sukauptų resursų eikvojimas, invaziniai procesai, ekologinių bendrijų transformavimasis ir kt.).

Milžiniška rūšių įvairovė apskritai ir jų atskiri kompleksai palaiko konkrečių ekosistemų stabilumo, jų atsparumo (rezistenciškumo) bei adaptyvumo gebą nuolat besikeičiančioje aplinkoje.

Biologinės rūšių įvairovės bendroji būseną (geografinis pasiskirstymas, gausa, produktyvumas ir kt.) tiesiogiai siejama su esama bendrąja biosferos būkle bei jos tolesne raida – tuo pačiu ir joje vyraujančios rūšies – žmogaus – gerbūviu, jo tolesnių veiklų plėtros, visos egzistencijos perspektyvomis.

Kol kas biologinė įvairovė biosferoje yra vienintelė ir pagrindinė gyvybės palaikymo forma Žemėje.

10.1. Kas žinoma apie biosferos biologinę įvairovę?

Teigiama, kad detalios ištirta ir aprašyta 1,7 mln. (kitų autorių teigimu, nuo 1,4 iki 1,8 mln.) rūšių ir jų porūšių. Dar kitų mokslinių šaltinių teigimu, biologai iki šiol aprašė 1 362 000 rūšių ir porūšių, iš vabzdžių – apie 400 000. Manoma, kad esamas 50 000 bakterijų rūšių skaičius gali didėti iki 3 mln.

Biosferoje rūšių įvairovės gausa pasiskirsčiusi labai nevienodai; antai Amazonės drėgnųjų atogrąžų miškų biomo viename hektare sutinkama 473 medžių ir krūmų rūšys, o štai vidutinio klimato miškų biome (Europoje, Azijoje ir Šiaurės Amerikoje) apie 420 mln. ha iš viso užregistruota tik 1166 medžių ir krūmų rūšys.

Iš šio sąrašo jau aprašyta dauguma aukštesniųjų augalų ir stuburinių gyvūnų (žinduoliai, paukščiai, ropliai, varliagyviai) rūšių, tačiau kita, didžiąją biomasės apimtį sudaranti dalis, priklausanti žemesniems sistematinių taksonų rangams, kol kas dar mažai ištirta. Įvairių virusų, mikroorganizmų kamienų, bestuburių klasių, kriptogamų (žiedų neturintys organizmai) rūšių ir net sisteminė įvairovė sudaro tik nedidelę realiai egzistuojančių rūšių dalį. Įvairių šalių mokslininkų teigimu, biosferoje dar gali egzistuoti nuo 10–30 mln. (dar kitų teigimu iki 111 mln.!) mums dar nežinomų biologinės įvairovės atstovų, arba kitaip tariant dar egzistuoja iki 80% mums nežinomų rūšių ir net aukštesnių sistematinių taksonų (genčių, būrių, klasių, netgi tipų). Tai labai didelis ir kartu greitai kintantis (ypač pastaraisiais dešimtmečiais globaliai naikinamas, todėl mažėjantis) dydis.

10.1 lentelė. Esami duomenys apie inventorizuotą (jau aprašytą ir susistemintą) biologinę įvairovę Žemėje (World..., 2000)

Šiandien aprašytų virusų	Daugiau kaip 5 000
Bakterijų	Daugiau kaip 4 000
Dumblių, protistų	Daugiau kaip 80 000
Grybų	Daugiau kaip 72 000
Augalų	Apie 270 000
Įvairių bestuburių (išskyrus vabzdžius)	Daugiau kaip 400 000
Vabzdžių	Daugiau kaip 960 000
Žuvų	Daugiau kaip 22 000
Amfibijų ir reptilijų	Apie 12 000
Paukščių	Apie 10 000
Žinduolių	Apie 4 500
Manoma, kad biosferoje, įskaitant ir dar neaprašytas rūšis, biologinė įvairovė gali siekti per 14 mln., o gal ir daugiau rūšių !...	

Ir šiandien, kaip K. Linėjaus laikais, mes pildome duomenų bazes apie biosferoje egzistuojančių rūšių skaičiaus sąrašus, jų hierarchiją, jų populiacijų paplitimą ir ekologinę būklę, nes, lig šiol neperžengę sisteminio aprašomojo laikmečio, dar mažai įsigilinome į ekosisteminį lygmenį. Pavyzdžiui, vien tik JAV (tai viena iš valstybių kur geriausiai ištirta, jos egzistuojanti biologinė įvairovė) šiaudien užregistruota apie 204 000 biologinių rūšių, kas sudaro apie 8% nuo visos Pasaulyje žinomos biologinės įvairovės. Tačiau mokslininkai teigia, kad JAV teritorijoje tikrasis gyvenančių rūšių skaičius gali siekti nuo 400 000 iki 600 000 rūšių. Taigi ir XXI amžiuje naujų rūšių atradimas ir sisteminė inventorizacija bus tęsiama visame Pasaulyje.

Daugeliui rūšių arealo ribas lemia tiek maksimalios, tiek minimalios abiotinių veiksnių sukuriamų sąlygų reikšmės. Tai gana griežti rūšių paplitimą ribojantys veiksniai. Turime daug sukauptos informacijos apie vidutinio klimato geografines zonas (biomus), tačiau kur kas menkesnės žinios apie tropinių zonų miškų, šlapžemių, pelkių ir vidaus vandenų, vandenynų gelmių ekosistemų biologinę įvairovę. Nors ir neturėdami

išsamios informacijos apie visas dabartines Žemėje esančias rūšis, jau galime susidaryti bendrą vaizdą apie jų sistematinių dalinių (taksonų) geografinį pasiskirstymą ir esamą būklę.

10.2. Rūšių pasiskirstymas biosferoje

Viena akivaizdžių biologinės įvairovės savybių yra netolygus rūšių geografinis pasiskirstymas atskirose regionų ekosistemose. Tokią bioklimatinių zonų sanklodą sąlygojo ne tik dabartinės klimatinės sąlygos, bet ankstesniųjų laikotarpių abiotiniai ir biotiniai veiksniai, nulėmę ir visų ekosistemų raidą. Žvelgiant plačiau, biologinės įvairovės pokyčius nulėmė, regis, pastoviausios iš visų Žemės sferų – geosferos nepastovumas. Tai rodo geotektonikos, plokščių mobilizmo, žemynų dreifo teorijos ir vis nauji su tais procesais siejami fosiliniai biologinės įvairovės radiniai.

Visus dabartinę pasaulinę biologinių rūšių populiacijų būklę reguliuojančius veiksnius biosferoje galima suskirstyti į kelias pagrindines grupes:

- ekologiniai veiksniai;
- evoliucijos poveikis;
- antropogeniniai veiksniai.

Ekologiniai veiksniai. Sausumos (terestriinėse) ekosistemose egzistuoja tam tikri esančių atskirose ekologinėse nišose biologinių rūšių pasiskirstymo ekosistemose, buveinėse, biotopuose, dėsniniai:

- tropinėse srityse viename apibrėžtame biotopu – vienoje ekologinėje nišoje – gali egzistuoti daugiau rūšių nei šalto klimato juostose;
- šlapiuose biotopuose (tropinių šlapžemių, pelkių, mangrovių) – vienoje ekologinėje nišoje – gali egzistuoti daugiau rūšių nei sausumoje;

- trumpalaikio buvimo atskiruose biotopuose (pvz., individų santalkos sezoninių migracijų metu) gali egzistuoti žymiai daugiau rūšių nei pastoviai apgyventuose;
- besikeičiančio klimato ir labilios erdvinės architektūros ir buveinių topografijos (augalų bendrijų) biotopuose egzistuoja žymiai daugiau rūšių nei pastovaus klimato ir nekintančiuose biotopuose.

Rūšių, užimančių didelius arealus, gyvenimo sąlygos (abiotinių ir biotinių veiksnių kaita ir įvairovė juose) yra žymiai įvairesnės nei rūšių, egzistuojančių mažose, labai ribotos abiotinės aplinkos teritorijose. Pati didžiausia aptinkama rūšių įvairovė užregistruota konkrečiuose sasumos (žemynų) regionuose – drėgnuose atogrąžų miškuose, o mažiausia – poliariniuose ir dykumų rajonuose.

Ir didžiausios biologinės įvairovės rajonuose gyvybės formų gausa pasiskirsčiusi labai netolygiai – žymia dalimi tai priklauso nuo abiotinių veiksnių. Pvz., Amazonės baseine, kur biologinė įvairovė yra didžiausia, išskiriami net keli specifiniai atogrąžų miško tipai, kur biologinė įvairovė priklauso tik nuo upės vandens lygio. Pagal pakrančių miškų užtvindymo trukmę ir mastus atogrąžose yra skiriami: ilgalaikio užtvindymo miškai (juose biologinė įvairovė mažiausia), trumpalaikio užtvindymo miškai, užtvindomi tik didžiausių potvynių metu miškai ir neužtvindomi miškai, kuriuose biologinė įvairovė yra didžiausia.

Vandenynuose didžiausia rūšių įvairovė aptinkama sekliuose žemyninio šelfo rajonuose esančiose ekosistemose, koraliniuose rifuose, o pati mažiausia – vandenynų pelagialų ir hadalių srityse. Vienos iš turtingiausių biologine įvairove tropinėse srityse yra upių deltų, šlapžemių, maršų bei mangrovių ekosistemos.

Net ekstremaliausių abiotinių veiksnių aplinkoje formuojasi ir egzistuoja biologinės rūšys, stebinančios savo adaptyvumu, gyvenimo formų, būdo, specializacijos įvairove, pvz., hidroterminių versmių rajonuose vandenyno dugne, giliuose urvuose egzistuojančios ekosistemos.

Globaliai keičiantis klimatui ypatingo pavojaus zonoje atsidūrė, regis, mažai žmogaus lankomi rajonai, pvz., Arktis. Čia egzistuojanti biologinė įvairovė ir susidarančios laikinos ir pastovios bendrijos (10.2 lentelė) yra ypač jautrios tiek staigiai kintančiam abiotiniam, tiek (ypač) antropogeniniam poveikiui.

10.2 lentelė. Dabar žinoma biologinė įvairovė Arkties regione (Conservation..., 2001)

Sisteminiai taksonai	Žinomas rūšių skaičius	Žinoma rūšių Arkties regione	Dalis (%)
Grybai	65 000	5000	7,6
Kerpės	16 000	2000	12,5
Kerpsamanės	6000	180	3,0
Samanos	10 000	1100	11,0
Paparčiai	12 000	60	0,5
Spygliuočiai	550	8	1,2
Voragyviai	75 000	1000	1,2
Vabzdžiai	950 000	3000	0,3
Žuvis	25 000	450	1,8
Ropliai	7400	4	>0,1
Paukščiai	9950	280	2,8
Žinduoliai	4630	130	2,8

Evoliucijos poveikis. Biosferos raidoje atsirandantys įvairūs abiotiniai ir biotiniai veiksniai skatino formotis skirtinguose žemynuose esančiose panašių ekosistemų panašiose ekologinėse nišose visai negiminingų rūšių rinkinius. Tai – dar prieš 180 mln. metų besidalijančio milžiniško Pangėjos, vėliau Gondvanos, Laurazijos superžemynų padariniai. Atsiradę klimatiniai, edafiniai, akvatiniai (vandens), geografiniai barjerai lėmė dabartinės biosferos rūšių įvairovės skirtumus įvairiuose Žemės regionuose.

Dabartinė visa biologinė įvairovė biogeografiniu principu yra suskirstyta į sritis, pasižyminčias savitų rūšių kompleksais: Palearktinę (Europa, Šiaurės Afrika ir Šiaurės vakarų Azija), Nearktinę (Šiaurės Amerika), Neotropinę (Centrinė ir Pietų Amerika), Afrotropinę (Afrika, Pietinė Sachara ir Arabija), Indomalajinę (Indija, Pietryčių Azija) ir Australinę (Australija, Naujoji Gvinėja ir gretimos salos).

Antropogeniniai veiksniai. Biosferos biologinės įvairovės pokyčiai siejami jau nuo pat vienos rūšies dominavimo visose ekosistemose pradžios. Tai *Homo habilis* populiacijų atsiradimas, plėtra ir dominavimo poveikis kitoms biologinėms rūšims. Neigiamas poveikis, išryškėjantis esminiais pokyčiais ekosistemose:

- gamtinių buveinių ar ištisų ekosistemų fiziniu naikinimu (miškų kirtimai, deginimai, žemių melioracija: dirbtinis drėkinimas, arimas);
- naudingųjų iškasenų (mineralinės ir organinės kilmės) paieška ir intensyvi eksploatacija bei fizinis įvairių rūšių kaip žaliavų šaltinio (maistui ir kitiems tikslams) naikinimas;
- urbanizuotų teritorijų (miestai, gyvenvietės ir jas aptarnaujančių infrastruktūrų, pramoninės teritorijos ir aglomeratai, transporto magistralės, pramonės, žemės ūkio kultūrų teritorijos ir kt.) plėtra ir sinantropizacijos plėtra;
- aplinkos globali tarša antropogeninės kilmės nuodingomis medžiagomis;
- laukinių rūšių domestikacija (tolesnė jų istorinė dirbtinė atranka ir dabartiniai bioinžinerijos metodai), dirbtinis perkilnojimas į kitas ekosistemas (introdukcija, aklimatizacija), pakeičiant nusistovėjusius rūšių santykius; taip pat naujų galimybių sudarymas ir padidėjusi geba plisti adventyvinėms rūšims (prasidėjęs

globalizacijos procesas tam ypač palankus).

Visuotinių biologinės įvairovės problemų sąrašė adventyvinių rūšių problema savo pavojingumu yra antra (po fizinio, tiesioginio rūšių naikinimo). Deja, tenka konstatuoti, kad globaliu mastu sukliamas adventyvų neigiamas poveikis natyvinėms rūšims ir net ekologinių problemų skaičius atskiroms ekosistemoms vis didėja. Akivaizdūs ekologiniai praradimai – biologinės įvairovės skurdėjimas ir ekosistemų struktūriniai persitvarkymai registruojami tiek sausumoje, tiek hidrosistemose.

XX a. pradžioje per naujai iškastą kanalą jūrinių nęgių invazija į Didžiuosius Šiaurės Amerikos ežerus staigiai sumažino autochtoninių lašišažuvių (ežerinių upėtakių) rūšių populiacijas, sukėlė vos ne ekonominį bankrotą ten egzistavusiems žuvų verslams ir ekologinę krizę hidrosistemų būklei. Neišvengė panašios nęgių invazijos ir Rytinėse Atlanto pakrantėse esančios gėlavandenės hidrosistemos (10.1 pav.).

Introdukuotas Nilo ešerys (*Perca niloti-*



10.1 pav. Apskritežiomenių žuvų rūšių invazijos į naujas hidrosistemas tempai ir tolesnė plėtra vienoje iš Skandinavijos pusiasalio valstybių – Norvegijoje (The Living..., 1999)

cus) Viktorijos ežere (Afrika) greit sunaikino didžiąją dalį ten egzistavusių endeminių cichlidinių žuvų rūšių.

Naujų rūšių atsiradimas ir pasiskirstymas keičia ne tik biologinės įvairovės sąrašus kai kuriuose regionuose (ekosistemose, biomuose), bet tolesnės pasekmės būna kur kas gilesnės. Pavyzdžiui, keičiantis floristinei sudėčiai, pakinta santykis tarp vienmečių, dvimečių bei daugiamečių augalų, o tai keičia visos ekosistemos ne tik struktūras, bet ir funkcijas (keičiasi medžiagų (energijos) apytakos ciklai, keičiasi ir kitų, priklausomų nuo tų augalų grupių zoocenozių struktūros ir net funkcijos). Dažnai keičiasi ir ekosistemos komponentų genetinės ypatybės:

- keičiasi santykiai tarp poliploidinių ir diploidinių augalų rūšių;
- keičiasi apomiktinių ir hibridinių rūšių santykio dalys.

Naujai atsiradusi galimybė laisvai, nevaržomai hibridizacijai tarp įvairių augalų rūšių ne tik botanikos soduose kartais sukelia naujas, nenumatytas genofondo grynumo išsaugojimo problemas. Gamtinėje aplinkoje tų rūšių tarpusavio kryžminimasis (hibridizacija) negalimas dėl natūralios izoliacijos (nesutampa nei biotopai, nei paplitimo arealai). Taip atsitinka su *Allium*, *Pulsatilla*, *Trollius* šeimų augalais. Analogiškai atvejai galimi ir tarp aborigeninių bei adventyvinų rūšių, priklausančių artimoms, giminingoms grupėms, pvz., hibridizacija tarp sumedėjusių augalų šeimų *Crataegus*, *Ulmus*, *Larix*, tarp gyvūnų – kiaulinių, elninių, vištinių paukščių (fazanai). Čia įžiūrima labai reali globali genetinio identiteto praradimo, rūšies grynumo išnykimo grėsmė.

Kita tos pačios antropogeninės veiklos pasekmė siejama su prasidėjusiu dirbtiniu (antropogeniniu) rūšių keitimu ar jų skaičiaus ekosistemose mažinimu. Dažnai ekosistemose egzistuojančias rūšis sieja tvirti

obligatyviniai (privalomieji) ir gana specifiniai (tarp kelių rūšių) tarpusavio ryšiai. Todėl, išnykus kokiam nors vienai rūšiai, gali išmirti ar prarasti buvusį stabilumą dar kelios su ja susijusios rūšys, kurioms, regis, antropogeninė veikla tiesiogiai ir nedaro jokios matomos žalos. Tai savotiškos ekologinės klasterinės grupės, kurių šiandieniai tyrimai dar nepakankami.

Kasdien vis daugiau ir daugiau sukaupiama duomenų apie antropogeninį poveikį įvairių biotų ekosistemoms bei biocenozėms reproduktyvumui ir biomasei (dažniausiai skatinantį jų degradavimą). Pavyzdžiui, tundraje naudojant insekticidą seviną, sunaikinami ne tik kraujasiurbiai vabzdžiai, bet ir daugelis naudingųjų plėviasparnių bei kitų bestuburių, kurie yra svarbi jungiamoji dalis mitybinės grandyės.

Tapus konkurentu žmogui (jo medžiogams gyvūnams, jo urbanistinei ir ūkio šakų plėtrai), aukščiausiuose savo ekosistemų mitybinių grandžių lygiuose buvusios atskirų rūšių populiacijos greit degraduoja bemaž pagal tą patį scenarijų: užimamo arealo mažėjimas, jo fragmentacija, palaipsnis atskirų fragmentų išnykimas, individų skaičiaus staigus mažėjimas...

Rudųjų lokių giminaičių – baltųjų lokių (*Ursus maritima*) dabartinė būklė tapo priklausoma ne tik nuo tiesioginio žmogaus poveikio, bet ir nuo jo veiklos sukeltų visuotinių pasekmių – globalių klimato pokyčių. Tirpstantys ir greit mažėjantys apie ašigalių ledų laukai pakeitė ir ten gyvenančių ruonių – pagrindinio lokių grobio dislokacijos vietas. Anksčiau lokiai, keliaudavę į savo medžioklių plotus ledo laukais, paskutiniaisiais metais turi įveikti vis didesnius atstumus jau neužšalančių atvirų ledjūrio vandenų. Per paskutiniuosius metus konstatuota keli šimtai nepajėgusių perplaukti ir nuo pervargimo prigėrusių baltųjų lokių...

Vis didėjančioms savo reikmėms žmogus

sunaudoja vis didesnę dalį Pasaulio ekosistemose (miškai, pievos, stepės, vandens ekosistemos ir kt.) pagaminamos bioprodukcijos (savo alinančios, o ne uždaros, pastoviai resursus atnaujinančios ir papildančios sistemos modelis). Vienų mokslininkų teigimu, ketvirtadalį kasmetinės biosferoje pagaminamos fitomasės produkcijos žmonija eliminuoja iš globalaus ciklo ir panaudoja tik savo reikmėms tenkinti. Kiti autoriai teigia, kad šis skaičius tapo žymiai didesniu ir jau viršijo 40%. Pvz., iš globalios apyvartos eliminuojama žmonių reikmėms per 20% pievų ir ganyklų ekosistemų bioprodukcijos ir per 50% miškų ir ariamose žemėse išauginamos produkcijos.

Bandant kompleksiskai įvertinti biologinės įvairovės būklę pagal jos genetinę įvairovę reikėtų atsižvelgti į kelis požymius:

- specifinių taksonų skaičių (porūšių skaičius atskirose sisteminėse grupėse);
- populiacijos dydį;
- atskirų rūšių metapopuliacijų izoliatų skaičių;
- gamtinius fliktuacijos (dinaminis) procesus populiacijose;
- individų genetinę įvairovę populiacijos viduje;
- kiekybines genetines variacijas;
- vidinę populiacijos genetinę struktūrą;
- galimybę keistis genetinė medžiaga.

Genetinei įvairovei priskiriamos individualios genetinės tos pačios rūšies individų tarpusavio variacijos, sukaupotos požymių savybės, padedančios išlikti ekstremaliomis sąlygomis, galimas potencialas selekcinuose darbuose. Kintančios aplinkos įvairūs veiksniai neabejotinai veikia ir keičia genetinę įvairovę. Todėl aukščiau pateikiami septyni pagrindiniai požymiai tik iš dalies atspindi evoliucijos procese galimą rūšių genetinės įvairovės raidą ir būklę dabartiniame biosferos etape.

10.3. Biologinės įvairovės pagrindinės savybės

Norint pagrįsti praktinius įvairių rūšių išsaugojimo veiksmus reikia kokrečiau apibrėžti pagrindinius biologinės įvairovės vertinimo atskiruose regionuose kriterijus. W. Barthlott, J. Mutke ir kiti mokslininkai išskyrė 7 pagrindines savybes, pagal kurias galima įvertinti vienos ar kitos teritorijos ar regiono biologinės įvairovės reikšmingumą:

- taksonominis turtingumas;
- populiacijų, bendrųjų gausumas;
- taksonominės, filogenetinės charakteristikos;
- endemizmo dalis ir jos sisteminis rangas (lygmuo);
- alochtoninės įvairovės buveinėse, ekosistemose dalis;
- atliekamų funkcijų bendroje ekosistemoje svarba ir apimtys;
- potenciali ekonominė reikšmė ir kiti aktualūs aspektai.

Kaip greitai biologinė įvairovė gali būti sunaikinta? Išnykusių rūšių skaičius tam tikrame istoriniame Žemės raidos etape, matyt, galėtų būti biologinės įvairovės išlikimo laiko mato indikatoriniu vienetu. Biosferos raidoje yra žinomi keli (10.3 lentelė) masiško rūšių išmirimo laikotarpiai, iš kurių paskutinis buvo vos prieš 60 mln. m. Kiekvieno atveju tai buvo ilgalaikiai procesai (išskyrus galimų kosminių katastrofų, seisminio aktyvumo ir padidėjusio vulkanizmo atvejus), dėl ko biologinių rūšių evoliucija sugebėdavo „atsigauti“ ir „produkuoti“ tiek naujas rūšis, tiek naujus sistematinius taksonus.

Dar vienas iš didžiųjų (šeštasis) visuotinis biologinės įvairovės nykimas prasidėjo su žmonių populiacijų invazijomis į žemynus ir salas. Geologinio laiko skalėje hominidų įsigalėjimas biosferoje ir jų globalaus poveikio aplinkai laikotarpis yra nepaprastai trumpas – tarsi vos

10.3 lentelė. Didžiųjų biologinės įvairovės netekčių laikotarpiai biosferos raidoje

Geologinis periodas	Geologinis laikas prieš mūsų erą (mln. metų)	Išmirusių rūšių dalis (%)
Mioceno vidurys	12	24
Vėlyvasis eocenas	35	35
Viršutinės kreidos pabaiga	65	76
Viršutinės kreidos pradžia (cenomanis)	90	53
Apatinė kreida (aptis)	116	41
Viršutinė jura	146	45
Apatinė (ankstyvoji) jura (plinsbachis)	187	53
Vėlyvasis triasas	208	76
Vėlyvasis permās	245	96
Vėlyvasis devonas	367	82
Vėlyvasis ordovikas	439	85 (iš jų ~ 50% gyvūnų taksonų)

kelias sekundes per parą trunkantis blyksnis, tačiau pagal poveikio mastus jis gali prilygti didžiosioms Žemę ištikusioms katastrofoms.

Biogeografų teigimu, sunaikinus 90% gamtinės aplinkos, buveinėse dingsta daugiau nei 50% ten egzistavusių rūšių. Istoriniu (žmonijos civilizacijų raidos) 10 000 metų laikotarpiu greičiausiai Žemėje naikinamos atogrąžų miškų ekosistemos. Ten didžiausias išnykusių rūšių kiekis per dešimtmetį gali siekti 11–15%, o vidutinis – iki 2–5%. Jei teigtume, kad Žemėje yra 10 mln. rūšių, tai kasmet potencialus išnykimo pavojus grėstų net 20 000–50 000 rūšių, iš kurių daugumą sudarytų įvairūs bestuburių sisteminiai taksonai.

Egzistuoja ir kitas liūdnu pranašysčių scenarijus. Nuo XVII a. yra žinomas žinduolių, paukščių, aukštesniųjų augalų rūšių išnykimo greitis. Jeigu minėtų grupių rūšių nykimo tempai nesulėtės, tai 4600 žinduolių ir 9600 paukščių rūšių (daugiausia tropinių) išnyks per artimiausius 200–300 metų, 2200–50 000 tropinių augalų (daugiausia palmių) rūšių – per 50–100 metų. Kitų specialistų teigimu, paukščių įvairovė turėtų išnykti ne anksčiau kaip po 800–2800 metų. Pavyzdžiui, JAV nyksta arba greitai mažėja 1231 (496 gyvūnų ir 735 augalų) rūšių. Manoma, kad jau XXI a. pradžioje čia gali išnykti apie 500 stuburinių gyvūnų ir stuomeninių au-

galų rūšių. Kaimyninėje Kanadoje nykstančių ir greitai mažėjančių rūšių sąrašė tik 353 rūšys. Per visai trumpą biologiniu požiūriu JAV valstybės gyvavimo istoriją daugiau kaip 100 rūšių išnyko iš jos teritorijos. Kai kuriems gyvūnams (Labradoro gagai, didžiajai alkai, keliaujančiajam karveliui, Karolinos papūgai, sidabriniam upėtakiui, Vakarų Indijos ruoniui) sunaikinti pakako vos kelių dešimtmečių. Pasaulinės gamtos apsaugos organizacijos 1996 metų duomenimis, besinykstančių ir išnykusių gyvūnų rūšių skaičius nuolat didėja (10.4 lentelė).

Antropogenizacijos įtaka palietė ne tik biologines rūšis, bet ir sudėtingiausius biosferos organizacinius vienetus – ekosistemas. XXI a. pradžioje JAV 99% prerijų ekosistemų yra jau vienaip ar kitaip transformuotos, 48 valstijose net 95% pirmųjų miškų sunaikinti, 90% senųjų lapuočių (ąžuolų) miškų šiaurės vakarų pakrantėje iškirsti, 90–98% laukinių ir vaizdingų upių ir jų slėnių ekosistemų sunaikinta, 70–90% krūmynų ekosistemų kalnų priekalnėse transformuotos, 50% šlapžemių nusiausinta ar suarta.

Nuo XVII a. vedama išnykusių gyvūnų ir žiedinių augalų apskaita padeda susidaryti tik bendrą vaizdą apie naikinimo mastus ir kai kuriuos regionus.

Kiti autoriai pateikia atskirų žemynų ir

10.4 lentelė. Esančių ant išnykimo ribos ir jau išnykusių įvairių klasių Pasaulio gyvūnų rūšių raudonieji sąrašai

Sisteminis vienetas	Esančių pavojuje rūšių skaičius	Išnykstančių rūšių skaičius	Svyruojantis nykstančių rūšių skaičius	Iškilusi grėsmė rūšių skaičiui	Jau išnykusių rūšių skaičius
Žinduoliai	169	315	612	1096	89
Paukščiai	168	235	704	1107	108
Ropliai	41	59	153	253	21
Varliagyviai	18	31	75	124	5
Vabzdžiai	44	116	377	537	73
Kitos gyvūnų grupės	471	423	1194	2088	343

10.5 lentelė. Nuo 1600 iki 1983 metų žemynų, salų ir vandenynų ekosistemose išnykusių rūšių lyginamoji apskaita

	Išnykusių žemynuose	Išnykusių salose	Išnykusių vandenyne	Išnykusių iš viso	Bendras rūšių ir porūšių skaičius taksone	Išnykusiųjų rūšių dalis (%)
Žinduoliai	30	51	2	83	4000	2,1
Paukščiai	21	92	0	113	9000	1,3
Ropliai	1	20	0	21	6300	0,3
Varliagyviai	2	0	0	2	4200	0,0
Žuvis	22	1	0	23	19 100	0,1
Bestuburiai	49	48	1	98	1 000 000+	0,0
Žiediniai augalai	245	139	0	384	250 000	0,2
Iš viso	370	351	3	724		

10.6 lentelė. Sausumos žinduolių ir paukščių rūšys, išnykusios jau istoriniu laikotarpiu atskiruose biogeografiniuose regionuose

Biogeografiniai vienetai	Rūšių arealai	Išnykusių žinduolių rūšių skaičius	Išnykusių paukščių rūšių skaičius
Žemynai	Afrika	11	0
	Azija	11	6
	Australija	22	0
	Europa	7	0
	Š. Amerika	22	8
	P. Amerika	0	2
	Iš viso:	73	16
Salos	Arti žemynų esančiose salose ir jų grupėse	8	7
	Ramiajame vandenyne	4	109
	Indijos vandenyne	4	18
	Atlanto vandenyne	23	20
	Viduržemio jūroje	2	1
	Iš viso	41	155

salų grupių smulkesnės žinduolių ir paukščių klasių rūšių nykimo analizės rezultatus (10.5-7 lentelės).

Atsižvelgiant į tai, kad Žemės raidoje vidutiniškai rūšies gyvavimo laikas siekia net 500 000 metų (4,5 mlrd. m. gyvybės raidos laikotarpyje), mūsų propoprotėvių pradėta

prieš 10 000 metų gamtinę aplinką keičianti veikla sugebėjo per tokį trumpą laiką sunaikinti per 22 000 rūšių, o daugeliui kitų dirbtinai sutrumpino egzistavimo laikotarpį.

Biologinės įvairovės vertę (daugiau antropocentristiniu požiūriu) apibrėžia trys pagrindiniai komponentai:

10.7 lentelė. Per visą istorinį laikotarpį jau išnykusių rūšių kiekybinis pasiskirstymas tarp sistematinų vienetų

Biologinės įvairovės sistematinis taksonas	Išnykusių rūšių skaičius	Galimas taksone rūšių skaičius	Esamos netektys (%)
Bestuburiai:			
Moliuskai	254	100 000	0,4
Vėžiagyviai	126	4000	3
Vabzdžiai	873	1 200 000	0,07
Stuburiniai:			
Žuvis	452	24 000	2
Amfibijos	59	3000	2
Ropliai	167	6000	3
Paukščiai	1029	9500	11
Žinduoliai	505	4500	11
Augalai:			
Plikasėkliai	242	758	32
Vienaskilčiai	4421	52 000	9
Palmės	925	2820	33
Dviskilčiai	17 474	190 000	9
Iš viso	22 137	240 000	9

- tiesioginė ekonominė vertė, išgaunant naudą iš konkrečių augalų ir gyvūnų rūšių;
- netiesioginė nauda, kai pelną (gyvybinę erdvę ir gyvenimo sąlygų komfortą) sukuria nesunaikintos ekologinės bendrijos;
- etinė ir estetinė vertė.

Tiesioginę ekonominę vertę žmonija gauna, kai tenkina savo vartotojiškas reikmes naudodama įvairiarūšius gamtinius išteklius. Tai greit (pvz., verslinių žuvų, medžiojamųjų rūšių ir kt.) ir santykinai greit (žolinės pievos, krūmynai, miškai) atsistatantys biologiniai ištekliai. Pvz., išlikusiuose Madagaskaro miškuose auganti žiemė (*Catharanthus roseus*) tapo vincristino ir vinblastino – efektyviai gydančių vaikų leukemiją preparatų šaltiniu. Visame Pasaulyje žinomas vaistas aspirinas pirmą kartą buvo išgautas iš atogrąžose augančio gluosnio *Salix alba* lapų. Teigiama, kad egzistuoja apie kelis tūkstančius biologinių rūšių, kurios gali būti potenciali žaliava farmakologinėje pramonėje vis labiau įsigalintiems homeopatiniais preparatais. Deja, reikia pripažinti, kad kai kurios rūšys jau labai seniai naikinamos dėl

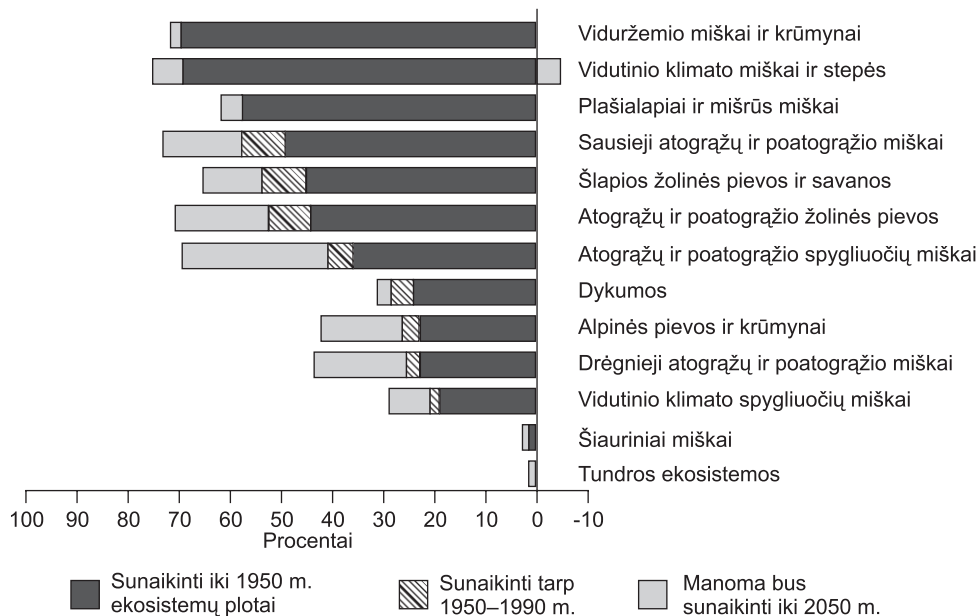
jų paklausos įvairių tautų tradicinėje medicinoje (tigrai, irbiai, raganosiai, kai kurios antilopių, ryklių, roplių rūšys bei nemažai augalų).

Kas skatina didelę biologinę buveinių, ekosistemų įvairovę? Visų pirma, rūšių įvairovė priklauso nuo optimalių sąlygų atskirose klimatinėse zonose ir jų egzistavimo laiko. Tai gerai iliustruoja biogeografinis 600 paukščių rūšių įvairovės pasiskirstymas Šiaurės ir Centrinės Amerikos sausumos ekosistemose (10.2 pav.). Mažiausiai rūšių atšiaurios, vos 20 000 metų (po paskutiniojo ledynmečio) egzistuojančios arktinės tundros biome, daugiausiai – jau keliasdešimt metų egzistuojančių atogrąžų miškų biome.

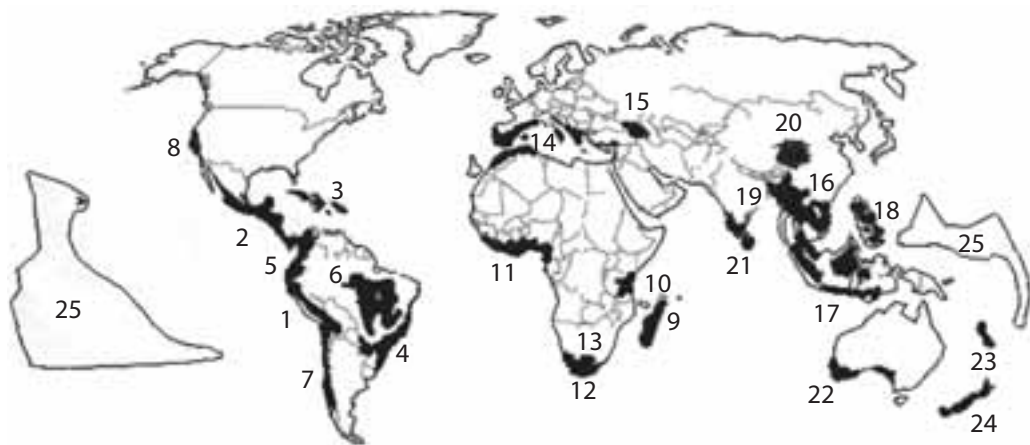
Didžia dalimi biologinės įvairovės turtingumą nulemia vystymosi aplinkos sąlygų nepertraukiamumas (evoliucijos amžius). Supančios aplinkos stabilumas, gamtinės aplinkos erdvinis heterogeniškumas sudaro sąlygas aukštam produktyvumui. Ilgalaikė geografinė izoliacija leido susiformuoti unikalioms endeminėms rūšims (10.3 pav.). Ten vyko unikali koevoliucija unikaliuose ekologinėse bendrijose. Tačiau globalizacijos amžiu-

je tose teritorijose ekologinė rizika keleriopai išaugo, ir ten egzistuojančių unikalių rūšių rinkiniams bei ekologinėms bendrijoms realaus išnykimo grėsmė keleriopai padidėjo.

Kiek geriau išnagrinėti globalaus miškų ekosistemų naikinimo ir ten užregistruotos biologinės įvairovės degradaciniai procesai. Literatūroje dažniausiai minimi atogrąžų



10.2 pav. Natūralių ekosistemų plotų ir ten esančios rūšių įvairovės naikinimo mastai (pagal Global biodiversity, 1992)



10.3 pav. Pasaulio regionai, kur endeminė rūšių įvairovė nyksta greičiausiai. 1 – Atogrąžų zonoje esanti Andų kalnyno dalis; 2 – Vidurio Amerika; 3 – Karibų jūros baseinas; 4 – Pietų Amerikos rytinės pakrantės poatogrąžų miškai; 5 – Čako miškai Vakarų Ekvadore; 6 – Serado miškai Brazilijoje; 7 – Centrinės Čilės regionas; 8 – Kalifornijos floristinė provincija; 9 – Madagaskaro ir šalia esančios salos; 10 – Rytinės Afrikos pakrantės miškai; 11 – Gvinėjos atogrąžų miškai; 12 – Kapo floristinė provincija; 13 – Karu dykumos sukulantai; 14 – Viduržemio regionas; 15 – Kaukazo regionas; 16 – Tailando regionas; 17 – Pietryčių Azijos salyno regionas ir Voleso zona; 18 – Filipinai; 19 – Indijos – Birmos regionas; 20 – Pietinės ir Centrinės Kinijos kalnų regionas; 21 – Indijos Goa provincija ir Šri Lanka; 22 – Pietvakarių Australijos regionas; 23 – Naujoji Kaledonija; 24 – Naujoji Zelandija; 25 – Polinezijos ir Mikronezijos salynų regionai



10.4 pav. Drastiški ekosistemų ir ten egzistavusios biologinės įvairovės pokyčiai kalnų kraštovaizdyje Vašingtono valstijoje (The Living..., 1999)

miškų naikinimo pavyzdžiai, tačiau tai aktualu ir kitų biomų miškų ekosistemoms (10.4 pav.).

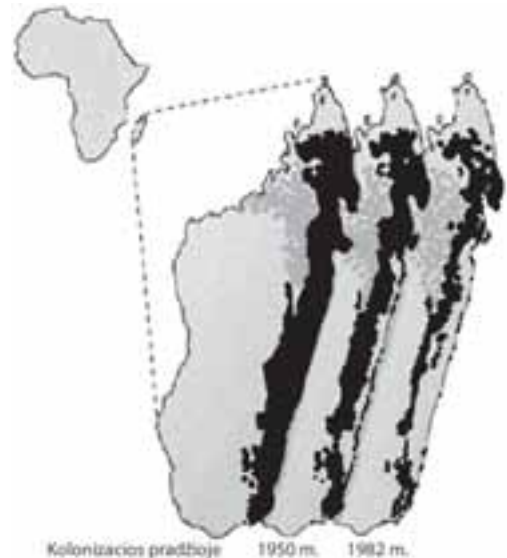
Pastovus naujų žemių įsisavinimas agroceozėms, prieš tai nualinus anksčiau kultivuotas, būdingas daugeliui Pasaulio kraštų. Deja, reikia prisiminti, kad natūralaus, savaiminio biologinės įvairovės, buveinių, ekosistemų atsistatymo procesai tose nualintose teritorijose, kaip taisyklė, nevyksta. Dykumėjimo procesai apima vis didesnes teritorijas, tuo pačiu vyksta ir pačios biologinės įvairovės atskirų sintaksonų, rūšių tiek kokybinis, tiek kiekybinis persiskirstymas. Tokioje teritorijose suteikiama galimybė vyrauti vos kelioms, dažnai adventyvinėms rūšims. Tačiau tokie ekosistemų naikinimo metodai ir mastai nepateisinami (reikalaujantys gamtosauginių problemų sprendimo) endeminių rūšių paplitimo regionuose. Tokiu pavyzdžiu gali būti Madagaskaro sala, kur intensyvios

antropogeninės veiklos rezultatai pradėjo ryškėti jau nuo geografinių atradimų laikotarpio (XVI a.) pradžios (10.5 pav.). Visu pirma, tai liečia augalinę įvairovę ir jos pasiskirstymą. Tuomet atogrąžų miškai augo ne tik Madagaskare, bet ir rytinėje Afrikos pakrantėje. Dabartiniu metu buvusio ploto jau sunaikinta per 90%. Iš Madagaskare gyvenančių pusbeždžionių rūšių (31) pusė jau baigia išnykti.

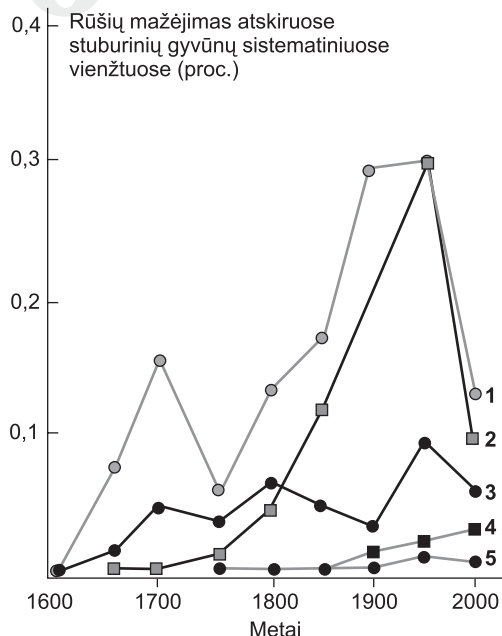
Atskirų rūšių išnykimo priežastys yra skirtingos, tačiau jas galima būtų sugrupuoti pagal pavojingumo mažėjimo tvarką:

- buveinių fizinis sunaikinimas (atsiranda reali išnykimo tikimybė 99% ten gyvenusių rūšių);
- neribojama gamtinių išteklių eksploatacija (išnykimo tikimybė ~65%)
- egzotinės (komercinės) rūšys ir padidėjusi jų paklausa (išnykimo tikimybė ~20%).

Palaipsnis buvusios rūšių gyvenamosios aplinkos naikinimas (atsirandanti buveinių fragmentacija) vienas rūšis priverčia staiga, ki-



10.5 pav. Atogrąžų miškų ekosistemų, jų buveinių ir jose gyvavusių rūšių įvairovės mažėjimo tempai Madagaskaro saloje (The Living..., 1999)



10.6 pav. Sistematinių grupių rūšių išnykimo dėsningumai (trendai) nuo 1600 iki 2000 metų. Paveiksle skaičiais pažymėtos sisteminės stuburinių grupės: 1 – žinduoliai; 2 – paukščiai; 3 – ropliai; 4 – žuvis; 5 – amfibijos (The Living..., 1999)

tas palaipsniui išnykti, ir tik nedaugelis sugeba adaptuotis (10.7 pav.). Dažnai tokiose teritorijose padidėja adventyvinų rūšių invazija.

Afrikos juodojo raganosio (*Diceros bicornis* L.) 2400 individų gyvena 75 mažose izoliuotose teritorijose, tarp kurių natūralus pasikeitimo genetinė informacija ryšys jau nutrūkęs (10.8 pav.). Tai gali tapti inbridingo ir tolesnės rūšies populiacijų būklės blogėjimo priežastimi. Panaši situacija susiklostė ir su gepardo (*Acinonyx jubatus*) populiacijomis.



10.8 pav. Juodojo raganosio buvusioje paplitimo areale (tamsus buvęs ištisinis plotas) ir dabartiniai fragmentiški populiacijų likučiai (The Living..., 1999)

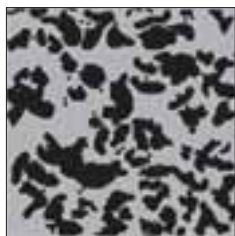
10.4. Planuojamos rūšių apsaugos strategijos lygiai

Planuojami kompleksiniai įvairių lygmenų (molekulinis–genetinis, ontogenetinis, populiacinis, ekosisteminis, atskirų biomų lygmens, globalusis) biologinių rūšių apsaugos lygiai dažnai reikalauja ne vienos ar kelių valstybių susitarimo, bet tarptautinių politinių sprendimų gamtosausgos srityje (jau pasirašytos ir rengiamos naujos tarptautinės gamtosausginės konvencijos).

Plečiamas vertingų gamtinės aplinkos požiūriu saugomų teritorijų tinklas kiekvie-



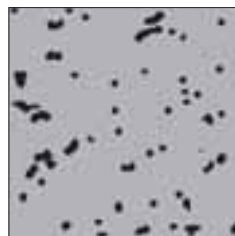
1831



1882



1902



1950 metais

10.7 pav. Buveinių fragmentacijos istoriniu laikotarpiu Viskonsino valstijos (JAV) miškuose pavyzdys (Curtis, Thomas, 1956)

10.9 lentelė. Stuburinių gyvūnų sistematinių taksonų išnykimo priežastys, arba kiekybinis neigiamo poveikio rūšių gyvybingumui veiksnų įvertinimas (Ecosystems..., 2000)

Sistematiniai taksonai	Buveinių sunaikinimas	Hipereks-ploatacija	Adventyvų poveikis	Plėšrūnai	Kitos priežastys	Nežinomos priežastys
IŠNYKĘ						
Žinduoliai	19	23	20	1	1	36
Paukščiai	20	11	22	0	2	37
Ropliai	5	32	42	0	0	21
Žuvys	35	4	30	0	4	48
IŠNYKIMO GRĖSMĖ						
Žinduoliai	68	54	6	8	12	–
Paukščiai	58	30	28	1	1	–
Ropliai	53	63	17	3	6	–
Amfibijos	77	29	14	–	3	–
Žuvys	78	12	28	–	2	–

10.10 lentelė. Saugomų teritorijų (rezervatai, draustiniai ir kt.) plotai ir nykstančių rūšių skaičiai kai kuriose Pasaulio valstybėse XX a. pabaigoje (Ecosystems..., 2000)

Valstybė	Saugomų teritorijų plotai 1994 m. (mln. ha)	Bendrojo valstybės ploto dalis (%)	Nykstančių augalų rūšių skaičius	Nykstančių gyvūnų rūšių skaičius
JAV	130	13	1845	281
Rusija	71	4	127	59
Japonija	3	7	704	79
Vokietija	9	26	16	11
Kinija	58	6	343	153
Indija	14	4	1256	137
Indonezija	19	10	281	242
Brazilija	32	4	483	167
Iš viso 8 valstybėse	336	7		
Iš viso Pasaulyje	37	35		

noje valstybėje. Pradėti įgyvendinti aplinkosauginiai projektai, kurie įgalina apjungti saugomas ir saugotinas gamtines teritorijas į vieningą milžinišką tinklą, kuris egzistuotų ne pagal administracines valstybines atskirų šalių ribas, bet pagal gamtoje egzistuojančius dėsnius (ekosistemų, atskirų populiacijų arealų ribos, rūšių migravimo ypatumai, geomorfologiniai, klimatiniai ir kt. ypatumai).

Kol kas globaliu mastu atskirose valstybėse saugomų teritorijų plotai, kaip ir nykstančių ekosistemų, atskirų buveinių plotai, atskirų rūšių skaičius, nėra tolygūs ir atitinka kylančias grėsmes (10.10 lentelė).

Pavienių (atskirų) rūšių individuali apsauga. Kai iškyla grėsmė išnykti kuriai nors rūšiai, visomis juridinėmis, ekonominėmis, gamtosauginėmis priemonėmis siekiama ją išsaugoti. Tam rengiamos plataus masto gamtosauginės akcijos, skubiai pradedamos įgyvendinti dirbtino veisimo ir apgyvendinimo buvusiose gamtinėse buveinėse priemonės, plečiama informacinė visuomenės gamtosauginė propaganda ir ekologinis švietimas. Tai gana brangiai atseinančios programos. Visame Pasaulyje žinomiausių, sėkmingai įgyvendintų išsaugotų beišnykstančių rūšių programų paminėtinos šios: amerikinės gervės (*Grus americana*), juodakojų šeško (*Mus-*

tela nigripes Audubon et Bachman), baltojo raganosio (*Ceratotherium simum* Burchell), aravijinio orikso (*Orix leucoryx* Pallas) ir kt. rūšių išsaugojimo programos.

Arealo, kuriame egzistuoja saugotinos rūšių populiacijos, apsauga. Arealo, kuriame gyvena viena, kelios ar keliasdešimt saugotinių rūšių populiacijų, ribų nustatymas ir tolesnė reikalingų toms rūšims gamtinių sąlygų apsauga kuo ilgesnį laikotarpį yra žymiai saugesnis nykstančių rūšių biologinės įvairovės išsaugojimo būdas. Norint nustatyti tokio arealo ribas ir galimą rūšių egzistavimą jame tam tikrą laiką, reikalinga žinoti ten veikiančių atskirų biotinių veiksnių funkcijas ir jų visumos galimo poveikio įvairias kombinacijas ateityje. Į šias nuostatas galima įtraukti tokius arealo požymius:

- galima esančių buveinių rūšių gausa netolimoje ateityje;
- galimybė įsikurti kitoms rūšims, kurios iš šių teritorijų toliau kolonizuos gretimai esančias;
- unikalumas – kiek apriboto paplitimo (endeminių, reliktinių), mažėjančio skaičiaus (nykstančių) rūšių yra ir gali jame gyventi;
- išnykimo grėsmės laipsnis – kiek jame gyvena vis mažėjančių, nykstančių dėl biotopų naikinimo rūšių skaičius;
- genetinė (atskirų sistematinių taksonų genofondo išsaugojimo) svarba taksonominėje rūšių išlikimo hierarchijoje;
- populiacinė vertė – vienos ar kitos nykstančios rūšies populiacijų skaičius, jų dalis tame areale.

Stengiantis išsaugoti rūšis arealo ribose pirmiausia apsaugos priemonės yra skiriamos esamos aplinkumos jame arba esamų natūralių buveinių apsaugai. Tačiau, deja, ideali aplinkumos apsauga dabartiniu metu yra neįgyvendinama, todėl kiekvienu atveju kuriamos taktinės apsaugos priemonės.

Pvz., kuriama teritorinė "ekologinio tinklo" sistema, leidžianti atskiroms rūšims plisti, migruoti ir tuo pačiu išlaikyti savo populiacijų gyvybingumą.

Itin didelės biologinės įvairovės tam tikrame areale išsaugojimas. Akivaizdu, kad reikia užtikrinti saugą kuo ilgesniam laikotarpiui tose ekosistemose, kurių atskirose buveinėse (biotopuose) yra pati didžiausia rūšių įvairovė. Tam reikalinga kuo išsamesnė informacija apie visus vertingiausius biotopus, kurių vertę apsprendžia ten egzistuojančių itin retų rūšių (dažniausiai endeminių) populiacijos. Dažnai minimų rūšių arealų topografinės ribos nesutampa su administracinėmis vienos ar kitos valstybės ribomis.

10.5. Globali paukščių klasės biologinės įvairovės šiandieninės būklės analizė

Ribotai paplitusios paukščių rūšys. Tokie apribojimai kai kurioms paukščių rūšims plačiai paplisti atsirado palyginti labai neseniai, vos prieš 1,5–2 milijonus metų – kvartero periode. Šiandien teigiama, kad iš 2623 sausumos paukščių rūšių 28% (27% visų Pasaulio rūšių) rūšių paplitimo arealai yra labai riboti. Žmonių istoriniais laikais jų maksimalūs dydžiai neviršijo 50 000 km². Tai reiškia, kad biosferoje aptinkama 7100 plačiai paplitusių paukščių ir 2623 riboto paplitimo paukščių rūšių, iš kurių jau 62 laikomos išnykusiomis (10.11 lentelė).

Toliau tyrinėjant riboto paplitimo (riboto arealo) rūšių pasiskirstymą paaiškėjo, kad tokių rūšių yra beveik po lygiai žemynuose (47%) ir įvairiose salose (53%). Iš salose paplitusių 69% rūšių tenka vandenyninėms saloms ir 31% žemyninėms saloms.

Apribotus arealus turinčių paukščių rūšių kiekybinis paskirstymas dažnai tampa

10.11 lentelė. Paukščių būrio šeimos, kuriose yra gana didelė dalis apriboto paplitimo (jų arealas dėl vienokių ar kitokių priežasčių apribotas) rūšių (Stattersfield ir kt., 1998)

Paukščių šeimos	Rūšių skaičius šeimoje	Iš jų riboto paplitimo	Jų dalis šeimoje (%)
Drepanidae (Daldiasnapiai)	30	30	100
Mesoenatidae (Madagaskaro vištelės)	3	3	100
Zosteropidae (Baltavokiai)	99	79	80
Todidae (Todžiai)	5	4	80
Paradisaeidae (Rojaus paukščiai)	44	29	66
Rhinocryptidae (Tapakulos)	32	19	59
Megapodidae (Didžiakojai)	19	11	58
Tytonidae (Liepsnotosios pelėdos)	17 (11)	9	53
Hirundinidae (Kregždės)	89	8	9
Paridae (Zylės)	53	5	9
Anatidae (Antys)	158	11	7
Ardeidae (Garniai)	66	4	6
Meropidae (Bitininkai)	26	1	4
Threskiornithidae (Ibisai)	34	1	3

keblia problema, nes kinta jų pasiskirstymo santykis. Pavyzdžiui, taip suskirstytos rūšys yra sugrupuojamos tokia tvarka: žemynuose apriboto paplitimo rūšys sudaro iki 47%, vadinamose žemyninėse salose – apie 17%, vandenyninėse salose – 36%. Šiuo atveju žemyninėmis salomis vadinamos žemyninio šelfo zonoje (nuo kranto iki 200 m gylio) esančios salos, o vandenyninėmis vadinamos niekada tiesiogiai su žemynais nesijungusios, dažniausiai vulkaninės ar kitos kilmės salos, esančios toli vandenyne.

Žvelgiant sistematiškai, tarp sausumos paukščių net 96 šeimose iš žinomų 145 aptinkamos lokalaus riboto paplitimo rūšys. Tačiau kai kuriose šeimose šis skaičius dėl susiklosčiusių evoliucinių aplinkybių yra žymiai didesnis. Pavyzdžiui, tarp *Drepanidae* šeimos atstovų adaptyvios radiacijos būdu paplitusių tik Havajų salose; tarp *Zosteropidae* šeimos atstovų, kolonizavusių mažas salas vandenyne; tarp *Paradisaeidae* šeimos atstovų, apsiribojančių tik tam tikrais kalnų miškų rajonais Naujosios Gvinėjos saloje; tarp *Rhinocryptidae* šeimos atstovų, paplitusių tik Pietų Amerikos drėgnuose atogrąžų miškuose apie 1000 m nuo jūros lygio.

Grupuojant minėtų rūšių skaičių pagal jų esamą gyvenamąją aplinką paaiškėjo, kad daugumos biotopai yra tokiose ekosistemose: miškai – 71%, krūmynai – 13%, pievos – 4%, pelkės – 3%, atželiančios krūmynai ar miškai – 3%, žemdirbystės plotai – 3%, kalnai – 1,8%, savanos – 0,9%, dykumos – 0,4% ir kt. (0,5%).

Paukščių endeminių rūšių arealų prioritetiškumo išskyrimas. Biologinis reikšmingumas. Biologinis vienos ar kitos endeminės rūšies arealo reikšmingumas globaliame tokių rūšių apsaugos kontekste įvertinamas atsižvelgiant į kelis svarbiausius kriterijus:

- esamas (išlikęs) vienos ar kitos endeminės rūšies atskirų arealų skaičius ir jų reikšmė bendrame Pasaulio endeminių paukščių arealų plotų registre (kuo daugiau jų išlikusių ir kuo mažiau jie izoliuoti tarpusavyje, tuo didesnė tikimybė rūšiai išlikti per artimiausius 100 metų, paprastai ji yra nuo 20 iki 12% – izoliacijos indeksas);
- taksonominis tos ar kitos rūšies unikalumas (apsprendžia jos kilmė, arba vieta filogenetiniame klasės raidos medyje. Pavyzdžiui, gyvenančios Naujosios Ka-

ledonijos saloje vienintelės Kagu (Rhinocheti) pobūrio šeimos Rhinochetidae atstovo Rhinochetus jubatus taksonominis unikalumas bus šimteriopai didesnis nei panašiam biotope gyvenančios gausios nendrinukių šeimos atstovės Seišelių nendrinukės (Acrocephalus sechellensis) – taksonominio unikalumo indeksas);

- užimamo arealo ploto dydis (paprastai didesnis išlikęs buvusio arealo plotas suteikia daugiau vilčių, kad tą ar kitą rūšį pavyks išsaugoti).

Biologinis vienos ar kitos paukščių rūšies reikšmingumas yra suminis dydis, lygus riboto paplitimo rūšių rango apskaitai $A +$ riboto paplitimo rūšių rango apskaitai $B +$ riboto paplitimo rūšių rango apskaitai C ir t.t..., čia kiekviena riboto paplitimo rango apskaita yra lygi izoliacijos indeksui, padaugintam iš taksonominio unikalumo indekso; arba:

$A + B + C + D + E = \text{izoliac. indeksas} \times \text{taksonom. unikal. indeksas},$

čia: izoliacijos indeksas = endeminių arealų, kuriuose ši rūšis paplitusi, skaičius; unikalumo indeksas = $\sqrt{\text{(rūšių skaičius gentyje} \times \text{genčių skaičius šeimoje)}}$ (10.12 lentelė).

Pavyzdys: riboto paplitimo endeminės rūšies izoliuotumo ir unikalumo indeksai yra lygūs 1, taigi jos biologinis reikšmingumas būtų $1/1 = 1$. Jei šie santykiai, sakykime, būtų skirtingi, pvz., $1/2$, tai tada tos rūšies biologinis reikšmingumas būtų $1/2 = 0,5$. Anksčiau minėtos monospecifinės kagu (*Rynochetus*

jubatus) rūšies, gyvenančios tik Naujojoje Kaledonijoje, biologinis unikalumas būtų $\sqrt{(1/1 \times 1/1)} = 1$, o kitos įprastosios Seišelių nendrinukės, kur gentyje yra 34 rūšys ir net 270 genčių šeimoje, šis indeksas būtų $\sqrt{(1/34 \times 1/270)} = 0,01$.

Rūšies išnykimo grėsmės lygis ir jo įvertinimas. Tai ar kitai rūšiai kiekviename iš jos užimamų endeminių arealų esamo gėsmės lygio apskaičiavimas susideda iš:

- tos rūšies užimamo arealo sumažėjimo pastaraisiais dešimtmečiais (santykio tarp benykstančio arealo ploto ir jo biologinės vertės procentinė išraiška);
- benykstančios rūšies kategorijos (nykstančios rūšys suskirstytos į tris kategorijas: kritinei kategorijai priskiriamos tos, kurių apie 50% visų populiacijų išnyko per paskutiniuosius 10 metų (čia priklauso ir tos, kurių 70% populiacijų išnyko per paskutiniuosius 100 metų); nykstančių kategorija – kurių 20% populiacijų sumažėjo per paskutiniuosius 20 metų; pažeidžiamų (nesaugių) kategorija – sumažėjo 10% per paskutiniuosius 100 metų.

Esamas grėsmės lygis teritorijoms, priklausančioms retoms nykstančioms Pasaulyje endeminių rūšių populiacijoms, apskaičiuojamas taip:

Grėsmės lygis teritorijai = [(kritinių kategorijos rūšių skaičius $\times$ iš 1) + (nykstančiųjų kategorijos rūšių skaičius $\times$ iš 0,7) + (pažeidžiamųjų kategorijos rūšių skaičius $\times$ iš 0,1)] $\times$ 100 ten gyvenančių toje teritorijoje rūšių skaičiaus (10.13 lentelė).

10.12 lentelė. Paukščių rūšių endeminių arealų prioritetų išskyrimas pagal jų biologinį reikšmingumą (Stattersfield ir kt., 1998)

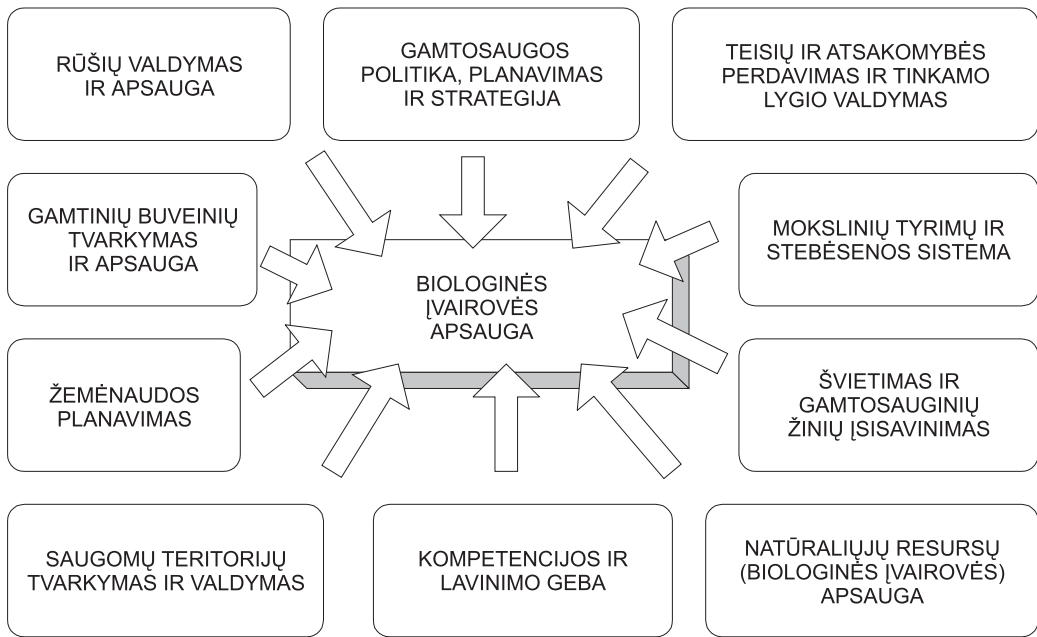
Biologinio reikšmingumo apskaita	Biologinio reikšmingumo lygmuo	Endeminių arealų šiandieninis skaičius Pasaulyje
$> 2 \times$ esamo rūšių skaičiaus	***	51
$> 1 - 2 \times$ esamo rūšių skaičiaus	**o	58
$< 1 \times$ esamo rūšių skaičiaus	*oo	109

10.13 lentelė. Paukščių rūšių endeminių arealų prioritetų išskyrimas pagal jų išnykimo grėsmės kriterijus (Stattersfield ir kt., 1998)

Esamo išnykimo grėsmės lygio apskaita (išskirtų endeminių arealų plotų sunykimas % per pastaruosius 100 metų)	Išnykimo grėsmės lygmuo	Endeminių arealų šiandieninis skaičius Pasaulyje
> 30	* * *	55
>5 iki 30	* * o	60
0–5	* o o	103

10.14 lentelė. Ryšys tarp endeminių paukščių rūšių arealų skaičius ir egzistuojančių grėsmių laipsnio (Stattersfield ir kt., 1998)

Dabartinis grėsmės lygis šiai rūšiai	Biologinio retumo rangas			
	● ● ●	● ● o	● o o	Iš viso
● ● ●	7	15	33	55
● ● o	21	16	23	60
● o o	23	27	53	103
Iš viso	51	58	109	218



10.9 pav. Biologinės įvairovės išsaugojimas – integruotas įvairių socialinio ir ekonominio bei politinio gyvenimo sričių rezultatas

Bendras prioritetų išskyrimas. Atsižvelgiant į atskirų rūšių biologinį reikšmingumą (3 balų grėsmės vertinimas), tiek į jų esamų arealų greito mažėjimo (sunykimo) grėsmę – išskiriamos atskiros saugomų teritorijų kate-

gorijos: kritinės būklės zona, neatidėliotinų veiksmų zona, didelio pavojaus zona, kuriose planuojami specifiniai skirtingų gamtosauginių priemonių darbai.

10.6. Biologinės įvairovės išsaugojimo programos

Egzistuojanti pasaulinės įvairovės išsaugojimo programa skaidoma į atskirų regionų (Europos, Centrinės, Pietryčių Azijos, Ramiojo vandenyno salų, Afrikos, Australijos ir kt.) biologinės įvairovės išsaugojimo strategijas, programas, kuriose atsižvelgiama į konkrečias to ar kito regiono ekologines problemas, atskirų sintaksonų specifines ypatybes bei esamą būklę.

Atsižvelgiant į vienos ar kitos rūšies ar sisteminės grupės biologines ypatybes (sėsli, migruojanti, ypatingo populiacijų gausumo, pasiskirstymo fluktuacijos ir kt.), kuriami konkretūs jų apsaugos vykdymo planai, steigiamos institucijos (kartais tarptautinės), sugebėsiančios įvykdyti keliamus uždavinius. Biologinės įvairovės išsaugojimas – labai integralus ir visuotinis procesas, apimančias daugelį žmogaus veiklos sričių. Galima tokių veiksmų integracija pavaizduota 10.9 paveiksle.

Literatūra

Alonso A., Dallmeier F. (2000). *Working for Biodiversity, Smithsonian Institution: Monitoring and Assessment of Biodiversity Program*. Washington.

Biodiversity and Ecosystem Function. (1993). Shulce E., Mooney H. (ed). Berlin.

Conservation of Arctic Flora and Fauna (2001). Arctic Flora and Fauna: Status and Conservation. Helsinki.

Cook R. (1969). Variation in Species Density of North American Birds. *Systematic Zoology* 18, 63-84.

Curtis J. (1959). *The Vegetation of Wisconsin*. Madison.

Curtis J., Thomas W. (1956). *Man's Role in Changing the Face of the Earth*. Chicago.

Dodds W. (2002). *Freshwater Ecology: Concepts and Environmental Applications*. Academic press.

Ecological Economics: The Science and Management of Sustainability (1991). Costanza R. (ed.). New York.

Ecosystems, People and Ecosystems: The Fraying Web of Life (2000). World Resources Institute. www.wri.org/wr2000/ecosystems.html

Extinction Rates (1995). Lawton J., May R. (ed). Oxford.

Global Biodiversity: Status of the Earth's Living Resources. (1992). WCMC. London.

Global Environmental Outlook GEO – 2000 (2000). United Nations Environment Programme www.unep.org/Geo200/

Global Forest Resources Assessment 2000 (2001). FAO Forestry Paper. Rome.

Globally Threatened Birds in Europe: Action Plans (1996). Heredia B., Rose L., Painter M., (ed). BirdLife International, Council of Europe.

Groombridge B., Jenkins M. (2000). *Global Biodiversity: Earth's Living Resources in the 21st Century*. Cambridge.

Isakov J, Kazanskaja N., Panfilov D. (1980). *Klasifikacija, geografija i antropogenaja transformacija ekosistem*. Moskva (rusiškai).

McPeck M. (1998). The Consequences of Changing the Top Predator in a Food Web: A Comparative Experimental Approach, *Ecological Monograph* 68, 1-23.

Milner-Gulland E., Mace R. (1998). *Conservation of Biological Resources*. Oxford.

Morony J. J., Bock W. J., Fabrand J. (1975). *Reference List of the Birds of the World*. New York.

Schreiber R., Diamond A., Robert L., Imboden C. (1987). *Rettet dir Vogelwelt*. International Council for Bird Preservation. Cambridge.

Stattersfield A., J., Crosby M., J., Long A., J., Wege D., C. (1998). *Endemic Bird Areas of the World, Priorities for Biodiversity Conservation*. Cambridge.

Sustainable Agriculture. (2000). World Resources Institute. <http://www.wri.org/sustag/> /index.html.

The Living World (1999). Johnson G. (ed). <http://www.mhe.com/biosci/genbio/biolink/>

World Resources 2000-2001. (2000). UNDP, UNEP, World Bank and WRI. Washington.

World Resources: A Guide to the Global Environment. (1994). World Resources Institute Oxford.

Worldwatch (2007). World Resources. Used by Permission. <http://www.wri.org/teaching...n212content/to-pic8/www.html>

11. Ekosistemų pokyčių modeliavimas

Urbanizacija ir technologinė plėtra daro vis didesnę poveikį aplinkai. Energija ir teršalai patenka į ekosistemas, skatina eutrofikaciją, pažeidžia rūšis arba net pakeičia visą ekologinę sistemą. Iškyla reikmė prognozuoti energijos ir teršalų emisijos poveikį aplinkai ir numatyti priemones, kaip išvengti neigiamų pasekmių. Ekosistemos yra labai sudėtingos sistemos, pasižyminčios daugialypiais grįžtamaisiais ryšiais, kuriuos aprėpti bei numatyti išorinių poveikių pasekmes nėra paprasta. Tam gali pasitarnauti ekologiniai modeliai.

Šio trumpo kurso tikslas ir yra supažindinti skaitytoją su ekologinių modelių struktūra, kūrimo principais bei parodyti jų vietą ekologiniuose tyrimuose ir aplinkos valdyme. Kadangi apie tai jau parašyta labai daug, čia apsiribosime tik pačiais bendriausiais principais, skirdami daugiau dėmesio vienai problemai – vandens ekosistemų eutrofikacijos modeliavimui vienos modelių klasės – dinaminių biogeocheminių modelių pagalba.

11.1. Modeliavimo teorija

Modeliavimą suprasime kaip kokios nors sistemos supaprastinto aprašymo sudarymą. *Sistema* laikysime aibę tarpusavyje sąveikaujančių, susijusių arba priklausomų elementų, sudarančių vieningą visumą, pasižyminčią savybe, besiskiriančia nuo jos elementų savybių. Sistemų pavyzdžiai: gyvūno organizmas, automobilis, ekosistema.

Modeliu vadinsime sistemos schemišką aprašymą, pasižymintį žinomomis ar numanomomis, tyrimo požiūriu svarbiomis sistemos savybėmis, kurį galima panaudoti

tolesniam sistemos tyrimui. Modelių pavyzdžiai: žemėlapis, žodinis aprašymas (verbalinis modelis), aprašymas matematinėmis lygtimis (matematinis modelis).

Matematinis modelis tai sistemos elementų, jų tarpusavio sąryšių bei procesų aprašymas kintamaisiais ir kiekybiniais (paprastai lygtimis) bei kokybiniais (loginiais) sąryšiais.

Matematiniai modeliai ekologijoje dar vadinami *ekologiniais modeliais*. Ekologiniai modeliai gali būti įvairiai klasifikuojami. Pagal biotinį ar funkcinį požiūrį į ekosistemą ekologiniai modeliai yra atitinkamai skirstomi į *biogeocheminius*, aprašančius medžiagų cirkuliaciją ekosistemoje, ir *populiacinius*, aprašančius populiacijų gausumo dinamiką. Abiejų rūšių modeliai yra naudingi ir turi savo pritaikymo sritis, bet mes apsiribosime tik biogeocheminiais modeliais, kurie labiau tinkami su tarša susijusių problemų sprendimui. Tiriant ekosistemas didesnis dėmesys gali būti skiriamas svarbių jos charakteristikų kitimui laike arba ekosistemos komponentų sąveikai fiksuotu laiko momentu, remiantis vidutinėmis tam tikro laikotarpio charakteristikomis. Priklausomai nuo to skiriami *dinaminiai* ir *statiniai* modeliai. Nors abiejų rūšių modeliai yra populiarius ekologijoje, mes apsiribosime tik dinaminių modelių aptarimu.

Modelio komponentai. Ekologijai taikomi matematiniai modeliai susideda iš penkių pagrindinių komponentų.

1. *Išorinio poveikio kintamieji (funkcijos)* (angl. *forcing functions*, arba *external variables*) – tai kintamieji, arba funkcijos (paprastai laiko funkcijos), aprašantys ekosistemos būseną veikiančius išorinius veiksnius. Dau-

gelis aplinkos problemų gali būti suformuluotos taip: kaip pasikeis ekosistemos būseną, jei keisime išorinio poveikio kintamuosius? Išorinio poveikio kintamieji, kurių reikšmės galime keisti, dar vadinami *valdymo kintamaisiais*. Pavyzdžiui, ekotoksikologiniuose modeliuose valdymo kintamieji yra toksinių medžiagų kiekiai, patenkantys į ekosistemą, eutrofikaciniuose modeliuose – biogenų (maistmedžiagų) kiekiai. Kiti išorinio poveikio kintamųjų pavyzdžiai būtų klimatiniai kintamieji, veikiantys biotinius ir abiotinius komponentus bei procesų greičius. Jų negalima laikyti valdymo kintamaisiais.

2. *Būsenos kintamieji* – tai ekosistemos būseną aprašantys kintamieji. Būsenos kintamųjų parinkimas yra kritinis modelio struktūrai, tačiau dažnai šį pasirinkimą diktuoja pati sprendžiama problema. Jei, pavyzdžiui, norime modeliuoti toksinės medžiagos bioakumuliaciją, tai būsenos kintamieji turi aprašyti organizmus, esančius svarbiausiose mitybos grandinėse, ir toksinės medžiagos koncentracijas tuose organizmuose. Eutrofikaciniuose modeliuose būsenos kintamieji bus maistmedžiagų koncentracijos fitoplanktone ir kituose ekosistemos komponentuose. Sprendžiant aplinkos problemas būsenos kintamųjų reikšmės, gautos keičiant valdymo kintamuosius, gali būti traktuojamos kaip pagrindinis modelio rezultatas, nes modelis aprašo būsenos kintamųjų priklausomybę nuo valdymo kintamųjų.

3. *Matematinės lygtys* yra naudojamos biologinių, cheminių ir fizinių ekosistemos procesų aprašymui. Jos aprašo priklausomybes tarp išorinio poveikio kintamųjų ir būsenos kintamųjų bei tarp pačių būsenos kintamųjų. Tas pats procesas gali būti rastas įvairiuose kontekstuose, kas reiškia, kad tos pačios lygtys gali būti naudojamos įvairiuose modeliuose. Tačiau tai nereiškia, kad tas pats procesas visada bus aprašytas ta pačia lygtimi. Tai gali būti dėl šių priežasčių: 1)

procesas gali būti geriau aprašytas kita lygtimi todėl, kad veikia kiti veiksniai; 2) būtinas modelio detalumo lygmuo gali būti skirtingas dėl skirtingo sistemos ar pačios problemos sudėtingumo.

Atskiros proceso aprašymas ir matematinis formulavimas dar kartais vadinamas *submodeliu*.

4. *Parametrai* yra matematinių lygčių koeficientai. Jie laikomi nepriklausomais nuo laiko ir kitų būsenos kintamųjų ir gali turėti tas pačias reikšmes visai ekosistemai arba tik jos daliai.

Priežastiniuose (mechanistiniuose) modeliuose parametrai mokslškai interpretuojami, pavyzdžiui, fitoplanktono santykinio augimo maksimalus greitis. Daugelis parametrų randami literatūroje ne konkrečios reikšmės, o reikšmių intervalo pavidalu, ir paprastai reikia papildomų pastangų tų reikšmių konkretizavimui konkrečioje studijoje. Net ir reikšmių intervalų žinojimas yra labai naudingas.

Gana išsami parametrų, naudojamų ekologijoje ir aplinkos moksluose, kolekcija pateikta S. E. Jørgensen ir kt. (1991) žinyne.

Reikia pripažinti, kad mūsų ribotos žinios apie parametrus yra viena silpniausių vietų ekologiniame modeliavime. Dar daugiau – parametrų laikymas konstantomis dažnai nėra realistiškas dėl grįžtamojo ryšio poveikių, pvz., ekosistemų lankstumas ir adaptyvumas nesuderinamas su parametrų kaip konstantų traktavimu. Naujos kartos ekologiniais modeliais bandoma spręsti šią problemą laikant parametrus kintamais pagal tam tikrus ekologinius principus. Tačiau tai kol kas tik pirmi bandymai, ir būtini tolesni tyrimai šia kryptimi.

6. *Universaliosios konstantos*, pvz., dujų konstanta, atominiai svoriai ir pan., taip pat yra naudojamos ekologiniuose modeliuose.

Modeliai gali būti apibūdinti kaip esminių sistemos savybių formali išraiška mate-

matiniais terminais sprendžiamos problemos kontekste. Tačiau pirmas problemos formulavimas dažniausiai būna žodinis, ir jį galima laikyti esminiu preliminarium modelio procedūros žingsniu. Tačiau žodinį modelį paprastai sunku vizualizuoti ir patogiau vaizduoti *konceptualiosios diagramos* pavidalu. Konceptualiojoje diagramoje vaizduojami būsenos ir išorinio poveikio kintamieji bei jų tarpusavio ryšiai, kurie paprastai atitinka tam tikrus procesus, dažniausiai vaizduojami rodyklėmis, rodančiomis poveikio (medžiagų judėjimo) kryptį.

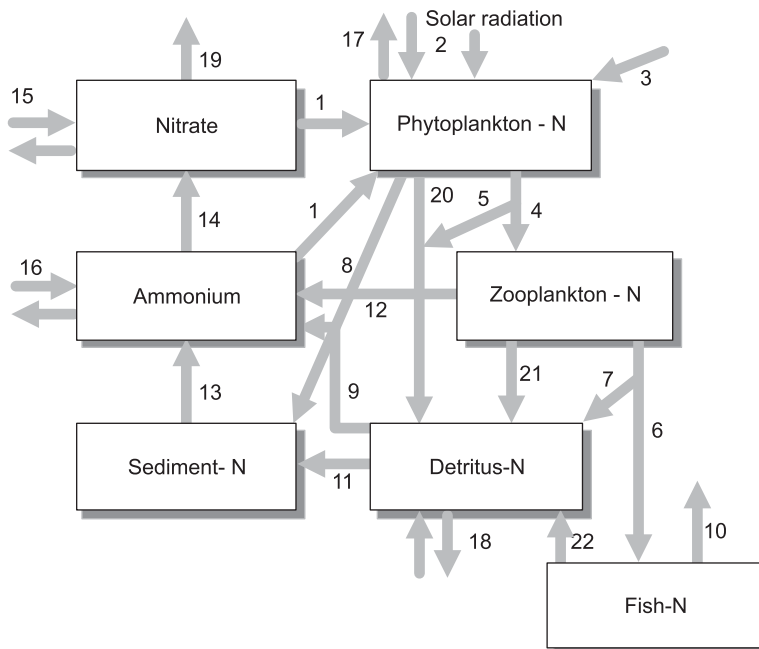
11.1 pav. pavaizduota azoto ciklo vandens ekosistemoje konceptualioji diagrama. Azoto ciklo būsenos kintamieji šiuo atveju yra azoto koncentracijos skirtinguose ekosistemos elementuose (amonyje, nitratuose, fitoplanktone, zooplanktone, žuvyse, detritu, nuosėdose ir t. t.).

Rodyklėmis diagramoje pavaizduoti šie azoto ciklo procesai: 1) amonio sunaudojimas fitoplanktono augimui; 2) fotosintezė; 3)

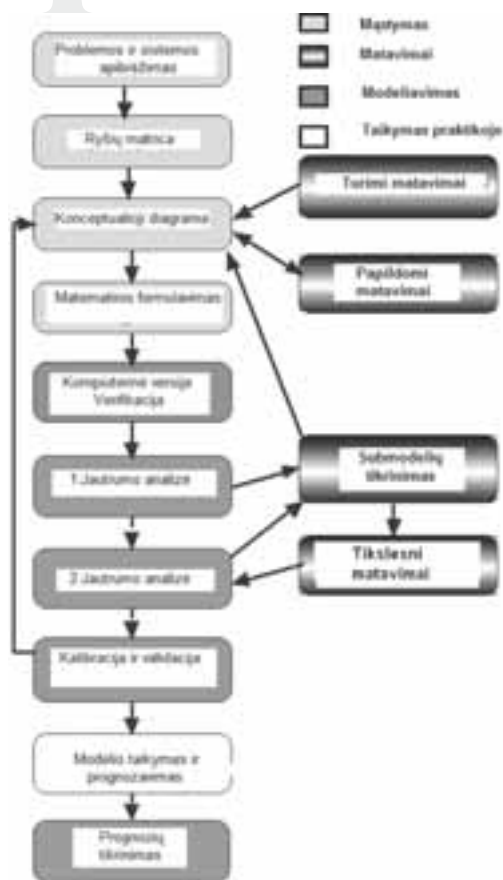
azoto fiksavimas; 4) ir 6) fitoplanktono ir zooplanktono išėdimas; 5) ir 7) nesuvirškinto maisto virsmas detritu; 8) fitoplanktono nusėdimas; 9) detrito mineralizacija; 10) žuvų išgaudymas; 11) detrito nusėdimas; 12) zooplanktono amonio ekskrecija; 13) amonio išlaisvinimas iš nuosėdų; 14) nitrifikacija; 15), 16), 17) ir 18) gaviniai ir prarados (angl. *sources/sinks*); 19) denitrifikacija; 20), 21) ir 22) fitoplanktono, zooplanktono ir žuvų mirimas.

Išorinio poveikio kintamieji azoto ciklui yra: 1) vandens įtekėjimo ir ištekėjimo greičiai; 2) azoto komponentų koncentracijos įtekančiame ir ištekančiame vandenyje; 3) Saulės spinduliuotė ir vandens temperatūra, kuri nėra pavaizduota diagramoje, tačiau veikia procesų greičius.

Modeliavimo procedūra. Kaip parodė ekologinių modelių kūrimo patirtis, kuriant modelį būtina laikytis tam tikros procedūros. Šiame skyrelyje pateikiama pavyzdinė



11.1 pav. Pavyzdinė azoto ciklo vandens ekosistemoje konceptualioji diagrama (Jørgensen, Bendoricchio, 2001)



11.2 pav. Matematinio modeliavimo procedūra (Jørgensen, Bendoricchio, 2001)

modeliavimo procedūra (11.2 pav.). Literatūroje galima rasti šiek tiek skirtingų modeliavimo procedūrų, bet detali jų analizė rodo, kad skirtumai tarp jų nėra esminiai. Kuriant modelį rekomenduojama kruopščiai atlikti visus šios procedūros žingsnius. Šios procedūros neįmanoma atlikti vienu bandymu, – dažnai tenka grįžti į ankstesnius etapus ir juos pakartoti. Toliau aptarsime 11.2 pav. pa-vaizduotos modeliavimo procedūros etapus.

Modelio konceptualizavimas. Bet kurio mokslinio tyrimo pradžia yra problemos formulavimas. Tai vienintelis būdas, kai paprastai riboti moksliniai ištekliai gali būti paskirstyti korektiškai, o ne iššvaistyti nereikš-

mingai veiklai. Taigi ir modeliavimo pirmas žingsnis yra *problemos formulavimas*, kai apibrėžiama modelio paskirtis (tikslas), erdvės ir laiko skalės bei būtinos įtraukti į modelį posistemės ir procesai. Šis etapas dar kartais vadinamas *modelio konceptualizavimu*.

Erdvės ir laiko skalės parinkimas paprastai yra palyginti lengvesnis uždavinys negu būtinų įtraukti į modelį posistemių nustatymas. Šiame etape būtinas sisteminis mąstymas, siekiant pagauti bendrą vaizdą. Sistemos elgesys turi būti interpretuojamas kaip dinaminių procesų, aprašomų priežastiniais ryšiais, rezultatas. Dėl duomenų stokos dažnai vėlesniuose modelio etapuose tenka apsiriboti mažesniu posistemių skaičiumi negu pasirinktu pradinio laiko momentu arba gauti papildomų duomenų modelio pagerinimui.

Kai kas laikosi nuomonės, kad detalesnis modelis turėtų tiksliau aprašyti realios sistemos reakcijas, bet taip yra ne visada, ypač kai kalba eina apie biologinius procesus. Sudėtingesnis modelis turi daugiau parametrų ir gali padidinti neapibrėžtumo laipsnį, jei parametrus reikia nustatyti laboratorinių ar lauko eksperimentų pagalba arba lyginant modelio prognozes su lauko matavimais, turinčiais ribotą tikslumą.

Šiame etape naudinga išrašyti visus būsenos kintamuosius ir apžvelgti visus svarbiausius procesus, sudarant *gretutinių ryšių matricą* (angl. *adjacency matrix*). Būsenos kintamieji išrašomi vertikaliai ir horizontaliai. Du kintamuosius su numeriais i ir j atitinkančiame langelyje rašomas 1, jei tarp j -tojo ir i -tojo kintamojo yra tiesioginis ryšys, arba rašomas 0, jei toks ryšys vargiai įmanomas arba nesvarbus sprendžiamos problemos požiūriu.

11.1 lentelėje pateikta gretutinių ryšių diagrama 11.1 pav. konceptualiajai diagramai. Praktikoje rekomenduojama užrašyti gretutinių ryšių matricą prieš sudarant konceptu-

11.1 lentelė. Gretutinių ryšių matrica konceptualiajai diagramai, pavaizduotai 11.1 pav.

Nuo Link	Nitrate-N	Ammonium	Phyt-N	Zoo plankton-N	Fish- N	Detritus-N	Sediment-N
Nitrate-N	-	1	0	0	0	0	0
Ammonium	0	-	0	0	0	1	1
Phyt-N	1	1	-	0	0	0	0
Zooplankton-N	0	0	1	-	0	0	0
Fish-N	0	0	0	1	-	0	0
Detritus-N	0	0	1	1	1	-	0
Sediment-N	0	0	1	0	0	1	-

aliąją diagramą. Gretutinių ryšių matrica gali būti teisinga ne visiems vandens telkiniams. Jei, pvz., telkinys yra sekus, tai nuosėdų resuspensija bus žymi ir ryšys tarp nuosėdų azoto ir detrito azoto bus svarbus, tačiau giliose ežeruose šis ryšys bus nereikšmingas.

Sudarius gretutinių ryšių matricą ir konceptualiąją diagramą, pirmu bandymu turėtų būti suformuluoti reikalavimai duomenims. Vėlesnėse modelio kūrimo stadijose šie reikalavimai gali keistis. Iš principo matavimai turėtų egzistuoti visiems būsenos kintamiesiems. Idealiu atveju turėtų būti nustatoma, kokie duomenys bus reikalingi sutinkamai su konceptualiąja diagrama. Tačiau realiaame gyvenime dauguma modelių yra sukuriama naudojant jau egzistuojančius duomenis ir ieškant kompromiso tarp turimų duomenų ir modelio paskirties.

Matematinis formulavimas. Įvairūs tvermės dėsniai (energijos, masės, momento), termodinamikos principai, pradinės, kraštinės sąlygos yra naudojamos modelio matematiniam formulavimui. Daugelis procesų gali būti aprašyti ne viena, o keliomis lygtimis, todėl svarbu, kad nagrinėjamam atvejui būtų parinkta teisinga lygtis. Atlikus matematinį formulavimą paprastai kuriama kompiuterinė modelio versija (kompiuterinė programa), kuri skaitiniais metodais sprendžia modelio lygtis. Analizinis lygčių sprendimas taip pat kartais įmanomas, bet daugiausiai tik gana paprastiems modeliams.

Patikra. Modelio patikra (angl. *verification*) – tai jo vidinės logikos testavimas ir subjektyvus modelio elgesio įvertinimas. Šiame žingsnyje rekomenduojama pabandyti atsakyti bent į šiuos klausimus:

1. Ar modelio prognozė yra stabili ilgesnėje laiko skalėje? Atliekami skaičiavimai ilgiems laikotarpiams su tomis pačiomis metinėmis išorinio poveikio kintamųjų variacijomis, siekiant nustatyti, ar būsenos kintamųjų reikšmės išsilaiko panašiamo lygyje. Pradiniu laikotarpiu būsenos kintamųjų reikšmės yra priklausomos nuo pradinių reikšmių, todėl pravartu, kad būtų atliekami ilgalaikiai skaičiavimai su pradinėmis reikšmėmis, būdingomis būsenos kintamiesiems ilgalaikiuose skaičiavimuose. Ši procedūra taip pat rekomenduojama pradinių reikšmių radimui, jei jos neišmatuotos ir negali būti surastos kitomis priemonėmis. Čia remiamasi prielaida, kad realios sistemos yra stabilios per ilgą laikotarpį, bet iš tiesų taip būna ne visada.

2. Ar modelis reaguoja, kaip buvo tikėtasi? Jei, pvz., toksinių medžiagų patekimas į ekosistemą yra padidinamas, tai turėtų tikėtis didesnių koncentracijų aukščiausio mišinio lygmens vartotojuose. Jei taip nėra, vadinasi, modelio formulavimas galbūt klaidingas, ir jį reikia koreguoti. Šiuo atveju remiamasi prielaida, kad mes jau žinome bent kai kurias sistemos reakcijas, nors iš tiesų gal taip nėra.

Šioje fazėje apskritai patartina žaisti su

modeliu. Taip modeliuotojas susipažįsta su modeliu ir jo reakcija į įvairias perturbacijas.

3. Rekomenduojama patikrinti visus modelyje naudojamus kintamųjų matavimo vienetus. Ar matavimo vienetai kairėje ir dešinėje lygties pusėje yra tie patys?

Jautrumo analizė. Po modelio patikros seka *jautrumo analizė*, kai modeliuotojas nustato jautriausius modelio komponentus. Čia stengiamasi įvertinti parametrų ar išorinio poveikio kintamųjų, arba submodelių pokyčių įtaką svarbiausiems būsenos kintamiesiems.

Būsenos kintamojo y jautrumas S parametrai p gali būti apibrėžtas kaip santykinų pokyčių santykis:

$$S = (\Delta y / y) / (\Delta p / p)$$

čia Δ yra atitinkamo kintamojo kintamumo charakteristika (paprčiausiu atveju – dviejų reikšmių skirtumas). Parametro santykinio pokyčio dydis yra parenkamas, remiantis žiniomis apie parametro neapibrėžtumą.

Jautrumo analizė taip pat leidžia modeliuotojui išskirti vadinamuosius „aukštų svertų“ (angl. *high-leverage*) būsenos kintamuosius, kurių reikšmės turi didelę įtaką sistemos elgesiui, ir „žemų svertų“ (angl. *low-leverage*) kintamuosius, kurių reikšmės turi minimalią įtaką sistemai. Paprastai modeliuotojas turi koncentruoti pastangas ties parametrais, submodeliais ir išorinio poveikio kintamaisiais, susijusiais su „aukštų svertų“ kintamaisiais.

Taip pat čia gali būti tiriamas jautrumas submodeliams (procesų lygtims). Tada yra fiksuojamas būsenos kintamojo pokytis, kai iš modelio pašalinama arba pridedama lygtis arba pakeičiama jos analizinė išraiška detalesne arba mažiau detalio. Tokios jautrumo analizės rezultatai gali būti panaudoti modelio struktūros koregavimui. Jei, pavyzdžiui,

pasirodo, kad lygties išraiškos pakeitimas detalesne turi didelę įtaką modelio rezultatams, tai ši išraiška ir turi būti toliau naudojama modelyje. Taigi modelio detalumo ir jo struktūros parinkimas turi būti atliekamas kartu su jautrumo analize.

Parametrų kalibravimas. Kalibravimas yra bandymas surasti geriausią atitikimą tarp modeliu apskaičiuotų ir išmatuotų būsenos kintamųjų reikšmių, kaitaliojant kai kurių parametrų reikšmes. Tai gali būti atlikta klaidų ir bandymų būdu (rankinis kalibravimas) arba naudojant kompiuterines programas, padedančias surasti parametrų reikšmes, minimizuojančias skirtumus tarp prognozuotų ir išmatuotų būsenos kintamųjų reikšmių (automatinis kalibravimas).

Priežastinių ekologinių modelių kai kurių parametrų reikšmės gali būti rastos literatūroje, tačiau nebūtinai konkrečios reikšmės pavidalu, bet, greičiau, reikšmių intervalo pavidalu. Tačiau net ir tokios apytikslės reikšmės yra naudingos kalibravimui. Yra žymiai lengviau ieškoti optimalios reikšmės tarp 1 ir 10 negu tarp 0 ir begalybės.

Net jei ir visų parametrų apytikslės reikšmės yra žinomos, vis tiek kalibravimas yra būtinas. Kalibravimo būtinumas gali būti paaiškintas šiomis ekologinių modelių bei jų parametrų savybėmis:

1. Daugumos ekologinių modelių parametrų reikšmės nėra tiksliai žinomos.

2. Visi ekologiniai modeliai yra sistemos supaprastinimas. Į modelį įtraukiami tik svarbiausi sprendžiamai problemai sistemos komponentai ir procesai. Tam tikra apimtimi į antraeilį komponentų ir procesų poveikį galima atsižvelgti ne įtraukiant juos į modelį, o patikslinant parametrų reikšmes jas kalibruojant. Taip gautos parametrų reikšmės šiek tiek skirsis nuo realių, t.y. nuo reikšmių, kurios būtų gautos įtraukiant antraeilūs komponentus ir procesus į modelį.

3. Dauguma ekologinių modelių yra agreguoti modeliai, kas reiškia, kad vienas parametras dažnai reprezentuoja keletą rūšių (pvz., biologinių) parametrų vidutinę reikšmę. Kadangi kiekvienai rūšiai yra būdinga sava parametro reikšmė, tai rūšių sudėties variacijos paveiks ir vidutinio parametro naudojamo modelyje variacijas.

Kalibravimas negali būti atliktas aklaip perrenkant visas galimas parametrų reikšmių kombinacijas. Jei, pvz., reikia kalibruoti dešimt parametrų ir kiekvienam iš jų reikia perrinkti dešimt reikšmių, tai modelis turėtų būti leidžiamas 10^{10} kartų, kas, be abejo, yra nerealu, nes net jei vienas skaičiavimas truktų tik 1 sekundę, visiems skaičiavimams atlikti reikėtų apie 300 metų. Todėl modeliuotojas turi išmokti prognozuoti modelio elgesį, keisdamas vieno ar dviejų parametrų reikšmes ir stebėdamas kaip keičiasi svarbiausių modelio būsenos kintamųjų reikšmės.

Kai kada, bet gana retai, yra įmanoma modelį suskaidyti į submodelius, kurie gali būti kalibruojami atskirai. Tai gali gerokai palengvinti parametrų kalibravimą.

Be rankinio kalibravimo yra galimos ir automatinio kalibravimo procedūros, nors jų naudojimui būtinos tam tikros žinios iš optimizavimo metodų. Automatinio kalibravimo galimybės labai priklauso nuo modelio skaičiavimo laiko. Jei šis laikas yra pakankamai didelis, automatinis kalibravimas neturi prasmės, nebent yra galimybė naudoti galimą superkompiuterį. Automatinio kalibravimo metodas neatmeta rankinio kalibravimo naudojimo būtinumo, nes automatinio kalibravimo laikas, o kartais ir sėkmė priklauso nuo pradinių parametro reikšmių parinkimo, kuris susiaurina galimų parametrų reikšmių intervalus ir gali būti atliktas naudojant rankinį kalibravimą. Rekomenduojamas vienu metu kalibruojamų parametrų skaičius automatinio kalibravimo atveju yra 6–9.

Rankinio kalibravimo atveju modeliuo-

tojas kiekviename kalibravimo etape turi suformuluoti sau kokį nors (dažnai nekiekybinį) kalibravimo kokybės kriterijų (lokalų tikslą). Pvz., modeliuotojas nori pakankamai tiksliai prognozuoti minimalias upės deguonies koncentracijas ir laiko momentus, kada šie minimumai pasiekiami. Kai šis tikslas įgyvendintas, modeliuotojas gali norėti teisingai aprašyti deguonies koncentracijos priklausomybės nuo laiko kreivės formą ir t.t. Taip žingsnis po žingsnio pasiekiamas galutinis kalibravimo tikslas.

Automatinio kalibravimo atveju formuojamas kiekybinis kalibravimo kriterijus. Vienas iš galimų kriterijų gali būti dydis, skaičiuojamas panašiai kaip standartinis nuokrypis:

$$F = \left(\frac{1}{n} \sum \frac{(y_c - y_m)^2}{(y_{m,a})^2} \right)^{\frac{1}{2}}$$

čia y_c yra modeliu apskaičiuota būsenos kintamojo reikšmė; y_m yra ją atitinkanti išmatuota būsenos kintamojo reikšmė; $y_{m,a}$ yra vidutinė išmatuota būsenos kintamojo reikšmė; n yra matuotų reikšmių skaičius per visus būsenos kintamuosius. Šiuo atveju kalibravimo tikslas – surasti tokį parametrų reikšmių rinkinį, kuris suteiktų dydžiui F minimalią reikšmę. Kadangi dydis F priklauso nuo parametrų reikšmių, tai jį galima laikyti daugelio kintamųjų funkcija, ir kalibravimo uždavinys yra šios funkcijos minimumo paieška.

Kartais modeliuotojui svarbiau, kad geriau būtų prognozuojami tik tam tikri kintamieji, o kitų kintamųjų prognozavimo tikslumas nelabai svarbus. Tada kiekvienam būsenos kintamajam priskiriami svoriai, o F skaičiavimo formulėje kiekvienas sumos narys dauginamas iš atitinkamo svorio.

Jei modelio neįmanoma tinkamai sukalibruoti, tai dar nebūtinai reiškia, kad modelis yra neteisingas. Priežastis gali būti ir nepakankama duomenų kokybė. Duomenų ko-

kybė yra lemiantis dalykas modelio kalibravimui. Labai svarbu, kad stebėjimai teisingai atspindėtų sistemos dinamiką.

Apibendrinant samprotavimus galima suformuluoti tokias rekomendacijas modelio kalibravimui:

1. Pirmiausia reikia stengtis surasti kuo daugiau parametrų reikšmių iš literatūros. Net ir platūs šių reikšmių intervalai yra labai naudingi, nes visiems parametrams būtina priskirti bent grubias pradines reikšmes.

2. Jei kurių nors parametrų reikšmių neaptinkama literatūroje (dažnas atvejis), turėtų būti naudojami kiti įvertinimo metodai. Kai kurių ypač svarbių parametrų reikšmės kartais geriau nustatomos atliekant lauko arba laboratorinius eksperimentus.

3. Prieš kalibravimą būtina atlikti jautrumo analizę ir nustatyti, kurie parametrai svarbiausi, ir jų reikšmės turi būti nustatytos tiksliausiai.

4. Turi būti svarstoma galimybė organizuoti intensyvią svarbiausių būsenos kintamųjų duomenų rinkimo programą, kad svarbiausi parametrai būtų kuo tiksliau įvertinti.

5. Būtina atrinkti svarbiausius parametrus ir tik juos kalibruoti, apsiribojant ne didesniu kaip 10 parametrų skaičiumi. Iš pradžių atliekamas rankinis kalibravimas, susipažįstama su modelio reakcijomis į parametrų pokyčius. Po to atliekamas automatinis kalibravimas patikslinant parametrų įvertinimą.

6. Gauti rezultatai naudojami atliekant *kartotinę jautrumo analizę*, kurios rezultatai gali skirtis nuo pradinės.

7. Pakartotinės jautrumo analizės metu nustatytiems svarbiausiems parametrams atliekamas *pakartotinis kalibravimas*. Čia taip pat naudojami abu kalibravimo metodai.

Tik po pakartotinio kalibravimo modelis gali būti laikomas sukalibruotu ir galima pereiti prie kito žingsnio – modelio *validavimo*.

Modelio validavimas. Validavimas, kaip ir patikra, yra tam tikras modelio teisingumo patikrinimas. Tačiau patikros atveju tikrinama, ar modelio struktūra pakankamai gerai atspindi realios sistemos priežastinius ryšius, tuo tarpu validuojant tikrinama, ar modelio prognozės pakankamai gerai kiekybiškai atitinka realios sistemos matavimo duomenis.

Objektyvių validavimo kriterijų parinkimas gali priklausyti nuo modelio tikslo, tačiau standartiniai nuokrypiai tarp modelių apskaičiuotų ir išmatuotų būsenos kintamųjų reikšmių čia naudojami gana dažnai. Taip pat dažnai atliekamas palyginimas tarp svarbiausių kintamųjų prognozuotų ir išmatuotų maksimumų ar minimumų.

Reikia pabrėžti, kad validavimas tik patvirtina modelio elgesį sąlygomis, kurias reprezentuoja turimi duomenys, tačiau ne jo teisingumą apskritai.

Pageidautina, kad validavimui būtų naudojami duomenys, gauti kitam laikotarpiui ir kitokioms sąlygoms negu kalibravimui naudoti duomenys. Pvz., jei testuojamas eutrofikacinis modelis, tai pageidautina, kad kalibravimo ir validavimo duomenys skirtųsi eutrofikacijos lygiu.

Apibendrinant galima padaryti tokias išvadas:

1. Validavimas visada yra reikalingas, norint nustatyti modelio patikimumą.

2. Validavimui turi būti naudojami kiti nei kalibravimui duomenys.

3. Validavimo kriterijai suformuluojami atsižvelgiant į modelio tikslą ir turimų duomenų kokybę.

Tačiau, jei modelio tikslas – ištirti, kaip sistema reaguoja į vyraujančius išorinius poveikius, validuoti nebūtina. Šiuo atveju užtenka verifikavimo (struktūrinio validavimo).

11.2. Ekologinis modeliavimas valdyje ir moksliniuose tyrimuose

Ekologiniai modeliai ir tikrovė. Žmonija problemoms spręsti visada naudojo modelius, kurie yra ne kas kita kaip supaprastintas tikrovės paveikslas. Modelis niekada negali turėti visų sistemos savybių, priešingu atveju jis taptų pačia realia sistema. Tačiau svarbu, kad modeliai pasižymi sistemos savybėmis, kurios yra esminės sprendžiamos arba aprašomos problemos kontekste.

Modelių naudojimo filosofija gali būti iliustruota tokiu pavyzdžiu. Nuo seno naudojami fiziniai modeliai nustatyti tokio pavidalo laivo korpusą, kuris patirtų mažiausią pasipriešinimą judėdamas vandenyje. Toks modelis turi realaus laivo formą ir santykinius išmatavimus, tačiau jis neturi mašinų, kabinų ir kitos realaus laivo įrangos, nes to nereikalauja modelio paskirtis. Kitiems tikslams bus naudojami kiti laivo modeliai, pvz., elektros schemos, kabinų išdėstymo brėžiniai ar laivo vamzdžių schemos.

Atitinkamai ekologinis modelis turi turėti tik tas savybes, kurios yra būtinos valdymo ar mokslinės problemos sprendimui. Ekosistema yra gerokai sudėtingesnė negu laivas, o tai reiškia, kad bus sunkiau nustatyti ekologinei problemai svarbias savybes. Tačiau paskutinių kelių dešimtmečių intensyvių mokslinių tyrimų rezultatas yra tai, kad šiandien galima kurti ir naudoti pakankamai gerai veikiančius ekologinius modelius.

Ekologinius modelius galima palyginti su žemėlapiais, kurie, be abejo, taip pat yra modeliai. Skirtingi žemėlapiai yra skirti skirtingiems tikslams. Žemėlapis niekada neturės visų objektų, kurie egzistuoja duotoje teritorijoje, nes tai yra nesvarbu ir tik trukdys naudotis žemėlapiu. Ekologiniai modeliai taip pat atsižvelgia tik į objektus, kurie svarbūs sprendžiamai problemai. Daugybės nereikšmingų detalių įtraukimas į ekologinį modelį

tik apsunkintų naudojimąsi juo duotu tikslu. Todėl skirtingiems tikslams yra naudojami skirtingi ekologiniai modeliai, nes modelio struktūra orientuota į konkretų tikslą.

XX a. pabaigoje ekologinis modeliavimas intensyviai vystėsi dėl trijų priežasčių:

1. Kompiuterinių technologijų vystymasis, kuris įgalino labai sudėtingų matematinų modelių skaičiavimą.

2. Teisingo taršos problemų supratimo atsiradimas. Buvo suprasta, kad visiškas taršos eliminavimas („nulinė tarša“) yra neįmanomas, o būtinas tinkamas taršos valdymas, naudojant ribotus ekonominius išteklius. Tačiau tada būtina žymiai geriau žinoti taršos poveikį ekosistemoms.

3. Gerokai išsiplėtė ekologijos ir aplinkotyros žinios. Šiuo metu žymiai daugiau žinoma apie kiekybinius sąryšius ekosistemose ir tarp ekologinių charakteristikų bei aplinkos veiksnių.

Skirtingai nuo statistinės analizės, kuri tik nustato sąryšius tarp duomenų, ekologinis modelis gali būti traktuojamas kaip visų žinių apie ekosistemą, susijusių su tam tikra problema, sintezė. Šios žinios apima:

- žinias apie tai, kurie komponentai sąveikauja su kuriais komponentais, pvz., zooplanktonas minta fitoplanktonu;
- žinias apie procesus, paprastai formuojamus matematinėmis lygtimis, kurių adekvatumas yra patikrinamas;
- žinias apie skirtingų procesų svarbą duotos problemos atžvilgiu.

Modelis gali suteikti žymiai gilesnį supratimą apie sistemą negu statistinė analizė ir pasiūlyti labiau pagrįstus valdymo sprendimus duotai problemai. Žinoma, tai nereiškia, kad statistinės analizės rezultatai nėra naudojami ekologiniuose modeliuose. Priešingai, modeliuose naudojamos visos įmanomos priemonės ir įrankiai, įskaitant duomenų statistinę analizę, fizikos, chemijos,

ekologijos žinias, gamtos dėsnius, nuovoką ir pan. Tai ir yra modeliavimo privalumas.

Ekologiniai modeliai ir aplinkos problemų valdymas. Urbanizacija ir technologinė plėtra daro vis didesnę poveikį aplinkai. Energija ir teršalai patenka į ekosistemas, skatina dumblių ir bakterijų augimą, pažeidžia rūšis arba net pakeičia visą ekologinę struktūrą. Išskyla milžiniškas uždavinys prognozuoti šios emisijos poveikį aplinkai ir numatyti priemones, kad būtų išvengta neigiamų poveikių. Tam gali pasitarnauti ekologiniai modeliai.

Turint atitinkamų ekologijos žinių, įmanoma išskirti ekosistemos komponentus, kurie yra svarbūs konkrečiai taršos problemai, ir suformuoti tinkamą bazę ekologiniam modeliui. Sukurtas modelis gali padėti parinkti naują aplinkos technologiją, geriau pritaikytą aplinkos problemų sprendimui, arba padėti parengti normatyvus (įstatymus), ribojančius arba eliminuojančius emisijas.

Ekologiniai modeliai moksliniuose tyrimuose. Matematiniai modeliai nuo seno plačiai naudojami gamtos moksluose. Niutono dėsniai yra palyginti paprasti matematiniai modeliai, aprašantys gravitacijos įtaką kūnų judėjimui, bet jie neatsižvelgia į trinties jėgą, vėjo poveikį ir t.t. Ekologiniai modeliai nelabai skiriasi nuo kituose moksluose naudojamų modelių net ir sudėtingumu, nes daugelis šiuolaikinės branduolinės fizikos naudojamų modelių yra net sudėtingesni nei ekologiniai modeliai.

Matematinų modelių taikymas ekologijoje yra beveik privalomas, jei norime suprasti tokios sudėtingos sistemos, kokia yra ekosistema, funkcionavimą. Tiesiog neįmanoma aprėpti tokio didelio kiekio ekosistemos komponentų ir jų reakcijų, nenaudojant modelio kaip sintezės priemonės. Visos sistemos reakcija gali nebūtinai būti lygi individualių reakcijų sumai. Todėl nenuostabu, kad ekologiniai

modeliai vis labiau naudojami ekologijoje norint suprasti ekosistemos savybes.

Modelių naudojimo ekologijoje patirtis aiškiai atskleidė jų kaip naudingo įrankio privalumus:

- 1) pasirodo, modeliai yra naudingas instrumentas sudėtingų sistemų tyrimui.
- 2) modeliai gali atskleisti nežinomas sistemos savybes.
- 3) modeliai išryškina mūsų žinių spragas ir todėl gali būti panaudoti mokslinių tyrimų prioritetų nustatymui.
- 4) modeliai yra naudingi testuojant mokslines hipotezes, nes jais galima prognozuoti sistemos reakcijas, kurios gali būti palyginamos su stebėjimais.

Pastebėtina, kad hipotezės testas modelio pagalba yra kitokio patikimumo negu tradiciniuose labiau redukcionistiniuose moksluose. Tradiciškai suradus priklausomybę tarp vieno ar kelių kintamųjų naudojant, pvz., statistinius metodus, norint padidinti mokslinį patikimumą, priklausomybė yra papildomai tikrinama naudojant kitus duomenis. Jei rezultatai yra patenkinami, priklausomybė naudojama prognozėms ir vėl patikrinama, ar naujame kontekste prognozės buvo teisingos. Jei priklausomybė galioja, ji priimama plačiam moksliniam naudojimui.

Kai hipotezių tikrinimui naudojame modelius, turime „dvigubą abejonę“. Mes tikimės, kad modelis problemos kontekste yra teisingas, tačiau pats modelis taip pat yra hipotezė. Taip vietoj tradiciškai dviejų atvejų (hipotezė atmesta/hipotezė priimta) turime keturis:

1. Modelis problemos kontekste yra teisingas ir hipotezė teisinga.
2. Modelis yra klaidingas, bet hipotezė teisinga.
3. Modelis yra teisingas, bet hipotezė klaidinga.
4. Modelis yra klaidingas ir hipotezė klaidinga.

Norint išvengti 2-jo ir 4-jo atvejų, hipotezių apie sistemų savybių testavimui turėtų būti naudojami tik labai gerai patikrinti ir pripažinti modeliai. Tačiau dabartinė ekosistemų modeliavimo patirtis kol kas yra ribota. Egzistuoja kai kurie gerai patikrinti modeliai, tačiau nesame visiškai tikri, kad jie teisingi problemos kontekste, todėl būtina turėti platesnį modelių spektrą. Taigi didesnė modeliavimo patirtis yra būtina tolesnio ekosistemų tyrimo vystymosi sąlyga.

11.3. Vandens kokybės modeliai

Viena iš praktinių aplinkos problemų yra vandens kokybės valdymas. Nors pirmieji vandens kokybės modeliai, atsiradę praeito amžiaus trečiame dešimtmetyje, ir vėlesnieji mažai rėmėsi žiniomis apie ekosisteminius procesus, paskutiniaisia dešimtmečiais išvystyti vandens kokybės modeliai visai pagrįstai vadinami ekologiniais modeliais. Šie modeliai taip pat yra gera iliustracija kaip ekosistemų modeliavimas siejamas su praktinių problemų sprendimu, nors šie modeliai gali būti panaudoti ir ekosistemos procesų tyrimui.

Vandens kokybės modelių tiesioginė paskirtis – prognozuoti vandens telkinio reakciją (vandens kokybės prasmę) į išorinius poveikius, kaip taisyklė susijusius su tam tikrų medžiagų (teršalų) patekimu. Šį patekimą dažniausiai sąlygoja antropogeninė veikla. Tiesinės sistemos atveju šis uždavinys gali būti schemiškai aprašytas tokia formule:

Reakcija = Poveikis / Asimiliacijos koeficientas.

Dažniausiai reakcija formuluojama medžiagų koncentracijų terminais, o išorinis poveikis yra į vandens telkinį patekusių medžiagų kiekio (angl. *load*) charakteristika. Tada priklausomybę tarp reakcijos ir poveikio galima užrašyti taip:

$$C = \frac{L}{A}$$

čia C – medžiagos koncentracija telkinio vandenyje; L – patenkančios medžiagos kiekis, A – asimiliacijos koeficientas.

Jei žinome kai kuriuos iš šių dydžių, gali būti sprendžiamos tokios valdymo problemos:

- jei žinomi L ir A , galima prognozuoti koncentraciją telkinio vandenyje;
- jei yra nustatytas koks nors standartas C_{std} ir žinomas A , tai galima nustatyti, koks patekimas yra leistinas, kad neviršytų leistinos koncentracijos;
- jei C ir A yra žinomi, galime apskaičiuoti patenkančių medžiagų kiekius, atitinkančius duotą koncentraciją C .

Kaip surasti A ? Vienas iš būdų būtų empirinis, t.y. darant prielaidą, kad A yra susijęs su koku nors išorinio poveikio kintamuoju, pvz., nustatant priklausomybę tarp vandenyje ištirpusio deguonies ir išleidžiamų teršalų kiekio. Tačiau teoriškai labiau pagrįstas ir suteikiantis daugiau galimybių optimaliems sprendiniams būdas yra naudoti priežastinius (mechanistinius) modelius, besiremiančius mechanizmais, apsprendžiančiais A . Nagrinėjame pavyzdyje šiuo atveju būtų analizuojami tokie procesai kaip biologinio deguonies sunaudojimo dinamika, reaeracija ir pan.

Vandens kokybės priežastinių modelių matematinis formulavimas visų pirma remiasi tvermės dėsniais. *Konservatyviomis* charakteristikomis yra vadinamos tokios savybės, kurios jokia kiekio dalis neatsiranda ir nedingsta vykstant procesams. Todėl galima nustatyti visus tos charakteristikos kiekio pokyčius visuose procesuose, kurie sąlygoja jos pokyčius. Konservatyvių charakteristikų pavyzdžiai būtų masė (vandens ar vandenyje ištirpusios medžiagos), momentas (vandens judėjimo), šiluma. Kaip ir kitų ekologinių modelių, vandens kokybės modelių formulavimas remiasi pradinėmis, kraštinėmis sąly-

gomis, fizikos, chemijos, ekologijos dėsniais bei empirinėmis priklausomybėmis.

11.4. Nuolat išsimaišančio reaktoriaus modelis

Pradžiai tarkime, kad vandens telkinyje turime ištirpusią nereaktyvią medžiagą, ir kad visą laiką vyksta visiškas išsimaišymas. Toks telkinys dar kartais vadinamas nuolat išsimaišančiu reaktoriumi. Jo modelis vadinamas *nulinio matavimo* (0-D), arba *taškiniu* modeliu, nes visų vandenyje esančių medžiagų koncentracijos visame telkinio vandens tūryje yra vienodos ir nereikia modeliuoti jų erdvinio pasiskirstymo. Medžiagos kiekio kitimą arba akumuliaciją (masės vienetais per laiko vienetą, sutrumpintai [$M T^{-1}$]) telkinio vandenyje galima aprašyti tokia balansine lygtimi:

$$\text{Akumuliacijos greitis} = \text{patekimo greitis} - \text{praradimo greitis},$$

čia patekimo greitis šiuo atveju yra suminis medžiagos patekimo intensyvumas, kurį sąlygoja vandens prietaka, krituliai, taškiniai išleidimai ir pan. Analogiškai interpretuojamas praradimo greitis, tik čia turimas galvoje medžiagos pašalinimas iš vandens telkinio.

Medžiagos kiekio telkinyje kitimo tendencija priklausys nuo dešinėje lygybės pusėje esančios išraiškos ženklo. Jei įplaukų daugėja greičiau nei išplaukų, tai medžiagos kiekis telkinyje didėja, ir atvirkščiai – jei išplaukų mažėja, o išplaukų daugėja per tam tikrą laiką, tai medžiagos kiekis telkinyje mažėja. Jei įplaukų ir išplaukų intensyvumas vienodas, tai medžiagos kiekis telkinyje nesikeičia. Pastaroji situacija dar vadinama *pusiausvyros būseną*, arba *nusistovėjusiu procesu*.

Vandens balansas telkinyje. Kadangi esant fiksuotai medžiagos masei medžiagos koncentracija priklauso nuo vandens kiekio, norint

modeliuoti vandenyje ištirpusias medžiagas tenka modeliuoti ir vandens balansą. Paprastumo dėlei, laikykime, kad telkinio vandens balansą sąlygoja (11.3 pav.) tik prietaka Q_{in} ir ištaka Q_{out} (matavimo vienetai yra [L^3, T], čia L yra ilgio vienetas). Kadangi dažnai patogiau operuoti vandens tūriu, tada vandens masę M išreiškiame per tūrį V ir tankį ρ :

$$M = \rho \cdot V.$$

Matavimo vienetai formulėje esantiems dydžiams yra M [M], V [L^3], ρ [$M L^{-3}$]



11.3 pav. Vandens apytaka telkinyje

Tada vandens akumuliacijos greitį fiksuotam laikotarpiui galima išreikšti taip:

$$\begin{aligned} \text{Akumuliacijos greitis} &= \frac{\text{Vandens masės pokytis}}{\text{Laiko tarpas}} = \\ &= \frac{\Delta M}{\Delta t} = \frac{\Delta(\rho V)}{\Delta t}. \end{aligned}$$

Kai laiko pokyčiai maži ($\Delta t \rightarrow 0$),

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} \approx \frac{dM}{dt} = \frac{d(\rho \cdot V)}{dt}.$$

Kadangi

$$\text{Akumuliacijos greitis} = \text{prietaka} - \text{ištaka} = \rho \cdot Q_{in} - \rho \cdot Q_{out}$$

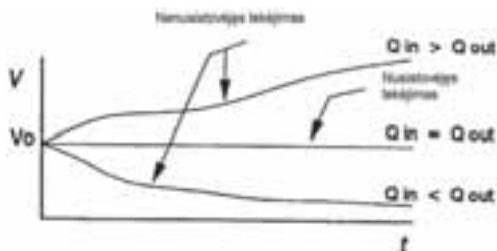
tai masės kitimo greičiui arba akumuliacijai galios

$$\frac{dM}{dt} = \frac{d(\rho \cdot V)}{dt} = (Q_{in} - Q_{out}) \cdot \rho.$$

Dažnai vandens tankį galima laikyti konstanta, tada vandens balansą galima išreikšti tik tūriu:

$$\frac{dV}{dt} = Q_{in} - Q_{out}$$

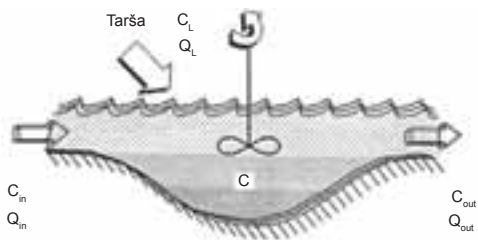
11.4 pav. pavaizduoti galimi atvejai priklausomai nuo prietakos ir ištakos tarpusavio santykio.



11.4 pav. Telkinio vandens balanso variantai

Nereaktyvios medžiagos masės balansas. Tarkime (11.5 pav.), kad nuolat išsimaishančiame vandens telkinio vandenyje turime ištirpusią medžiagą su koncentracija C [M L⁻³], kuri nereaguoja su kitomis medžiagomis, ir tegul ta medžiaga yra atnešama ir išnešama su atitekančiu ir ištekančiu vandeniu ir tiesiogiai patenka į vandens telkinį dėl antropogeninės veiklos (taršos). Medžiagos masė telkinyje gali būti išreikšta per vandens tūrį ir koncentraciją:

$$\text{Masė} = \text{Tūris} \cdot \text{Koncentracija} = V \cdot C.$$



11.5 pav. Nereaktyvios medžiagos apytaka vandens telkinyje. C_{in} , C_{out} , C_L yra atitinkamai medžiagos koncentracijos įtekančiam, ištekančiam ir tiesiogiai į vandens telkinį dėl antropogeninės veiklos patenkančiame vandenyje

Iš pradžių apsiribokime atveju, kai tūris yra pastovus, tada:

$$\text{Akumuliacija} = \frac{\Delta M}{\Delta t} = V \frac{\Delta C}{\Delta t} \rightarrow V \frac{dc}{dt}.$$

Pastebėję, kad $C_{out} = C$, ir kad

$$M_{in} = Q_{in} \cdot C_{in}, \quad M_{out} = Q_{out} \cdot C,$$

$$M_L = L \cdot C_L,$$

gauname

$$V \frac{dC}{dt} = M_{in} - M_{out} + M_L,$$

o tada:

$$V \frac{dC}{dt} = Q_{in} C_{in} - Q_{out} \cdot C + L.$$

Prielaida apie tūrio pastovumą daugeliui paprastų uždavinių yra priimtina, paprastai tam naudojamas daugiamečių vandens telkinio tūrio vidurkis. Jei ši prielaida nepriimtina, tenka nagrinėti dviejų diferencialinių lygčių sistemą, sudarytą iš vandens tūrio lygties ir koncentracijos lygties.

Pusiausvyros būsenos lygtis

$$V \frac{dC}{dt} = Q_{in} C_{in} - Q_{out} \cdot C + L = 0.$$

Išsprendus C atžvilgiu,

$$C = \frac{L + Q_{in} \cdot C_{in}}{Q_{out}}.$$

Kadangi skaitiklyje esanti išraiška nusako išorinį poveikį, pažymėjus $I = L + Q_{in} \cdot C_{in}$, gaunama išraiška, susiejanti sistemos reakciją su išoriniu poveikiu:

$$C = \frac{I}{Q_{out}}.$$

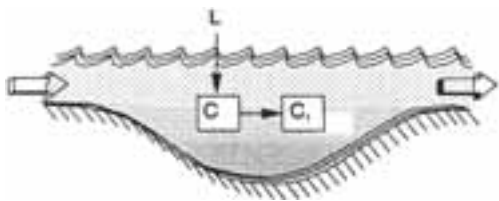
Vadinasi, išteikėjimo arba prateikėjimo (dažna situacija, kai $Q_{in} = Q_{out}$) srautas yra sistemos asimiliacijos koeficientas.

Reaktyvios medžiagos balansas. Tegul dabar (11.6 pav.) medžiaga su koncentracija C dėl kokių nors reakcijų virsta kita medžiaga su koncentracija C_1 . Bendru atveju, kai reakcijoje dalyvauja n medžiagų su koncentracijomis $C, C_1, C_2, \dots, C_{n-1}$, koncentracijos C

kitimo greitis yra aprašomas tokio pavidalo lygtimi:

$$\frac{dC}{dt} = -k \cdot C^{a_0} \cdot C_1^{a_1} \cdot C_2^{a_2} \cdot \dots \cdot C_{n-1}^{a_{n-1}},$$

čia laipsnio rodiklių suma $a = a_0 + a_1 + \dots + a_{n-1}$ yra vadinama reakcijos eile, o konstanta k – reakcijos koeficientu.



11.6 pav. Reaktyvios medžiagos apytaka vandens telkinyje

Dviejų medžiagų atveju praktikoje dažniausiai naudojami šie atvejai:

1) nulinės eilės reakcija (reakcijos greitis yra pastovus). Tada koncentracijos kitimo greičio dedamoji dėl reakcijos

$$V \frac{dC}{dt} \Big|_{\text{reakcijos}} = -k, \quad k[\text{MT}^{-1}];$$

2) pirmos eilės reakcija (reakcijos santykinis greitis yra pastovus)

$$V \frac{dC}{dt} \Big|_{\text{reakcijos}} = -kVC, \quad k[\text{T}^{-1}];$$

3) antros eilės reakcija (reakcijos greitis priklauso ir nuo antros medžiagos koncentracijos)

$$V \frac{dC}{dt} \Big|_{\text{reakcijos}} = -k \cdot V \cdot C \cdot C_1, \quad k[\text{L}^3\text{M}^{-1}\text{T}^{-1}].$$

Reakcijos eilė nustatoma laboratorinio eksperimento arba kalibravimo būdu. Reakcijos koeficientas kaip taisyklė priklauso nuo temperatūros. Dažniausiai naudojama šios priklausomybės išraiška

$$k = k_{20} \cdot \rho^{T-20}$$

čia k_{20} – koeficiento reikšmė esant bazinei (dažnai 20°C) temperatūrai; ρ – konstanta, priklausanti nuo reakcijos pobūdžio; ji didesnė už vienetą, bet nedaug nuo jo skiriasi, pvz., 1,045.

Ekologiniuose modeliuose dažnai apsiribojama pirmos eilės reakcijomis. Kartais net ir fiziniai procesai, pvz., vandenyje skendinčių dalelių nusėdimo greitis, taip pat modeliuojami kaip pirmos eilės reakcija.

Panagrinėkime situaciją, panašią kaip ir nereaktyvios medžiagos atveju, tik tarkime, kad papildomai vyksta medžiagos praradimo procesas, kurį galima aprašyti pirmos eilės reakcija. Paprastumo dėlei priimkime, kad $Q = Q_{in} = Q_{out}$. Tada

$$V \frac{dC}{dt} = Q \cdot C_{in} + L - Q \cdot C - kVC$$

Pusiausvyros sprendinys šiuo atveju

$$C = \frac{I}{Q + kV}$$

čia $I = Q \cdot C_{in} + L$ yra išorinio poveikio stiprumas, o $A = Q + kV$ – asimiliacijos koeficientas. Kaip matome, šiuo atveju asimiliacija priklauso ne tik nuo pratekėjimo greičio, bet ir nuo reakcijos koeficiento dydžio.

Esant pastoviams lygties koeficientams, galima rasti ir analizinį bendrąjį sprendinį, kurį tiriant galima nustatyti sistemos savybes. Tačiau kartais net nedidelės modifikacijos padaro tai sunkiai įmanomu dalyku, ir tenka naudoti skaitinius metodus.

Panašiais principais konstruojami sudėtingesni nuolat išsimašančio reaktoriaus modeliai, atskiromis lygtimis bei būsenos kintamaisiais aprašant vandens kokybę lemiančias medžiagas, o jų dešinėse pusėse užrašant visų atitinkamų medžiagos transformacijų greičius.

Eutrofikaciniuose modeliuose pirmaeilį vaidmenį vaidina fitoplanktonas, biogeninės medžiagos (azotas, fosforas, kartais silicis), įvairios negyvos organinės medžiagos formos bei deguonis. Šiuose modeliuose svarbūs tokie procesai kaip fitoplanktono augimas, žuvinimas, biogeninių medžiagų įvairios transformacijos (nitrifikacija, denitrifikacija), organinės medžiagos destrukcija ir pan.

Visos modelyje nagrinėjamos reakcijos dar vadinamos kinetika. Bendru atveju be kinetikos dar yra svarbus ir medžiagos transportas. Nuolat išsimašančio reaktoriaus atveju medžiagos transportas dėl pernašos yra aprašomas, kaip matome, labai paprastai, tačiau nevisiškai išsimašančioms sistemoms jis gali būti nepalyginti sudėtingesnis. Vandenyje skendinčioms medžiagoms, be pernašos dėl vandens tekėjimo, kartais yra svarbi dar viena pernašos rūšis, tai gravitacijos sąlygotas *nusėdimas* (angl. *settling*), o dugno nuosėdoms – jų *pakėlimas* (angl. *resuspension*) dėl vandens judėjimo sukkelto spaudimo į dugną. Tai procesai, vykstantys medžiagų apykaitą tarp vandens ir dugno nuosėdų. Nors šie procesai gana sudėtingi, paprastuose modeliuose jie dažnai aprašomi laikant juos pirmos eilės reakcijomis.

11.5. Nevisiškai išsimašančios sistemos

Tolydinis erdvinio heterogeniškumo atvejis. Nevisiškai išsimašančioje sistemoje medžiagos koncentracija yra ne tik laiko, bet ir erdvės koordinačių funkcija $C(t, x, y)$. Galimi atvejai, kai koncentracija heterogeniška tik vienos ar tik dviejų koordinačių ašių kryptimis. Priklausomai nuo to skiriami vienmačiai (heterogeniškumas viena kryptimi, pvz., upės), dvimačiai (heterogeniškumas dviem kryptimis, pvz., seklūs telkiniai) ir trimačiai (heterogeniškumas visomis trim kryptimis, pvz., dideli ir gilūs vandens telkiniai) modeliai.

Pagrindiniai fiziniai procesai, sąlygojantys nevienodą medžiagos koncentracijos pasiskirstymą vandenyje, yra *advekcija* ir *difuzija*.

Advekcija vadinama medžiagos pernaša dėl vandens tekėjimo, nekeičiant medžiagos koncentracijos.

Skiriamos dvi *difuzijos* rūšys: *molekulinė difuzija*, kurią sąlygoja netvarkingas mo-

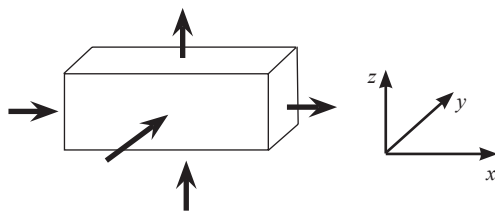
lekulių judėjimas, ir *turbulencinė difuzija*, vykstanti dėl netvarkingo sūkurinio vandens judėjimo, vadinamo *turbulencija*. Kadangi molekulinė difuzija yra labai lėtas procesas palyginti su turbulencine difuzija, tai horizontaliai pernašai ji didesnės reikšmės neturi. Šis procesas yra svarbesnis, nagrinėjant ištirpusių medžiagų apykaitą tarp dugno nuosėdų ir vandens stulpo.

Šiuo atveju, norint matematiškai aprašyti medžiagos koncentracijos kitimą, į lygtis tenka įtraukti ne tik išvestines pagal laiką, bet ir išvestines pagal erdvės koordinates. Atsižvelgiant į visus anksčiau minėtus fizinius procesus bei kinetines reakcijas, atskiros medžiagos koncentracijos išvestinę pagal laiką bet kuriame vandens stulpo taške galima išskaidyti į šias pagrindines dedamąsias:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{\text{advekcija}} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{\text{difuzija}} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{\text{kinetika}} + S_L + S_B$$

čia S_L [$M L^{-3} T^{-1}$] yra suminė tarša iš visų taškinių ir išsklaidytos taršos šaltinių; S_B [$M L^{-3} T^{-1}$] yra suma visų patekimų ir praradimų greičių pro vandens telkinio ribas, įskaitant atnešimą ir išnešimą upėmis, apykaitą su kitais vandens telkiniais, atmosfera, dugnu ir pan. Kaip jau buvo minėta anksčiau, kinetika čia apima visas medžiagai būdingas biochemines reakcijas.

Analizinė medžiagos koncentracijos balanso išraiška yra išvedama nagrinėjant mažą vandens tūrio elementą (11.7 pav.), laikant



11.7 pav. Mažo vandens tūrio elemento vandens ir ištirpusių medžiagos balansas

jį nuolat išsimaišančiu reaktoriumi ir atsižvelgiant į visus koncentraciją sąlygojančius procesus, tvermės dėsnius bei pirmąjį Fick'o dėsnį difuzijai (difuzijos greitis yra proporcingas koncentracijos gradientui).

Praleisdami šio išvedimo detales, pateiksime tik galutinį rezultatą, kuris vadinamas advekcijos–difuzijos lygtimi:

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \underbrace{-\frac{\partial U_x C}{\partial x} - \frac{\partial U_y C}{\partial y} - \frac{\partial U_z C}{\partial z}}_{\text{advekcija}} + \underbrace{+\frac{\partial}{\partial x} \left(E_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(E_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(E_z \frac{\partial C}{\partial z} \right)}_{\text{difuzija}} + \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{\text{kinetika}} + S_L + S_B$$

čia U_x, U_y, U_z – vandens tekėjimo greičiai koordinatinių ašių kryptimis ($[L T^{-1}]$); E_x, E_y, E_z – turbulencinės difuzijos koeficientai koordinatinių ašių kryptimis ($[L^2 T^{-1}]$). Kiti kintamieji turi tą pačią prasmę, kaip ir anksčiau užrašytoje lygtyje.

Nevisiškai išsimaišančios sistemos modelį sudaro aukščiau aprašyto pavidalo lygčių sistema, sudaryta iš tiek lygčių, kiek medžiagų, įskaitant visas jos formas, yra nagrinėjama modelyje. Kartu su šia lygčių sistema turi būti sprendžiamas ir hidrodinaminis modelis, kurio pagalba surandami vandens tekėjimo greičiai koordinatinių kryptimis. Dėl vietos stokos hidrodinaminių lygčių čia neaprašinsime.

Esant homogeniškumui viena ar dviem kryptimis, viena arba dvi dalinės išvestinės virsta nuliu, o koncentracijos ir vandens tekėjimo greičiai interpretuojami kaip vidutiniai, pvz., gyliui ar skerspjūviui. Todėl norint gauti vienmatį ar dvimatį advekcijos–difuzijos lygties analogą tenka ją dar integruoti pagal skerspjūvį arba gylį.

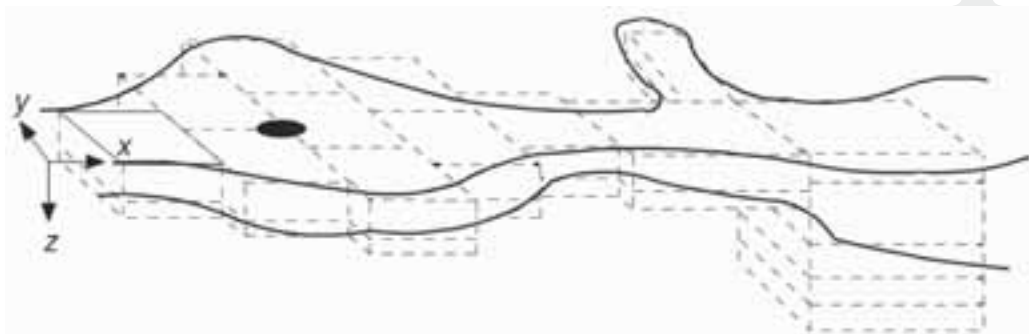
Dažniausiai, šios lygtys sprendžiamos skaitiniais metodais. Naudojami du pagrindiniai sprendimo metodai: *baigtinių skir-*

tumų ir baigtinių elementų. Abiem atvejais visas vandens tūris yra suskaidomas į mažus elementus, kurių viduje koncentracijos laikomos vienodomis. Baigtinių skirtumų atveju šių elementų projekcijos į xy plokštumą yra vienodi stačiakampiai, o baigtinių elementų atveju gali būti nevienodo dydžio figūros (dažnai trikampiai). Baigtinių skirtumų atveju išvestinės yra keičiamos baigtiniais skirtumais, o sprendinio reikšmėms gauti sudaroma tiesinių lygčių sistema. Baigtinių elementų atveju sprendinys ant kiekvieno elemento pakeičiamas paprasta funkcija su laisvais koeficientais, o koeficientų reikšmės randamos iš sudarytos tiesinės lygčių sistemos.

Erdvinių modelių sprendimas užima nepalyginti daugiau laiko negu taškinis. Kadangi hidrodinaminiai procesai yra žymiai greitesni už biocheminius, tai dažnai racionalu juos integruoti su skirtingais žingsniais arba tiesiog biocheminius procesus skaičiuoti atskira programa, naudojant hidrodinaminio modelio rezultatus.

11.6. Segmentų modeliai

Kartais natūraliai ar dirbtinai nagrinėjamos problemos kontekste vandens telkinį galima suskaidyti į aprėpiamą skaičių vienas prie kito prišlietų nuolat išsimaišančių ir besimaišančių tarpusavyje reaktorių, vadinamų segmentais, arba dėžėmis (11.8 pav.) Tada medžiagos koncentracijos kiekviename iš segmentų gali būti aprašytos taškiniais nuolat išsimaišančio reaktoriaus modeliais, kuriuose be kinetikos dar būtina atsižvelgti į medžiagos ir vandens apykaitą tarp skyrių, kuri aprašoma žymiai paprasčiau negu tolydiniu atveju. Ši vandens apykaita nustatoma matavimais arba atskirai naudojant hidrodinaminis modelius. Pagrindinis tokių modelių privalumas yra tas, kad nereikia spręsti lygčių dalinėmis išvestinėmis, todėl tokie



11.8 pav. Vandens telkinio reprezentavimas segmentų modeliuose (Ambrose ir kt., 1993)

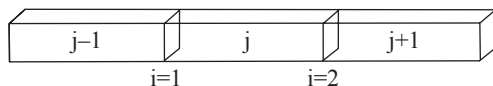
modeliai nepalyginti greičiau skaičiuoja. Trūkumu reiktų laikyti tai, kad šiuo atveju reikia žymiai daugiau matavimų negu tolydinių erdvinį modelių atveju.

Paprastumo dėlei pademonstruosime to-
kio modelio balansinių lygčių konstravimo
procesą tik vienmačiu atveju, kai segmentai
eina vienas po kito (11.9 pav.). Tolydinį vien-
matį modelį gauname iš trimačio modelio
integravdami pagal y ir z visam skerspjūvio
plotui A :

$$A \frac{\partial C}{\partial t} = -A \frac{\partial UC}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial x} \left(EA \frac{\partial C}{\partial x} \right) +$$

$$+ A \frac{\partial C}{\partial t} \Big|_{\text{kinetika}} + A(S_L + S_B).$$

Šios lygties skirtuminė forma gaunama
išplečiant be galo mažus tūrius į vienas prie
kito prišlietus segmentus. Užrašykime ba-
lansinę lygtį j -tajam skyriui, kuris ribojasi su
($j-1$)-uoju ir ($j+1$)-uoju skyriais, o jų lieti-
mosi paviršiai yra sunumeruoti atitinkamai
numeriais $i=1, i=2$ (9 pav.).



11.9 pav. Trys vienas po kito einantys segmentai

Tada medžiagos masės balanso lygtis
 j -ajam skyriui atrodys taip:

$$\frac{\Delta M}{\Delta t} = \underbrace{(-Q_1 C_1 - Q_2 C_2)}_{\text{advekcija}} +$$

$$+ \underbrace{\left(E_1 A_1 \frac{\Delta C_1}{\Delta X_1} + E_2 A_2 \frac{\Delta C_2}{\Delta X_2} \right)}_{\text{maišymasis (pirmas Fick'o dėsnis)}} +$$

$$+ V \frac{\Delta C}{\Delta t} \Big|_{\text{kinetika}} + V(S_L + S_B)$$

čia:

M – medžiagos masė j -tajame skyriuje laiko
momentu t ;

Δt – mažas laikotarpis;

$\Delta M = M(t + \Delta t) - M(t)$;

V – j -tojo skyriaus tūris;

Q_1, Q_2 – vandens srauto tekėjimo greičiai pro
segmentų lietimosi paviršius;

C_1, C_2 – priklausomai nuo tekėjimo krypties
atitinkamo skyriaus medžiagos koncentraci-
ja, pvz., jei tekėjimas iš ($j-1$)-ojo į j -tąjį, tai C_1
yra ($j-1$)-jo segmento koncentracija, priešin-
gu atveju – j -tojo segmento koncentracija;
 A_1, A_2 yra atitinkamai j -tojo segmento lieti-
mosi su ($j-1$)-uoju ir ($j+1$)-uoju segmentu
paviršiaus plotai;

E_1, E_2 [$L^2 T^{-1}$] yra j -tojo segmento maišymosi
su gretimais segmentais koeficientai (papas-
tai laiko funkcijos nustatomos matavimais);
 $\Delta X_1, \Delta X_2$ yra maišymosi ilgiai (paprastai
– atstumai tarp gretimų segmentų centrų);
 $\Delta C_1, \Delta C_2$ yra medžiagos koncentracijų skir-
tumai tarp atitinkamų gretimų segmentų.

Atkreipsime dėmesį, kad 11.9 pav. paprastumo dėlei segmentai pavaizduoti vienodų stačiakampių gretasienių pavidalu. Realioje sistemoje jie gali būti bet kokio pavidalo.

11.7. Vandens kokybės modelis WASP

Šiame skyrelyje trumpai pristatysime vieną iš labai plačiai naudojamų vandens kokybės modelių WASP. Kadangi šis modelis yra segmentinis, daugiau dėmesio skirsime kinetikai, kartu aptardami ir jos skirtumus nuo kitų paplitusių modelių. Čia remsimės daugiausia šeštąja šios programos versija WASP6 (Wool et al., 2004).

Bendroji charakteristika. Vandens kokybės analizės modeliavimo programa WASP6 (sutr. iš angl. *The Water Quality Analysis Simulation Program*) yra originalaus modelio WASP (Di Toro et al., 1983; Connolly and Winfield, 1984; Ambrose et al., 1988) modifikacija. Tai dinaminis segmentinis modelis, apimantis procesus ir vandens stulpelį, ir dugno nuosėdose. Modelis sudarytas iš dviejų dalių: toksiškų medžiagų submodelio TOXI ir eutrofikacijos submodelio EUTRO. Šie submodeliai tarpusavyje susiję tik tuo, kad naudoja tą patį pernašos modelį ir gali būti laikomi dviem savarankiškais modeliais. Šiame skyrelyje aptarsime tik modelį EUTRO.

Modelio WASP6 programa naudoja WINDOWS operacinę sistemą. Funkciniu požiūriu ši programa sudaryta iš preprocesoriaus, skirto pradinių duomenų parengimui, modelio WASP, kuris atlieka visus modelio skaičiavimus, ir postprocesoriaus, skirto modelio rezultatų analizei bei vaizdavimui.

EUTRO bendroji charakteristika. EUTRO aprašo aštuonių būsenos kintamųjų (medžiagos koncentracijų) pernašą ir transformacijos reakcijas. Šie kintamieji apibūdina keturias sąveikaujančias posistemas: 1) fito-

planktono kinetika, 2) fosforo ciklas, 3) azoto ciklas; 4) ištirpusio deguonies balansas.

EUTRO vandens stulpo būsenos kintamųjų tarpusavio sąveika pavaizduota 11.10 pav. EUTRO būsenos kintamieji yra (eilės numeracija ir kintamųjų pavadinimai kaip diagramoje):

- 1) amonis (NH_3) [mg N l^{-1}];
- 2) nitratai ir nitritai (NO_3) [mg N l^{-1}];
- 3) ortofosfatai (OPO_4) [mg P l^{-1}];
- 4) fitoplanktonas (PHYT) [mg C l^{-1}];
- 5) karbonatinis biocheminis deguonies su-naudojimas (CBOD) [$\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$];
- 6) ištirpęs deguonis (DO) [$\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$];
- 7) negyvos organinės medžiagos azotas (ON) [mg N l^{-1}];
- 8) negyvos organinės medžiagos fosforas (OP) [mg P l^{-1}].

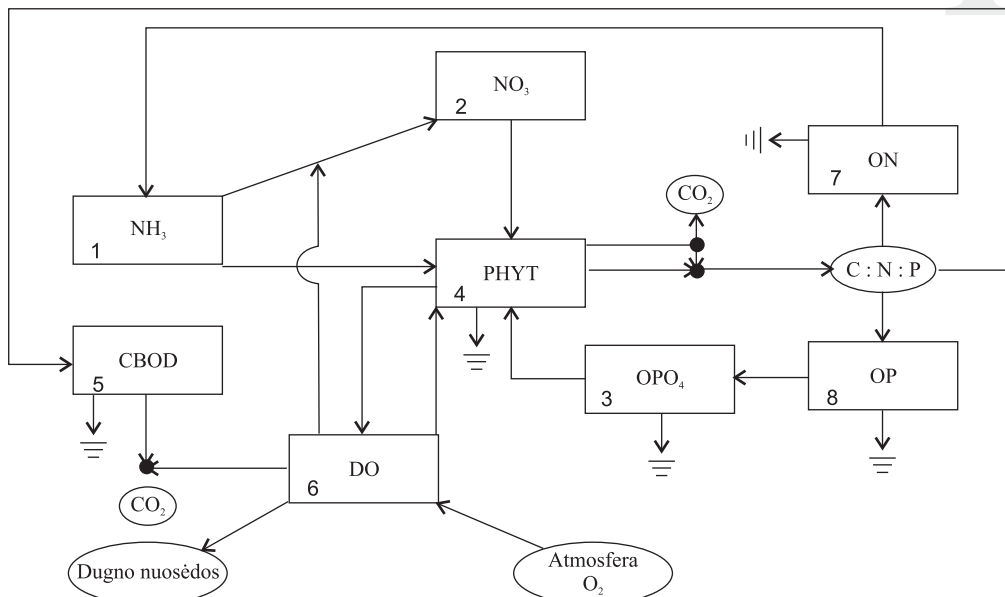
Trumpumo dėlei būsenos kintamuosius toliau žymėsime raide C su indeksu, kuris reiškia būsenos kintamojo numerį, parodytą diagramoje, pvz., C_1 – amonio azotas, C_2 – nitratų ir nitritų azotas ir t.t.

Pastebėsime, kad EUTRO turi galimybę aprašyti visų minėtų būsenos kintamųjų dinamiką ne tik vandens stulpelį, bet ir dugno nuosėdose, o taip pat ir pernašą tarp dugno nuosėdų ir vandens stulpo. Dėl vietos stokos toliau apsiribosime šių kintamųjų modeliavimo aprašymu tik vandens stulpelį.

Azoto ciklas. Azoto ciklą aprašo trys būsenos kintamieji: negyvos organinės medžiagos azotas, amonio azotas ir nitratų bei nitritų azotas.

EUTRO negyvos organinės medžiagos azotą aprašo lygtis:

$$\frac{\partial C_7}{\partial t} = \underbrace{(a_{nc} D_{p1} f_{on} C_4)}_{\text{Fitoplanktono mirimas ir kvėpavimas}} - \underbrace{-k_7 \theta_7^{(T-20)} \left(\frac{C_4}{K_{mPc} + C_4} \right) C_7}_{\text{Mineralizacija}} ;$$



11.10 pav. EUTRO kinetikos konceptualioji diagrama vandens stulpo būsenos kintamiesiems (Ambrose ir kt., 1993)

čia:

C_7 – negyvos organinės medžiagos azotas [mg N l⁻¹];

D_{p1} – santykinų fitoplanktono atmirimo ir kvėpavimo greičių suma (žr. fitoplanktono kinetiką) [para⁻¹];

a_{nc} – azoto ir anglies santykis fitoplanktone;

f_{on} – organinio azoto santykis su bendru azotu fitoplanktono mirusioje ir kvėpuojant atpalaiduotoje medžiagoje;

C_4 – fitoplanktono koncentracija [mg C l⁻¹];

k_{71} – negyvos organinės medžiagos azoto mineralizacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para⁻¹];

θ_{21} – negyvos organinės medžiagos azoto mineralizacijos temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

T – vandens temperatūra (išorinio poveikio kintamasis) [°C];

K_{mPC} – negyvos organinės medžiagos azoto mineralizacijos priklausomybės nuo fitoplanktono biomasės pusiau prisotinimo koeficientas [mg C l⁻¹].

Modelyje EUTRO yra skiriama tik viena negyvos organinės medžiagos azoto frakcija. Detalesniuose modeliuose gali būti išskirtos dvi ar net daugiau frakcijų, besiskiriančių viena nuo kitos skaidymo greičiu. Taip pat gali būti išskirta negyva organinė medžiaga dalelių pavidalu arba ištirpusi vandenyje. Negyvos organinės medžiagos azoto dinamiką sąlygoja du procesai: fitoplanktono atmirimas ir mineralizacija, kurie modeliuojami kaip pirmos eilės reakcijos. Mineralizacijoje papildomai atsižvelgiama į tai, kad jos greitį riboja fitoplanktono biomasė, nes fitoplanktono gausa sąlygoja organinę medžiagą skaidančių bakterijų gausą. Ši priklausomybė aprašoma ekologijoje plačiai naudojama Michaelis-Menteno (Monodo) priklausomybe, kurioje ribojantis daugiklis, augant ribojančiam kintamajam, artėja prie vieneto, t.y. vyksta prisotinimo procesas.

Amonio azoto dinamiką modelyje EUTRO aprašo lygtis:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_1}{\partial t} = & \underbrace{(D_{P1} a_{nc} (1 - f_{on}) C_4)}_{\text{Fitoplanktono mirimas}} + \\ & \underbrace{k_{71} \theta_{71}^{(T-20)} \left(\frac{C_4}{K_{mPc} + C_4} \right) C_7}_{\text{Mineralizacija}} - \underbrace{\frac{G_{P1} a_{nc} P_{NH3} C_4}{K_{mPc} + C_4}}_{\text{Fitoplanktono sunaudojimas}} - \\ & \underbrace{- k_{71} \theta_{71}^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_1}_{\text{Mineralizacija}} \end{aligned}$$

čia:

C_1 – amonio azoto koncentracija [mg N l^{-1}];
 D_{P1} – santykinių fitoplanktono atmirimo ir kvėpavimo greičių suma [para^{-1}];

a_{nc} – azoto ir anglies santykis fitoplanktone;
 $1 - f_{on}$ – neorganinio azoto santykis su bendru azotu fitoplanktono mirusioje ir kvėpuojant atpalaiduotoje medžiagoje;

C_4 – fitoplanktono koncentracija [mg C l^{-1}];
 k_{71} – negyvos organinės medžiagos azoto mineralizacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para^{-1}];

θ_{71} – negyvos organinės medžiagos azoto mineralizacijos temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

T – vandens temperatūra (išorinio poveikio kintamasis) [$^\circ\text{C}$];

K_{mPc} – negyvos organinės medžiagos azoto mineralizacijos priklausomybės nuo fitoplanktono biomasės pusiau prisotinimo koeficientas [mg C l^{-1}];

C_7 – negyvos organinės medžiagos azotas [mg N l^{-1}];

G_{P1} – fitoplanktono santykinis augimo greitis (detaliau aprašytas prie fitoplanktono lygties) [para^{-1}];

P_{NH3} – fitoplanktono pirmenybės teikimo amoniui koeficientas (nedetalizuotas);

k_{12} – nitrifikacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para^{-1}];

θ_{12} – nitrifikacijos temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

K_{NIT} – nitrifikacijos priklausomybės nuo ištirpusio deguonies pusiau prisotinimo koeficientas [$\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$];

C_6 – ištirpusio deguonies koncentracija [$\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$].

Amonio azoto dinamiką lemia šie procesai: fitoplanktono atmirimas, atmirusios organinės medžiagos azoto mineralizacija, fitoplanktono sunaudojimas ir nitrifikacija. Fitoplanktono sunaudojimo išraiškoje atsižvelgiama į pirmenybės teikimo prieš nitratų koeficientą, kurio analizinės išraiškos dėl vietos stokos čia nenagrinėsime. Nitrifikacijos greitį be temperatūros dar limituoja ištirpęs deguonis. Šiai priklausomybei aprašyti naudojama Michaelis–Menteno išraiška.

Nitratų ir nitrito azoto dinamiką modelyje EUTRO aprašo lygtis

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_2}{\partial t} = & \underbrace{k_{12} \theta_{12}^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_1}_{\text{Nitrifikacija}} - \\ & \underbrace{- G_{P1} a_{nc} (1 - P_{NH3}) C_4}_{\text{Fitoplanktono sunaudojimas}} - \\ & \underbrace{- k_{2D} \theta_{2D}^{(T-20)} \left(\frac{K_{NO3}}{K_{NO3} + C_6} \right) C_2}_{\text{Denitrifikacija}} \end{aligned}$$

čia:

C_2 – nitratų ir nitritų azoto koncentracija [mg N l^{-1}];

P_{NH3} – fitoplanktono pirmenybės teikimo amoniui koeficientas (nedetalizuotas);

k_{12} – nitrifikacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para^{-1}];

θ_{12} – nitrifikacijos temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

T – vandens temperatūra (išorinio poveikio kintamasis) [$^\circ\text{C}$];

K_{NIT} – nitrifikacijos priklausomybės nuo ištirpusio deguonies pusiau prisotinimo koeficientas [$\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$];

C_6 – ištirpusio deguonies koncentracija [$\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$];

C_1 – amonio azoto koncentracija [mg N l^{-1}];

G_{P1} – fitoplanktono santykinis augimo greitis

ties (detaliau aprašytas prie fitoplanktono lygties) [para^{-1}];

a_{nc} – azoto ir anglies santykis fitoplanktone;

C_4 – fitoplanktono koncentracija [mg C l^{-1}];

k_{2D} – denitrifikacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para^{-1}];

θ_{2D} – denitrifikacijos temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

K_{NO_3} – nitrifikacijos priklausomybės nuo ištirpusio deguonies pusiau prisotinimo koeficientas [$\text{mg O}_2 \text{l}^{-1}$].

Nitratų ir nitritų azoto dinamiką sąlygoja šie procesai: nitrifikacija, fitoplanktono sunaudojimas ir denitrifikacija. Denitrifikacija intensyviai vyksta tik esant pakankamai nedidelei ištirpusio deguonies koncentracijai, todėl šio proceso limitavimas dėl deguonies yra aprašomas atvirkštine Michaelis-Menteno priklausomybe, kur limituojantis daugiklis mažėja augant deguonies koncentracijai ir artėja prie vieneto, kai deguonies koncentracija artėja prie nulio.

Fosforo ciklas. EUTRO fosforo ciklą sudaro du kintamieji: negyvos organinės medžiagos fosforas ir neorganinis, arba ortofosfatų, fosforas. Kadangi neorganinį fosforą gali adsorbuoti dalelės, tenka išskirti vandenyje ištirpusį ir dalelių pavidalu esantį fosforą, įvedant į modelį šių frakcijų santykio parametą.

Negyvos organinės medžiagos fosforo dinamika aprašoma lygtimi, panašia į negyvos organinės medžiagos azoto lygtį:

$$\frac{\partial C_8}{\partial t} = \underbrace{a_{PC} D_{P1} f_{OP} C_4}_{\text{Fitoplanktono mirimas}} - \underbrace{k_{83} \theta_{83}^{(T-20)} \left(\frac{C_4}{K_{mPC} + C_4} \right) C_8}_{\text{Mineralizacija}}$$

čia:

C_8 – negyvos organinės medžiagos fosforo koncentracija [mg P l^{-1}];

D_{P1} – santykinų fitoplanktono atmirimo ir kvėpavimo greičių suma [para^{-1}];

a_{PC} – fosforo ir anglies santykis fitoplanktone;

f_{OP} – organinio fosforo santykis su bendru fosforu fitoplanktono mirusioje ir kvėpuojant atpalaiduotoje medžiagoje;

C_4 – fitoplanktono koncentracija [mg C l^{-1}];

k_{83} – negyvos organinės medžiagos fosforo mineralizacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para^{-1}];

θ_{83} – negyvos organinės medžiagos fosforo mineralizacijos temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

T – vandens temperatūra (išorinio poveikio kintamasis) [$^\circ\text{C}$];

K_{mPC} – negyvos organinės medžiagos azoto mineralizacijos priklausomybės nuo fitoplanktono biomasės pusiau prisotinimo koeficientas [mg C l^{-1}].

Neorganinio fosforo dinamiką aprašo lygtis:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_3}{\partial t} = & \underbrace{D_{P1} a_{PC} (1 - f_{OP}) C_4}_{\text{Mirtinguma s}} + \\ & + \underbrace{k_{83} \theta_{83}^{(T-20)} \left(\frac{C_4}{K_{mPC} + C_4} \right) C_8}_{\text{Mineralizacija}} - \underbrace{G_{P1} a_{PC} C_4}_{\text{Augimas}} \end{aligned}$$

čia:

C_3 – ortofosfatų fosforo koncentracija [mg P l^{-1}];

D_{P1} – santykinų fitoplanktono atmirimo ir kvėpavimo greičių suma [para^{-1}];

a_{PC} – fosforo ir anglies santykis fitoplanktone;

$1 - f_{OP}$ – neorganinio fosforo santykis su bendru fosforu fitoplanktono mirusioje ir kvėpuojant atpalaiduotoje medžiagoje;

C_4 – fitoplanktono koncentracija [mg C l^{-1}];

k_{83} – negyvos organinės medžiagos fosforo mineralizacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para^{-1}];

θ_{83} – negyvos organinės medžiagos fosforo mineralizacijos temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

T – vandens temperatūra (išorinio poveikio kintamasis) [$^\circ\text{C}$];

K_{mPC} – negyvos organinės medžiagos azoto mineralizacijos priklausomybės nuo fitoplanktono biomasės pusiau prisotinimo koeficientas [mg C l^{-1}];

C_8 – negyvos organinės medžiagos fosforo koncentracija [mg P l^{-1}];

G_{P1} – fitoplanktono santykinis augimo greitis (detaliau aprašytas prie fitoplanktono lygties) [para^{-1}].

Ištirpusio deguonies balansas. EUTRO ištirpusio deguonies balansą aprašo du kintamieji: ištirpęs deguonis ir anglies biocheminis deguonies sunaudojimas (CBDS), kuris kartu yra ir negyvos organinės medžiagos charakteristika, išreikšta deguonies vienetais. Detalesniuose modeliuose negyva organinė medžiaga gali būti apibūdinama išskiriant skirtingas negyvos organinės medžiagos anglies frakcijas, pvz., ištirpusią ir dalelių pavidalo organinę anglį.

Ištirpusio deguonies kitimo greičio balansą sąlygoja aeracija, organinės medžiagos oksidacija, nitrifikacija, fitoplanktono augimas (fotosintezė) ir fitoplanktono kvėpavimas. EUTRO ištirpusio deguonies dinamiką aprašo lygtis:

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_6}{\partial t} = & \underbrace{k_2(C_s - C_6)}_{\text{Aeracija}} - \underbrace{k_d \theta_d^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{BOD} + C_6} \right) C_5}_{\text{Organinės medžiagos oksidacija}} - \\ & - \underbrace{\frac{64}{14} k_{12} \theta_{12}^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{NIT} + C_6} \right) C_1}_{\text{Nitrifikacija}} - \underbrace{\frac{SOD}{D} \theta_s^{(T-20)}}_{\text{Sedimentų sunaudojimas}} + \\ & + \underbrace{G_{P1} \left(\frac{32}{12} + \frac{48}{14} a_{nc} (1 - P_{NH3}) \right) C_4}_{\text{Fitoplanktono augimas}} - \underbrace{\frac{32}{12} K_{1R} \theta_{1R}^{(T-20)} C_4}_{\text{Fitoplanktono kvėpavimas}} \end{aligned}$$

čia:

C_6 – ištirpusio deguonies koncentracija [$\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$];

k_2 – aeracijos santykinis greitis (priklauso nuo temperatūros, vandens tekėjimo greičio ir vėjo greičio) [para^{-1}];

C_5 – ištirpusio deguonies prisotinimo kon-

centracija (skaičiuojama pagal empirines formules) [$\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$];

k_d – negyvos organinės medžiagos oksidacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para^{-1}];

θ_d – organinės medžiagos oksidacijos greičio temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

T – vandens temperatūra (išorinio poveikio kintamasis) [$^\circ\text{C}$];

K_{BOD} – organinės medžiagos oksidacijos greičio limitavimo dėl deguonies koncentracijos pusiau prisotinimo koeficientas [$\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$];

C_5 – anglies biocheminis deguonies sunaudojimas (CBDS) [$\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$];

k_{12} – nitrifikacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para^{-1}];

θ_{12} – nitrifikacijos temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

K_{NIT} – nitrifikacijos priklausomybės nuo ištirpusio deguonies pusiau prisotinimo koeficientas [$\text{mg O}_2 \text{ l}^{-1}$];

C_1 – amonio azoto koncentracija [mg N l^{-1}];

SOD – dugno nuosėdų deguonies sunaudojimo santykinis greitis [$\text{g m}^{-2} \text{ para}^{-1}$];

D – segmento gylis [m];

θ_s – dugno nuosėdų deguonies sunaudojimo temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

G_{P1} – fitoplanktono santykinis augimo greitis (detaliau aprašytas prie fitoplanktono lygties) [para^{-1}];

P_{NH3} – fitoplanktono pirmenybės teikimo amoniui koeficientas (nedetalizuotas);

C_4 – fitoplanktono koncentracija [mg C l^{-1}];

k_{1R} – fitoplanktono santykinio kvėpavimo greitis esant 20°C temperatūrai [para^{-1}];

θ_{1R} – fitoplanktono santykinio kvėpavimo greičio temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

a_{nc} – azoto ir anglies santykis fitoplanktone.

CBDS balansą modelyje EUTRO sąlygojantys procesai yra fitoplanktono mirimas,

organinės medžiagos oksidacija ir denitrifikacija. CBDS dinamikos lygtis

$$\frac{\partial C_5}{\partial t} = \underbrace{a_{OC} K_{1D} C_4}_{\text{Fitoplanktono mirimas}} - \underbrace{k_D \theta_D^{(T-20)} \left(\frac{C_6}{K_{BOD} + C_6} \right) C_5}_{\text{Organinės medžiagos oksidacija}} - \underbrace{\frac{5}{4} \cdot \frac{32}{14} k_{2D} \theta_{2D}^{(T-20)} \left(\frac{K_{NO3}}{K_{NO3} + C_6} \right) C_2}_{\text{Denitrifikacija}}$$

čia:

C_5 – anglies biocheminis deguonies sunaudojimas (CBDS) [mg O₂ l⁻¹];

C_4 – fitoplanktono koncentracija [mg C l⁻¹];

K_{1D} – fitoplanktono santykinis mirimo greitis [para⁻¹];

a_{OC} – deguonies ir anglies santykis (32/12);

a_{nc} – azoto ir anglies santykis fitoplanktone;

k_D – negyvos organinės medžiagos oksidacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para⁻¹];

θ_d – organinės medžiagos oksidacijos greičio temperatūrinės priklausomybės koeficientas;

K_{BOD} – organinės medžiagos oksidacijos greičio limitavimo dėl deguonies koncentracijos pusiau prisotinimo koeficientas [mg O₂ l⁻¹];

K_{NO3} – nitrifikacijos priklausomybės nuo ištirpusio deguonies pusiau prisotinimo koeficientas [mg O₂ l⁻¹];

k_{2D} – denitrifikacijos santykinis greitis esant 20°C temperatūrai [para⁻¹];

θ_{2D} – denitrifikacijos temperatūrinės priklausomybės koeficientas.

Fitoplanktono kinetika. Fitoplanktonas atlieka centrinį vaidmenį eutrofikaciniuose procesuose darydamas įtaką visiems kitiems ekosistemos komponentams. EUTRO fitoplanktonas aprašomas vienu būsenos kintamuoju. Detalesniuose modeliuose fitoplanktonas skirstomas į grupes (dažniausiai tris: titnagdumbliai, žaliadumbliai ir melsvadumbliai).

Fitoplanktono koncentracijos kitimą sąlygoja augimas, mirimas bei kvėpavimas ir

zooplanktono išėdimas. Zooplanktono dinamika modelyje EUTRO nėra modeliuojama. Modelio naudotojas gali įvesti zooplanktono laiko eilutę, tada išėdimas yra aprašomas pirmos eilės reakcija.

EUTRO fitoplanktono balansinė lygtis yra:

$$\frac{\partial C_4}{\partial t} = \underbrace{G_{P1} C_4}_{\text{Augimas}} - \underbrace{D_{P1} C_4}_{\text{Mirimas ir kvėpavimas}} - \text{Išėdimas}$$

čia C_4 – fitoplanktono koncentracija [mg C l⁻¹]; G_{P1} – fitoplanktono santykinis augimo greitis [para⁻¹]; D_{P1} – santykinų fitoplanktono atmirimo ir kvėpavimo greičių suma [para⁻¹]. Mirimo ir kvėpavimo greičiai modeliuojami pirmos eilės reakcijomis, kvėpavime atsižvelgiama į temperatūrą.

Fitoplanktono santykinis augimo greitis G_{P1} aprašomas ribojančių daugiklių sandauga, naudojama daugumoje modelių:

$$G_{P1} = K_{1C} \underbrace{L_{nut}}_{\text{Biogenai}} \cdot \underbrace{L_{light}}_{\text{Šviesa}} \cdot \underbrace{K_{1T}^{(T-20)}}_{\text{Temperatūra}}$$

čia K_{1C} – santykinis fitoplanktono augimo greitis esant 20°C temperatūrai [para⁻¹]; L_{nut} – biogenų lemiamas augimo limitavimo daugiklis, L_{light} – šviesos lemiamas augimo limitavimo daugiklis, K_{1T} – fitoplanktono augimo temperatūrinės priklausomybės koeficientas.

EUTRO fitoplanktono augimo limitavimas dėl biogenų L_{nut} remiasi Libigo principu (riboja ta medžiaga, kurios yra mažiausiai). Atskiro biogeno limitavimui naudojama Michaelis-Menteno formulė. Taigi L_{nut} aprašomas formulėmis

$$L_{nut} = \min \{X_N, X_P\}, \quad X_N = \frac{(C_1 + C_2)}{K_{MN} + (C_1 + C_2)},$$

$$X_P = \frac{f_{PO4} \cdot C_3}{K_P + f_{PO4} \cdot C_3}$$

čia f_{PO4} – ištirpusių ortofosfatų dalis, K_{MN} ir K_P – pusiau prisotinimo koeficientai azotui ir fosforui.

Dėl vietos stokos apsiribosime tik bendrų fitoplanktono augimo limitavimo dėl šviesos principų aptarimu. L_{light} paprastai gaunamas kaip integralas

$$L_{light} = \frac{1}{D} \cdot \int_0^D \frac{1}{T} \int_0^{f \cdot T} F(I(z, t)) dt dz$$

čia D – bendras arba segmento gylis; T – paros trukmė (jei laiko vienetas yra para, tai $T=1$); f – šviesaus paros meto dalis; $F(I)$ – fitoplanktono augimo limitavimo daugiklis esant fiksuotam šviesos intensyvumui I , kuris EUTRO aprašomas Steelo formule, kuria naudojantis galima atsižvelgti į tai, kad esant pakankamai dideliui intensyvumui I_s augimas pradeda lėtėti:

$$F(I) = \frac{I}{I_s} e^{\frac{1-I}{I_s}}.$$

Šviesos intensyvumas gylyje z paprastai aprašomas naudojant Lambert-Beer'o dėsnį:

$$I(z, t) = I_0(t) \cdot e^{-k_e \cdot z}$$

čia I_0 – šviesos intensyvumas prie vandens paviršiaus, paprastai traktuojamas (taip pat ir modelyje EUTRO) kaip išorinio poveikio kintamasis; k_e – šviesos silpnėjimo koeficientas,

skaičiuojamas naudojant empirines formules arba (ir) kalibruojant.

Modelyje EUTRO yra galimybė naudoti dvi fitoplanktono augimo limitavimo dėl šviesos formuluotes: 1) Di Toro, 2) Smitho. Šių formuluočių skirtumų čia plačiau neaptarinėsime, paminėsime tik, kad Smith'o formuluotė skaičiuoja chlorofilo ir anglies santykį fitoplanktone, kuris gali būti naudingas tais atvejais, kai fitoplanktonas yra reprezentuojamas chlorofilu a .

Literatūra

- Ambrose R. B., Wool T. A., Martin J. L. (1993). *The Water Quality Analysis Simulation Program, WASP5. Part A: Model Documentation*. Athens (USA).
- Chapra S. C. (1997). *Surface Water Quality Modeling*. WCB McGraw-Hill.
- Jørgensen S. E., Bendoricchio G. (2001). *Fundamentals of Ecological Modeling*. Elsevier.
- Jørgensen S. E., Nielsen S. N., Jørgensen L. A. (1991). *Handbook of Ecological Parameters in Ecotoxicology*. Elsevier.
- Wool T. A., Ambrose R. B., Martin J. L., Comer E. A. (2004). *Water Quality Analysis Simulation Program (WASP). Version 6.0. User's manual*. <http://www.cee.edu/edu/model/wasp.php>

12. Aplinkosaugos politika ir valdymas

Aplinkos apsauga yra viena iš pirmaeilių žmonių veiklų. Saugodamas aplinką, saugai žmogų, tuo pačiu palieki švarią aplinką ateities kartoms. Aplinkosauga yra sudėtinga veikla, susidedanti iš daugybės grandžių, kurias reikia tinkamai valdyti. Valdymo procesas susideda iš politikos formavimo, planavimo, įgyvendinimo ir proceso kontrolės. Aplinkosaugos politika yra ta pirminė grandis, nuo kurios ir prasideda reali aplinkosauga. Tinkamai suformuluota politika įgalina sėkmingiau ir efektyviau įgyvendinti praktinius sprendimus. Pagrindinis dėmesys šiame skyriuje yra skiriamas Europos Sąjungos aplinkosaugos politikai. Tai ypač svarbu dabar, kai Lietuva jau yra jos narė. Tikimės, kad šis trumpas kursas leis studentams suprasti aplinkosaugos politikos pagrindus.

12.1. Aplinkosaugos politikos formavimas

Ne visi aplinkosaugininkai vienodai supranta aplinkosaugos politiką. Čia pateikiamas jos apibūdinimas pagal vienos aplinkosaugininkų mokyklų terminiją. Lygiai taip pat skirtingai yra traktuojama bendrosios politikos terminija. Politika – tam tikro subjekto (valstybės, organizacijos, įmonės ir

pan.) pozicija ir viešas deklaravimas apie ketinimus ir principus įgyvendinti išskeltus tikslus ir uždavinius tam tikrame sektoriuje ar visoje to subjekto veikloje. Politika inspiroja bei nurodo kryptis politikos tikslų ir uždavinių įgyvendinimo veiksmams.

Aplinkosaugos politika – pozicija ir viešas deklaravimas apie aplinkosaugos tikslų ir uždavinių įgyvendinimą, t.y. Žemės ir jos gelmių, oro, vandens, biologinės įvairovės ir pan. apsaugos, gamtinių išteklių subalansuoto naudojimo, pramonės bei kitos taršos prevencijos ir mažinimo, atliekų tvarkymo bei kitose srityse.

Aplinkosaugos politikos *įgyvendinimo instrumentai* yra šie: *Teisiniai aktai* – Konstitucija, įstatymai, parlamento nutarimai, poįstatyminiai aktai (Vyriausybės nutarimai, ministrų įsakymai, ministerijų reglamentai, taisyklės, nurodymai ir pan.). *Programiniai dokumentai* – strategijos, planai, programos bei projektai. *Administraciniai instrumentai* – Parlamentas (Seimas), Vyriausybė (Ministrų kabinetas), ministerijos ir jų pavaldžios institucijos, provincijų (apskričių) administracijos, savivaldybės. Kiekvienas instrumentas yra savotiškai svarbus, nes teisiniai aktai nebus įgyvendinami be strateginių dokumentų, o jų praktiniam įgyvendinimui reikalingos įvairaus lygmens institucijos.

12.1 lentelė. Strateginio aplinkosauginio valdymo struktūrinė hierarchija

Strategija	Taktika – strategijos įgyvendinimo būdai, veiksmai ir priemonės		
Aplinkosaugos tikslų, uždavinių numatymas (iškėlimas)	I. Planas	II. Programa	III. Projektas
	Koordinuotas ir laike apibrėžtas politikos/strategijos tikslų ir uždavinių įgyvendinimo numatymas	Plano įgyvendinimas, sukonkretinant laiką, vietą ir siaurinant/specializuojant tikslus ir uždavinius pagal atskirus sektorius	Aukštesnių tikslų ir uždavinių įgyvendinimas konkrečiu laiku ir konkrečioje vietovėje
Iki 10–20 metų	5–10 metų	3–5 metai	1–3 metai

Žemiau pateikiamas strateginių dokumentų aprašymas (projektas nėra strateginis dokumentas; 12.1 lentelėje lentelėje nurodytas tik jo ryšys su strateginiais dokumentais).

Labai svarbūs ir kiti įgyvendinimo instrumentai. Tai *Tarptautinės sutartys* – globalios konvencijos ir protokolai: Klimato kaitos konvencija ir Kioto protokolai, Biologinės įvairovės konvencija; taip pat regioninės sutartys: Helsinkio (Baltijos jūros apsaugos), Viduržemio jūros apsaugos, Jungtinė JAV–Kanados aplinkosaugos sutartis ir pan. Svarbų vaidmenį atlieka *savanoriškos sutartys ir susitarimai*, pvz. tarp atskirų juridinių subjektų dėl energijos, gamtinių išteklių naudojimo, prekybos ir pan., *tarptautinių institucijų savanoriški dokumentai*, pvz. ISO standartai, *finansinių institucijų reglamentai* (bankų reglamentai dėl poveikio aplinkai atlikimo), taisyklės, nurodymai.

12.2. Globalios aplinkosaugos politikos apžvalga

Pasaulinę aplinkosaugos politiką formuoja įvairiausios organizacijos, sąjungos, valstybės; jos vadinamos įvairiai: veikėjais [aktoriais], dalyviais. Jos formuoja pagrindines aplinkosaugos gaires, strategijas, kurios inicijuoja pasaulinės aplinkosaugos politikos įgyvendinimo mechanizmus ir tarptautiniame, ir nacionaliniame lygmenyse. Žemiau pateikiami pagrindiniai veikėjai, kurie turi didžiausią įtaką formuojant aplinkosaugos politiką.

Dalyviai:

1. Valstybių Sąjungos: Pietryčių Azijos – Okeanijos, Didžiausių valstybių šešetukas, Europos Sąjunga, Europos Taryba, NVS;
2. Atskiros valstybės;
3. Tarptautinės tarpvalstybinės organizacijos: Jungtinės Tautos (UNDP – JT Vystymo programa, UNEP – JT Aplinkosaugos

programa, UNESCO – JT Švietimo, mokslo ir kultūros programa), OECD – Ekonominio bendradarbiavimo ir vystymo organizacija, WHO – Pasaulio sveikatos organizacija, WTO – Pasaulio prekybos organizacija, ISO – Tarptautinė standartų organizacija, Europos Komisija, Europos Taryba, Konvencijų sekretoriatai.

4. Tarptautinės nevyriausybinių organizacijų: IUCN – Pasaulio gamtos sąjunga, WWF – Pasaulio gamtos fondas, Greenpeace – Pasaulio žaliųjų organizacija.
5. Tarptautinės finansinės institucijos: WB – Pasaulio bankas, GEF – Pasaulio aplinkos fondas, EBRD – Europos rekonstrukcijos ir vystymo bankas, kiti tarptautiniai bankai.
6. Tarptautinės biznio asociacijos/sąjungos: ACEA – Europos automobilių gamintojų sąjunga ir kt.
7. Tarptautinės pramonės korporacijos: Procter&Gamble, Ford, General Motors ir pan.
8. Atskirų šalių organizacijos: valstybinės (parlamentai, vyriausybės, ministerijos), politinės partijos (žaliųjų partija ir kt.), nevyriausybinių, šalių valstijų/kraštų valstybinės institucijos (pvz., JAV, JK, Australijos, Vokietijos), šalių/kraštų aplinkosauginės institucijos, biznio, pramonės, žemės ūkio asociacijos/sąjungos, finansinės ir pramonės organizacijos.

Suformuluoti pagrindiniai aplinkosaugos politikos principai ir prioritetai, kurių būtina laikytis.

Pagrindiniai aplinkosaugos politikos principai:

1. Gamtinių išteklių suverenitetas ir atsakomybė už juos, kad nebūtų neigiamo poveikio aplinkai: išteklius naudoti taip, kad jie atsistatytų, užtikrinti jų apsaugą nacionaliniais įstatymais, nedaryti žalos aplinkai.

2. Geri santykiai su kaimyninėmis šalimis ir tarptautinis bendradarbiavimas: JT Chartija įpareigoja tarpvalstybines aplinkosaugines problemas spręsti kartu.
3. Subalansuota (darni) plėtra: aplinkos apsauga, ekonominis vystymas, socialinė plėtra, kultūrinis vystymas.
4. Prevencinių (atsargumo) priemonių taikymas: jei iškyla grėsmė aplinkai, prevencinės priemonės taikomos nežiūrint jų kaštų, aplinkos degradavimas stabdomas iš anksto.
5. Teršėjas moka: teršėjas moka už taršą ir jos pasekmes.
6. Bendra, bet skirtinga atsakomybė: bendra atsakomybė saugant bendrus išteklius, skirtinga atsakomybė už grėsmės ir taršos mažinimą bei kontrolę.

Svarbiausi apsaugos prioritetai:

I. *Gamtinių išteklių apsauga*: atmosferos apsauga (klimato kaita, ozono sluoksnio apsauga, tarptautinė apsauga); Žemės išteklių apsauga (įskaitant dykumėjimą), miškų ir miškingumo ploto mažėjimas; biologinės įvairovės apsauga; gelujų vandenų ir jūros išteklių apsauga; vandenynų ir jūrų bei jų išteklių apsauga.

II. *Žmogaus veikla ir produktų žalingas poveikis aplinkai*: biotechnologinių procesų valdymas; pavojingų cheminių medžiagų tvarkymas ir tarptautinė prekyba; žemės ūkio veikla; pavojingų atliekų tvarkymas ir tarptautinė prekyba; kietų atliekų tvarkymas ir švartynai; radioaktyviųjų atliekų tvarkymas.

12.3. Europos Sąjungos aplinkosaugos politika

Europos Sąjungos atsiradimas. Europos Sąjunga buvo įsteigta 1992 metais Europos Sąjungos sutartimi, pasirašyta Maastrichte, tačiau jos ištakos siekia 1951 m., kai Pary-

žiaus sutartimi buvo sukurta Europos anglių ir plieno bendrija. Vėliau, 1957 m., Romos sutartimi įsteigtos Europos ekonominė bendrija ir Europos atominė bendrija. Romos sutartyje dar nebuvo jokių specialių nuostatų, susijusių su aplinkos apsauga. Suprantama, kad pokario laikotarpiu buvo aktualu atkurti ir vystyti pramonę ir žemės ūkį, bet taip pat buvo svarbu vienyti, kurti bendrą rinką. Šalys, pasirašiusios Europos ekonominės bendrijos sutartis, turėjo bendrą laisvą rinką. Šeštojo dešimtmečio pabaigoje buvo įkurta Europos laisvosios prekybos asociacija (EFTA) kaip atsvara Europos ekonominei bendriai. EFTA narės šalys turėjo savo bendrą rinką kaip ir Europos ekonominės bendrijos šalys. Kai kurios šalys buvo tiek Europos ekonominės bendrijos, tiek EFTA narės. 1984 metais prasidėjo integracija tarp Europos ekonominės bendrijos ir EFTA, taip atsirado *Europos ekonominė erdvė* (vieninga rinką). Taigi Europos šalys vienijosi, tačiau jų tikslas tebuvo vieninga rinką. Vėliau radosi siekis sukurti ekonominę ir pinigų sąjungą, o taip pat politinę sąjungą. Bendrijos 1986 m. pasirašė Vieningą Europos Aktą, kuris padėjo pagrindus Europos Sąjungos įsikūrimui. 1992 metais buvo pasirašyta *Europos bendrosios ekonominės erdvės sutartis*, kurios tikslas – įgyvendinti keturias laisves: laisvą prekių, paslaugų, asmenų ir kapitalo judėjimą bendroje Europos ekonominėje erdvėje. Kitas svarbus sutarties elementas buvo bendradarbiavimo vystymas vadinamosiose „periferinėse srityse“: mokslo tiriamuosiuose darbuose, socialinėje politikoje, vartotojų apsaugoje, aplinkos apsaugos politikoje ir t.t. Tapo aišku, kad norint įgyvendinti šiuos siekius, reikia sukurti vieningą institucinę ir teisinę struktūras (ne viršesnę už nacionalines), paliekant teisę šalims narėms turėti nacionalines institucijas. Taip buvo kuriamos tarpvalstybinės institucijos, koordinuojančios bendroje Europos ekonominėje erdvėje

veikiančių šalių sutartyje numatytas veiklas. Tačiau integracijos procesas strigo dėl kelių bendrijų veiklos ir neapėmė visų bendrosios Europos ekonominės erdvės spęstinių problemų. Tokiu būdu Europos ekonominė bendrija, Europos atominė bendrija ir Europos anglių ir plieno bendrija 1992 metais sudarė vadinamąją „skėtinę“ sąjungą, kuri dabar vadinasi Europos bendrija. Tačiau dalis šalių nepanoro stoti į Europos bendriją ar EFTA. Dėl to ir dėl kitų integracijos proceso strigimo problemų nepavyko visiškai įgyvendinti iškeltų integracijos tikslų. Siekdamas, kad nebūtų stabdomas integracijos procesas, o būtų įgyvendinti visi Europos bendrosios ekonominės erdvės sutartyje numatyti tikslai, penkiolika šalių 1992 metais pasirašė Maastrichto sutartį, pagal kurią 1993 metais įkurta Europos Sąjunga. Tai platesnis integracijos procesas, apimantis bendrą užsienio politiką bei bendradarbiavimą vidaus ir teisingumo reikaluose. Taigi Europos Sąjunga susideda iš kelių vadinamųjų „ramsčių“. Europos Sąjunga nėra tarptautinis juridinis asmuo ir neturi įstatymų leidybos teisės. Tai sąjunga šalių, siekiančių bendradarbiauti ir įgyvendinti Europos bendrosios ekonominės erdvės sutartyje numatytus tikslus. Tuo tarpu Europos Bendrija yra juridinis asmuo, turintis teisę leisti teisinius aktus ir pasirašyti sutartis, pvz., Lietuvai tampant asocijuota nare ir stojant į Europos Sąjungą, Europos Sąjungos Sutartis buvo pasirašoma tarp Europos Bendrijos ir Lietuvos. Teisiniai dokumentai yra priimami Europos Bendrijos vardu bei skelbiami *Europos Bendrijų oficialiame žurnale* (Official Journal of the European Communities). Europos Bendrija ir Europos Sąjunga yra dažnai arba painiojamos, arba sugretinamos, ir plačiojoje visuomenėje dažniausiai kalbama tik apie Europos Sąjungą. Iš tikrųjų, šalys, pasirašiusios Maastrichto sutartį, dalyvauja platesniame Europos integracijos procese ir apima visas Europos ben-

drosios ekonominės erdvės sutartyje numatytas sferas, todėl daugiau pagrindo šių šalių sąjungą vadinti *Europos Sąjunga*.

Europos Sąjungos institucijos ir jų vaidmuo. Įsigaliojus Maastrichto sutarčiai Europos Bendrija įkūrė pagrindines keturias institucijas: Ministrų Tarybą (oficialus pavadinimas – Europos Sąjungos Taryba), Europos Parlamentą, Europos Teismą ir vykdančiąją instituciją – Europos Komisiją. Visos keturios institucijos turi griežtai apibrėžtas funkcijas. Vėliau buvo įkurta Europos aplinkos apsaugos agentūra.

Ministrų Taryba yra vienintelė institucija, kurią atstovauja šalių narių vyriausybės. Jos funkcijos yra šios: vadovauti bendrajai Europos Sąjungos politikai, atstovauti šalių narių interesus, priimti sprendimus apie teisinių aktų priėmimą, rengti pasitarimus dėl atskirų šalių ar institucijų reikalų, atlikti tarpvyriausybinių vaidmenį. Ministrų Tarybą sudaro: valstybių vadovų taryba, bendrųjų reikalų taryba (užsienio politiką atstovauja šalių užsienio reikalų ministrai; čia svarstomi finansai ir ekonomika; ji paprastai renkasi kas mėnesį), techninė taryba (sektorinė politika: pvz., Aplinkos taryba, kuri paprastai renkasi du – tris kartus per metus, Žemės ūkio ir pan.). Valstybių vadovų tarybą atstovauja šalių ministrai pirmininkai, ji sprendžia svarbiausius politikos, valdymo, ekonomikos ir pan. klausimus. Kiekviena šalis pagal gyventojų skaičių turi atitinkamą tarybos narių skaičių. Tarybos sesijose kiekviena šalis stengiasi priimti savo šaliai palankesnę sprendimą, todėl dažnai tenka kooperuotis kelioms šalims, nes daugiausia sprendimai priimami balsų dauguma, nors kartais – vieningu susitarimu. Iki naujų šalių įstojimo Vokietija ir Prancūzija susikooperavusios dažnai pasiekdavo savo šalims palankių sprendimų arba blokuodavo joms nepalankius. Europos Sąjungos plėtra yra vienas

aktualiausių užsienio politikos klausimų. Ypač svarbus tarybos posėdis buvo Nicoje, kai penkiolika vadinamųjų „senųjų“ narių turėjo apsispręsti, ar plėsti Europos Sąjungą, kokiais kriterijais priimti dešimt naujų narių. Didžiosios šalys nepalankiai žiūrėjo į naujų šalių priėmimą, nes įstojus Lenkijai ir kitoms didesnėms šalims, jėgų pusiausvyra gali pasidaryti nestabili. Per minėtą posėdį mažosios šalys, susikoooperavusios su kai kuriomis didesnėmis, po ilgų ginčų priėmė sprendimą priimti dar dešimt naujų narių.

Ministrų Tarybai pirmininkauja viena iš šalių. Pirmininkaujama rotacijos principu, šalies pirmininkavimo kadencija yra šešeri metai. Pirmininkaujančią šalį atstovauja ministras pirmininkas. Tarybos darbą aptarnauja sekretoriatas, kuriame dirba daugiau kaip 2000 darbuotojų.

Europos Parlamentas įkurtas 1979 m. Nuo įkūrimo datos kas penkeri metai Europos Parlamento nariai renkami per tiesioginius visuotinius rinkimus, remiantis atskirų šalių rinkimų sistema. Įsigaliojus Mastrichto sutarčiai, kiekvienas Europos Sąjungos valstybės narės pilietis, gyvenantis kitoje Sąjungos valstybėje, gali balsuoti arba būti kandidatu toje valstybėje, kurioje gyvena. Europos Parlamento nariai gauna tokį pat atlyginimą, kaip ir jų nacionalinių parlamentų nariai, kurį apmoka valstybė, kurioje yra išrinktas. Europos parlamentas posėdžiauja ir viešai priima sprendimus, kurie spausdinami *Europos Bendrijų oficialiame žurnale*. Europos Parlamento nariai kiekvieną mėnesį plenarinei sesijai vienai savaitei renkasi Strasbūre, taip pat posėdžiauja kiekvieną mėnesį po dvi savaites Briuselyje (parlamentas turi tris darbo vietas: Strasbūre, Briuselyje ir Liuksemburge). Visų dvidešimt penkių šalių kalbos yra oficialios Sąjungos kalbos, šią nuostatą įgyvendina vertimų sistema. Dabar Parlamente yra 785 nariai, išrinkti iš visų 27 ES valstybių.

Pirmininkas vadovauja visai Parlamento ir jo padalinių veiklai, pirmininkauja plenarinėms sesijoms ir posėdžiams, atstovauja Parlamentui oficialiuose renginiuose. Pirmininką sueiga, kurią sudaro pirmininkas ir frakcijų pirmininkai, yra Parlamento valdančioji politinė institucija. Šiuo metu yra dvidešimt nuolatinių komitetų, iš jų vienas yra Aplinkos, visuomenės sveikatos ir maisto saugos politikos komitetas. Parlamento darbą aptarnauja biuras.

Kaip ir visi parlamentai, Europos Parlamentas turi šias tris pagrindines funkcijas: leisti įstatymus, tvirtinti ir prižiūrėti biudžetą bei kontroliuoti vykdomąją valdžią. Vis tik pagrindinė funkcija yra leisti įstatymus. Parlamentas kartu su Ministrų Taryba priima įstatymus ir tuo skiriasi nuo nacionalinių parlamentų. Papildomos funkcijos yra Europos Komisijos sprendimų tvirtinimas, Europos Sąjungos valstybių piliečių peticijų svarstymas ir t.t. Priešingai nei Ministrų Taryba, Europos Parlamentas daugiau atstovauja Europos Sąjungos valstybių piliečių interesus.

Europos Teismas susideda iš keturiolikos teisėjų. Jo funkcijos: prižiūrėti Europos Bendrijos teisinių aktų vykdymą atskirose valstybėse narėse, išaiškinti teisinius dokumentus ir jų taikymą, sustabdyti Europos Komisijos, Ministrų Tarybos ar nacionalinius nutarimus, jei jie prieštarauja Europos Bendrijos teisiniams aktams, užtikrinti, kad atskirų Europos Sąjungos šalių teisiniai aktai neprieštarautų Europos Sąjungos teisiniams dokumentams ir interesams, taip pat teikia nuomonę dėl sutarčių pasirašymo su ne Europos Sąjungos šalimis. Europos Teismas savo nutartimi skiria šalims narėms baudas už Europos Sąjungos teisinių aktų nevykdymą ar netinkamą jų taikymą.

Europos Komisija yra vykdomoji Europos Sąjungos institucija. Europos Komisiją sudaro vadinamasis *politinis sparnas* ir *admi-*

nistracinis sparnas. Politinis sparnas tai Komisarų Kolegija (Pirmininkas ir jo pavaduotojai, komisarai ir jų kabinetai). Šiuo metu yra dvidešimt penki komisarai, įskaitant pirmininką ir jo pavaduotojus. Kiekviena šalis deleguoja po vieną atstovą į komisarų. Bendru valstybių vadovų sutarimu iš pasiūlytų komisarų yra išrenkamas pirmininkas ir jo pavaduotojai, taip pat paskirstomos komisarų funkcijos, kurias jie kuruoja. Kadangi jie yra politiniai atstovai, nėra reikalavimo, kad tam tikrą sritį kuruotų toje srityje dirbęs ar išsilavinimą turintis komisaras. Pavyzdžiui, iki 2004 metų Aplinkos komisarė buvo Margot Wallstrom, anksčiau buvusi Švedijos aplinkos ministrė, tuo tarpu 2004–2009 metų laikotarpiu Aplinkos komisarė yra Stavros Dimas, kurio profesija ir ankstesnis darbas buvo visiškai nesusijęs su aplinkos apsauga. Lietuvą atstovauja buvusi finansų ministrė Dalia Grybauskaitė, kuri yra finansinio programavimo ir biudžeto komisarė. Komisarų patvirtina Europos Parlamentas. Komisarai gali būti pakeisti, jei netinkamai vykdo pareigas ar kilus skandalui. Europos Parlamentas 2/3 balsų dauguma gali juos pakeisti. Komisijos pirmininkas yra Ministrų Tarybos narys.

Administracinį sparną sudaro valdininkai ir juos aptarnaujantis personalas. Tai apie 15 500 nuolatinių ir 3 000 laikinų darbuotojų komanda. Kiekviena Europos Sąjungos šalis gali deleguoti darbui į Komisijos atitinkamą direktoratą savo atstovus – valdininkus, tos srities specialistus. Yra šie generaliniai direktoratai (GD), kurie susideda iš atskirų direktoratų: Aplinkos; Ekonomikos ir finansų; Pramonės ir įmonių; Informacinės visuomenės ir žiniasklaidos; Konkurencijos, mokesčių ir muitų sąjungos; Mokslinių tyrimų; Regioninės politikos; Sveikatos ir vartotojų apsaugos; Švietimo ir kultūros; Teisingumo, laisvės ir saugumo; Transporto ir energetikos; Užimtumo, socialinių reikalų ir lygių teisių;

Vidaus rinkos ir paslaugų; Žemės ūkio ir kaimo plėtros; Žuvininkystės ir jūrinių reikalų. Šiems direktoratomis talkina 21 aptarnavimo tarnyba, kurios užsiima administraciniais, finansiniais, valdymo ir kitais reikalais.

Aplinkos generalinis direktoratas (IX) susideda iš septynių direktoratų: Ryšių, teisės ir civilinės saugos; Gamtinės aplinkos apsaugos (direktorate yra šie skyriai: žemės ūkio, miškų ir dirvožemio; gamtos apsaugos ir biologinės įvairovės; biotechnologijų, pesticidų ir sveikatos), Klimato kaitos ir oro apsaugos; Vandens, cheminių medžiagų ir sanglaudos politikos; Tarptautinių reikalų ir LIFE programos; Resursų valdymo; Darnaus vystymo ir integracijos). Aplinkos generalinis direktoratas formuoja aplinkosaugos politiką, rengia aplinkosauginių teisinių aktų projektus ir juos teikia nustatyta tvarka tvirtinimui, prižiūri Europos Bendrijos aplinkosauginių teisinių aktų įgyvendinimą atskirose valstybėse, bendrauja su atskirų valstybių aplinkos apsaugos ministerijomis ir pan.

Europos Komisijos funkcijos yra ginti bendruosius Europos Sąjungos interesus, inicijuoti Bendrijos teisės aktų ir sutarčių projektų rengimą ir teikti juos Europos Parlamentui ir Ministrų Tarybai, prižiūrėti kartu su Europos Teismu teisės aktų vykdymą, vykdyti Europos Parlamento ir Ministrų Tarybos parengtas programas, prižiūrėti tarptautinių sutarčių vykdymą.

Europos Bendrijos teisės aktai ir jų leidimo procedūros. Europos Bendrija turi viršnacionalinę kompetenciją leisti teisės aktus, kurie yra privalomi ne tik valstybėms, bet gana dažnai ir jų institucijoms, privačioms įmonėms bei piliečiams. Bendrijos teisės aktai yra šių tipų:

Pirminę teisę turintys – tai teisinės nuostatos, esančios sutartyse, kurias pasirašė šalys, stodamos į Europos Bendriją ar Sąjungą;

Antrinę teisę turintys – tai reglamentai,

direktyvos ir sprendimai, taip pat ir sutarčių nuostatos, pasirašytos tarp Europos Bendrijos ir trečiųjų šalių bei tarptautinių organizacijų.

Antrinę teisę turintys teisės aktai yra skirstomi į privalomuosius ir neprivalomuosius.

Privalomieji teisės aktai. Reglamentai. Tai teisės aktai, kurie tiesiogiai taikomi visose Europos Sąjungos valstybėse nuo jų priėmimo ir paskelbimo *Europos Bendrijų oficialiame žurnale*. Valstybėms narėms nereikia jų perkelti į savo nacionalinius įstatymus (tai netgi draudžiama). Nors reglamentai yra tiesiogiai taikomi, jiems dažnai reikalingi papildomi nacionaliniai teisės aktai, kurie nustato reglamento įgyvendinimo mechanizmą arba baudžiamąsias sankcijas už reglamentų įgyvendinimo nevykdymą ar reikalavimo pažeidimus. Valstybės narės yra įpareigosotos savo nacionaliniuose teisės aktuose apibrėžti, kas pagal šį reglamentą yra kompetentinga (atsakinga) organizacija.

Direktyvos. Jų tikslas – sukurti vienodą teisinę sistemą Bendrijos valstybėse, nesukuriant visiškai vienodų nacionalinių teisės aktų. Nacionalinių teisės aktų (įstatymų, poįstatyminių dokumentų, taisyklių ir tvarkų) suderinimas su Europos Bendrijos teisiniais dokumentais yra vadinamas aproksimacija. Išskiriami trys aproksimacijos elementai: perkėlimas (ir teisinių aktų suderinimas), įgyvendinimas (parūpinami finansiniai ištekliai ir nustatomos įgyvendinančios institucijos), vykdymas (parūpinamos priemonės ir nuobaudos už Bendrijos teisinių aktų nevykdymą). Direktyvos yra nacionalinių teisės aktų suderinimo priemonė, skirtingai nuo reglamentų, kurie yra teisinės sistemos unifikavimo priemonė. Direktyvų reikalavimai turi būti perkeltami į nacionalinius teisės aktus. Kadangi atskirų valstybių teisės aktai yra skirtingi, tai vienoms valstybėms reikia daugiau direktyvų reikalavimų perkelti, kitoms mažiau. Taigi nacionalinių teisės aktų suderinimas su direktyvų reikalavimais gali būti

visiškas, dalinis ar minimalus. Tais atvejais, kai šalis neturi tokio teisės akto, kurį būtų galima suderinti su direktyva, ji turi priimti naują teisės aktą, atitinkantį reikalavimus. Tiek perkėlus į esamus, tiek priėmus naujus teisės aktus, jie turi būti paskelbti nacionaliniuose oficialiuose valstybių žurnaluose (pvz.: Lietuvoje – *Valstybės žiniuose*). Paprastai direktyvose nustatomas laikotarpis, per kurį reikia perkelti direktyvos reikalavimus į nacionalinius teisės aktus, bei laikotarpis, per kurį reikia įgyvendinti direktyvos reikalavimus. Valstybės turi nustatyti, kuri valstybinė institucija atsakinga (kompetentinga) už direktyvos įgyvendinimą, ir parengti įgyvendinimo mechanizmą. Valstybės turi pranešti Europos Komisijai apie direktyvų reikalavimų perkėlimą į nacionalinius teisės aktus, o vėliau – apie jų įgyvendinimą. Komisija peržiūri nacionalinius teisės aktus ir radusi neperkeltų direktyvų reikalavimų, reikalauja aktus papildyti. Šalių – kandidačių į Europos Sąjungą aproksimacijos procesas truko apie dešimt metų.

Sprendimai. Jie yra trečias privalomasis teisės aktas. Sprendimai gali būti bendrojo norminio teisės akto pobūdžio arba individuali administracinė priemonė. Pirmieji gali būti tokie kaip reglamentai arba direktyvos, t.y. jie gali būti tiesiogiai taikomi, arba juos privaloma įgyvendinti nacionaliniu lygmeniu. Paprastai sprendimai yra konkretesni už reglamentus ar direktyvas.

Neprivalomieji teisės aktai. Tai nuomonės, rekomendacijos, rezoliucijos, skelbimai ar pranešimai. Jie yra vadinamosios negriežtos („minkštosios“) teisės, neapibrėžto teisinio poveikio norminių aktų pavyzdžiai, turintys svarbią reikšmę kai kuriose Bendrijos veiklos srityse, ypač konkurencijos politikoje.

Europos Bendrijos teisės aktų priėmimo procedūra. Ji iš dalies skiriasi nuo nacionalinių teisės aktų priėmimo procedūros. Pa-

prastai Europos Sąjungos Komisija inicijuoja teisės aktų projektų rengimą: pirmiausia nustatomas pagrindinis tikslas ir bandoma sistemiškai suderinti būtinus norminius variantus, kartu atsižvelgiant į įvairių interesų ir politinių grupių įtaką. Komisija gali savarankiškai nuspręsti, ar teisės aktų projektus rengia Komisijos tarnautojai, ar yra sudaromos darbo grupės. Dažniausiai yra sudaromos įvairios laikinos darbo grupės (paprastai ekspertai iš įvairių šalių), kurios parengia pirminius projektus. Po to projektai svarstomi tame direktorate, kuris inicijavo jo parengimą. Vėliau pateikiama svarstyti kitiems su ta problema susijusiems direktoratomis ir teisės direktoratui. Komisija teisės akto projektą pateikia Europos Parlamentui ir Europos Sąjungos Tarybai. Taryba konsultuojasi su Parlamentu, ir jei nėra nesutarimų, teisės aktą priima. Esant nesutarimų, yra šaukiamas taikomasis komitetas, kurio tikslas – parengti bendrą abiem institucijoms priimtina tekstą. Jeigu tai pasiekama, teisės aktas priimamas atskirais identiškais Tarybos ir Parlamento sprendimais. Kai teisės aktai išspausdinami *Europos Bendrijų oficialiame žurnale*, jie įsigalioja visoje Europos Sąjungoje.

Paprastai teisės akto nuostatos yra suskirstomos į skyrius ir straipsnius. Jie dažniausia išdėstomi tokia tvarka:

- taikymo sritis ir apibrėžimai;
- pagrindinės nuostatos;
- nuostatos dėl valdymo ir taikymo;
- bendrosios ir baigiamosios nuostatos, apimančios įsipareigojimą pranešti aktą įgyvendinančias priemones ir įgyvendinimo terminus, nurodant kam jis yra skirtas ir kokia jo įsigaliojimo data.

Priėmus teisės aktus dažnai tenka paaiškinti, kaip yra interpretuojami atskiri straipsniai. Kai kuriais atvejais tai gali būti keliasdešimt puslapių vieno straipsnio išaiškinimas.

Europos Bendrijos Aplinkos apsaugos veiksmų programos ir jų svarba aplinkosaugoje. Reikia pažymėti, kad nežiūrint Europos šalių integracijos vieningos rinkos srityje, lygiagrečiai vyko ir kiti vienijimosi procesai, tarp jų ir aplinkos apsaugos srityje. Vykstant pramonės ir žemės ūkio plėtrai, visuomenė ir aplinkosaugininkai atkreipė dėmesį ir susirūpino, kad gamtos išteklių besaikis naudojimas ir aplinkos teršimas kelia grėsmę žmonijai. Pakankamai aktuali aplinkos apsaugos problema tapo septintajame dešimtmetyje, todėl pirmosios aplinkos apsaugos nuostatos buvo suformuluotos 1972 metų Bendrijų šalių viršūnių aukščiausio lygio Paryžiaus susitikime, kuriame buvo priimta pirmoji Bendrijos aplinkos apsaugos veiksmų programa, įsigaliojusi 1973 m. Tai pirmas žingsnis link aplinkos apsaugos politikos vystymo ir įgyvendinimo, kuris vėliau buvo plėtojamas kitose aplinkos apsaugos veiksmų programose ir kurį sėkmingai tęsia Europos Sąjunga.

Aplinkos apsaugos veiksmų programos yra Europos Bendrijos strateginiai dokumentai, bet jos neturi privalomosios juridinės galios. Vis tik programos kaip strateginiai dokumentai yra gairės ir inspiruoja politikos įgyvendinimą ir teisinių aktų priėmimą. Europos Bendrijos aplinkos apsaugos veiksmų programos vystėsi ir tobulėjo nuo 1973 m. (12.2 lentelė). Palyginus pirmąją ir šeštąją programą galima matyti didžiulį progresą Europos Bendrijos aplinkosaugos politikoje ir jos įgyvendinime.

Pirmoji Aplinkos apsaugos veiksmų programa nustatė tik pagrindinius aplinkos apsaugos principus. Joje išvardyti vienuolika principų, kurie vėliau atsispindėjo tolesniuose aplinkos apsaugos programiniuose dokumentuose. Programoje buvo keliami šie tikslai: sustabdyti aplinkos teršimą arba jį pašalinti; užtikrinti racionalų gamtos išteklių naudojimą; ūkio plėtrą vystyti atsižvelgiant į

kokybės reikalavimus bei gerinant darbo ir gyvenimo sąlygas; užtikrinti, kad planuojant miestus ir žemėnaudą būtų atsižvelgta į aplinkosauginius reikalavimus; siekti, kad aplinkosaugos problemos būtų sprendžiamos kartu su ne Europos Bendrijos šalimis.

Nepaisant to, kad ši programa buvo patvirtinta aukščiausio šalių lygio susitikime, jos įgyvendinimas buvo neveiksmingas. Ypač sunkiai sekėsi įgyvendinti aplinkos kokybės reikalavimus. Iš kitos pusės, tai pirmas žingsnis aplinkos apsaugos link ir buvo tolimesnės gairės derinant aplinkos apsaugą ir ūkio vystymą. Pirmas žingsnis buvo stimulus į tolesnius ir konkretesnius veiksmus. 1976 metais Europos Bendrijos šalys priėmė antrąją Aplinkos apsaugos veiksmų programą, kuri buvo pirmosios programos išplėstas tikslų tęsinys. Vandens, oro apsaugos ir triukšmo valdymo priemonės Bendrijos aplinkos apsaugos politikoje buvo išskirtos kaip prioritetinės. Antroji programa buvo konkretesnė ir veiksmingesnė. Šiuo laikotarpiu suaktyvėjo ir Europos Bendrijų direktyvų priėmimas. Pradėtas skirti dėmesys biologinės įvairovės apsaugai ir saugomų teritorijų steigimui ir tvarkymui. 1979 metais buvo priimta *Paukščių* direktyva, kurios tikslas – išsaugoti retus ir nykstančius paukščius, sugriežtinti medžiokles ir prekybą paukščiais.

12.2 lentelė. Europos Bendrijos aplinkos apsaugos veiksmų programos

Laikotarpis	Aplinkos apsaugos veiksmų programos
1973–1976	I-oji veiksmų programa
1977–1981	II-oji veiksmų programa
1982–1986	III-oji veiksmų programa
1987–1992	IV-oji veiksmų programa
1993–2000	V-oji veiksmų programa
2001–2010	VI-oji Veiksmų programa

Trečioji Aplinkos apsaugos veiksmų programa įtvirtino naujus pažangius princi-

pus aplinkosaugoje. Pirmą sykį programose buvo pažymima, kad būtina integruoti aplinkosauginius reikalavimus į įvairius vystymo sektorius, pvz. energetiką, transportą, žemės ūkį. Svarbus akcentas programoje buvo tai, kad prieš pradedant ūkinę veiklą būtina įvertinti poveikį aplinkai. Tai paskatino 1985 metais priimti direktyvą dėl poveikio aplinkai vertinimo.

Ketvirtoji Aplinkos apsaugos veiksmų programa buvo priimta 1986 metais. Tais metais buvo parengta ataskaita apie ekonominę plėtrą ir aplinkos apsaugą, parengusi dirvą 1992 metais vykusiai Jungtinių Tautų *Rio de Ženeiro konferencijai*. Ketvirtoji programa skyrėsi nuo ankstesniųjų ne tik forma ir turiniu, bet jau buvo sudaryta pagal naują koncepciją. Joje buvo siekiama įgyvendinti naujas iniciatyvas aplinkos apsaugos srityje, ypač biotechnologijos ir gamtos išteklių valdyme. Taip pat buvo siūlyta sustiprinti direktyvų įgyvendinimo kontrolę, skatinti aplinkosauginį švietimą ir informacijos prieinamumą.

Penktoji Aplinkos apsaugos veiksmų programa įsigalėjo susikūrus Europos Sąjungai. Jos devizas – *Subalansuotos plėtros link*. Ji skyrėsi nuo ankstesnių tuo, kad buvo susieta su darnia visuomenės plėtra, kuria siekiama subalansuoti ekonominius, socialinius ir aplinkos apsaugos aspektus, t.y., kad ateities kartoms būtų perduotos ne tik pažangios technologijos, bet švari ir saugi žmogaus aplinka. Be abejo, programa buvo parengta *Rio de Ženeiro konferencijos* dvasia. Programoje atkreiptas dėmesys į penkis sektorius, kurie Europos Sąjungos aplinkos apsaugos politikoje būtų svarbiausi. Tai pramonė, energetika, transportas, žemės ūkis ir turizmas. Programoje kiekvienam sektoriui numatyti tikslai. Didelis dėmesys skiriamas aplinkosaugos integracijai į šiuos prioritetinius sektorius.

Šeštoji Aplinkos apsaugos veiksmų pro-

grama ypatinga tuo, kad apibrėžia Europos Bendrijos (Sąjungos) aplinkosaugos politikos gaires dešimčiai metų. Jos devizas: *Mūsų ateitis – mūsų pasirinkimas*. Programoje ypač akcentuojama į šiuos keturis sektorius: klimato kaitą, unikalių gamtos išteklių ir biologinės įvairovės apsaugą, aplinką ir sveikatą. Šioje programoje ne tik išdėstyti tikslai, bet detalieji išvardyti veiksmai, susiję su šių sektorių problemų sprendimu, Europos Sąjungos teisinės bazės tobulinimu ir efektingumo stiprinimu, aplinkos apsaugos integravimu į įvairias ūkio šakas, rinkos santykių panaudojimu aplinkos būklės gerinimo reikmėms, visuomenės švietimu bei aplinkosauginių aspektų įdiegimu į teritorinį planavimą.

Europos Bendrijos aplinkos apsaugos teisės aktų apžvalga. Europos Bendrijos teisės aktai yra dviejų grupių: tai horizontalieji (bendrieji) ir vertikalieji (sektoriai) teisės aktai. Horizontaliaisiais teisės aktais vadinami tie, kurie susiję su bendraisiais aplinkos apsaugos valdymo sektoriais, o ne su pavieniais sektoriais. Vertikalieji teisės aktai yra skirti atskiriems sektoriams, pvz., atliekų tvarkymui, vandens, oro, gamtos apsaugai ir pan.

Horizontalieji teisės aktai yra šie:

- Direktyva dėl poveikio aplinkai vertinimo 85/337/EEC (su pakeitimais 97/11/EC);
- Direktyva dėl aplinkos apsaugos informacijos prieinamumo 90/313/EEC;
- Direktyva dėl ataskaitų apie aplinkos apsaugos direktyvų įgyvendinimą 91/692/EEC;
- Direktyva dėl tam tikrų planų ir programų poveikio aplinkai vertinimo 2001/42/EC;
- Reglamentas dėl Europos Aplinkos apsaugos agentūros EEC/1210/90
- Reglamentas dėl LIFE programos EEC/1973/92;
- Tarybos sprendimas 97/872/EC dėl Europos aplinkosauginių nevyriausybinių

organizacijų skatinimo veiksmų programos.

Direktyva dėl poveikio aplinkai vertinimo reikalauja prieš pradėdant ūkinę veiklą įvertinti poveikį aplinkai. Tiek *Orhus konvencija*, tiek *Direktyva dėl aplinkos apsaugos informacijos prieinamumo* įpareigoja valstybes teikti informaciją apie aplinką, sudaryti sąlygas visuomenei priimti sprendimus ir galimybę kreiptis į teismą aplinkosauginiais klausimais. *Direktyva dėl ataskaitų apie aplinkos apsaugos direktyvų įgyvendinimą* nustato reikalavimus šalims narėms teikti informaciją nustatytais laikotarpiais apie direktyvų reikalavimų įgyvendinimą.

Vertikalieji teisės aktai apima šiuos sektorius: atliekų tvarkymą, oro apsaugą, vandens apsaugą ir valdymą, gamtos ir biologinės įvairovės apsaugą, pramonės taršos kontrolę ir rizikos valdymą, chemines medžiagas, genetiškai modifikuotus organizmus, transporto priemonių ir mechanizmų keliamą triukšmą.

Dėl vietos stokos detalieji yra pristatomi tik poveikio aplinkai vertinimas, gamtos ir biologinės įvairovės apsaugos bei atliekų tvarkymo politika.

12.4. Poveikio aplinkai vertinimas

Poveikio aplinkai vertinimas (PAV) – planuojamos ūkinės veiklos galimo poveikio aplinkai nustatymo procesas. 2000 metais M. Raulinaičio bei kolegų iš Lietuvos ir Suomijos parengtas „Poveikio aplinkai vertinimo vadovas“ pateikė esminius šiuolaikinio PAV principus. Šis skyrelis parengtas remiantis šiame vadove pateikta medžiaga.

Poveikis aplinkai – numatomas pokytis aplinkoje, kurio priežastis yra ūkinė ar kitokia žmogaus veikla. Poveikis gali būti neigiamas ir teigiamas. Neigiamas poveikis – tai

PAV vertinimo proceso dalyviai.

Dalyviai	Funkcijos
1. Planuojamos ūkinės veiklos (PŪV) organizatorius (užsakovas)	Savo lėšomis atlieka numatytas PAV procedūras
2. PŪV organizatoriaus (užsakovo) įpareigotas PAV dokumentų rengėjas	Nustato, apibūdina ir įvertina PŪV galimą poveikį aplinkai, rengia PAV programą ir ataskaitą ir atlieka vertinimo kitas procedūras
3. Atsakinga institucija (Aplinkos ministerija ir regioniniai aplinkos apsaugos departamentai)	Koordinuoja PAV procesą, atlieka atranką, tvirtina PAV vertinimo programas, visuomenės pasiūlymus PAV ir ataskaitas, subjektų išvadas, priima sprendimus dėl PŪV, konsultuoja
4. PŪV PAV subjektai (valstybinės ir savivaldos institucijos – sveikatos, kultūros vertybių ir priešgaisrinė apsauga, ūkio plėtra)	Pagal savo kompetenciją nagrinėja PAV programas ir ataskaitas, teikia išvadas dėl PŪV galimybių
5. Visuomenė	Nustatyta tvarka teikia motyvuotus pasiūlymus dėl PŪV PAV ir veiklos galimo poveikio aplinkai

išdava bet kokios žmogaus veiklos, nukreiptos į aplinką, kuri trukdo, blogina ir ardo gamtinius procesus ir aplinkos komponentus. Teigiamas poveikis, arba aplinkotvarka – suplanuota žmogaus veikla ir priemonių sistema, nukreipta pagerinti (restauruoti, rehabilituoti ar palikti tame pačiame lygyje) gamtinius procesus ir komponentus.

Pagrindiniai PAV tikslai:

- Nustatyti, apibūdinti ir įvertinti galimą tiesioginį ir netiesioginį PŪV poveikį aplinkai ir užtikrinti, kad į aplinkos apsaugos aspektus bus atsižvelgta iki šios veiklos vykdymo pradžios.
- Pateikti su ūkine veikla susijusių informaciją visiems PAV proceso dalyviams.
- Optimizuoti planavimo ir projektavimo procesą, siekiant išvengti aplinkos apsaugos požiūriu nepalankių vietos parinkimo, techninių, statybos ir eksploatacijos sprendinių.
- Numatyti PŪV alternatyvas bei sudaryti prielaidas tinkamiausiai alternatyvai parinkti.
- Nustatyti, ar PŪV, įvertinus jos pobūdį ir poveikį aplinkai, leistina pasirinktoje vietoje.
- Numatyti galimo neigiamo poveikio išvengimo, sumažinimo bei atkūrimo ar

kompensavimo priemonės ir jų įgyvendinimą.

Poveikio aplinkai vertinimo procedūros (pagal M. Raulinaitį, 2000). Nors vienos Pasaulio šalies PAV sistema gali gerokai skirtis nuo kitos šalies (pvz., gali būti reikalaujamas papildomas poprojektinio monitoringo ir audito etapas, taikomi skirtingi atrankos būdai, visuomenės dalyvavimo metodai bei kt.), egzistuoja tarptautiniu mastu pripažinta bendra proceso struktūra, sudaryta iš vienas po kito sekančių etapų (12.1 pav.)

Atranka. Nuo pat PAV sistemos sukūrimo pradžios buvo vertinamas poveikis tik tos planuojamos ūkinės veiklos, kuri dėl savo pobūdžio, masto ar numatomos vietos ypatumų gali daryti reikšmingą poveikį aplinkai. Siekiant nustatyti, ar privaloma įvertinti konkrečios planuojamos ūkinės veiklos poveikį aplinkai, taikoma atrankos procedūra, užtikrinanti, kad poveikio aplinkai vertinimo nereikės atlikti tada, kai veikla yra nedidelės apimties ar negali sukelti reikšmingo neigiamo poveikio aplinkai. Tam sudaryti trijų rūšių sąrašai, kuriuose išvardyta veikla, kuriai PAV yra privalomas, o kuriai neprivalomas, ir veikla, kuri turi tam tikrus veiklos slenksčius, ir pagal tai yra įvertinama, ar reikalinga atlikti PAV.

Pagrindiniai planuojamos ūkinės veiklos atrankos tikslai:

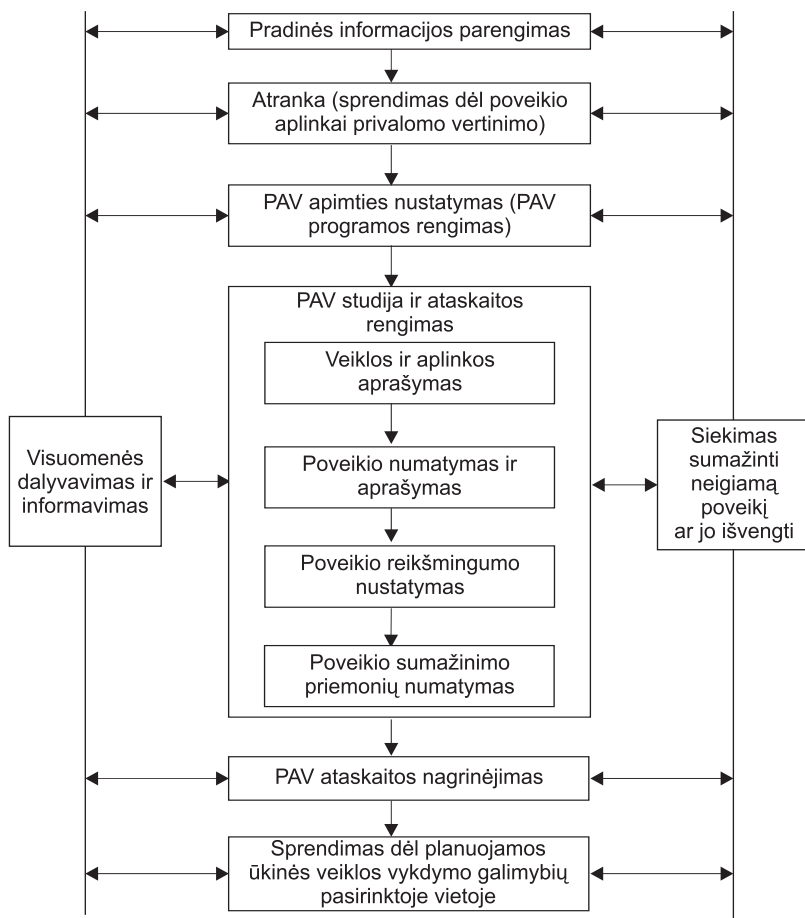
- ✓ nustatyti, ar privaloma atlikti konkrečios planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimą,
- ✓ užtikrinti, kad į aplinkos apsaugos aspektus bus atsižvelgiama ankstyviausio veiklos planavimo etape, ne tik taikant techninio pobūdžio poveikį mažinančias priemones, bet ir numatant kompleksines neigiamo poveikio prevencijos priemones.

Lietuvoje taikoma dviejų sąrašų ir atrankos slenkstinių dydžių ar kriterijų sistema. Abu šie sąrašai pateikti Lietuvos Respublikos

planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymo priedėliuose:

- 1) Planuojamos ūkinės veiklos, kurios poveikis aplinkai privalo būti vertinamas, rūšių sąrašas;
- 2) Planuojamos ūkinės veiklos, kuriai turi būti atliekama atranka dėl poveikio aplinkai privalomo vertinimo, rūšių sąrašas.

Planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo įstatymas taip pat numato galimybę atlikti atranką dėl poveikio aplinkai privalomo vertinimo ir tos planuojamos ūkinės veiklos, kuri neįrašyta į minėtus sąrašus, jei planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo proceso daly-



12.1 pav. Bendra poveikio aplinkai vertinimo proceso struktūra

viai to pareikalauja, o atsakinga institucija, atsižvelgdama į planuojamos ūkinės veiklos mastą, pobūdį ar vietos ypatumus, priima atitinkamą sprendimą.

Atlikus atranką yra nustatoma ta ūkinė veikla, kuriai PAV nereikalingas. Taip sutau-pomos lėšos ir laikas. Tai veiklai, kuriai yra reikalingas PAV, vertinimas atliekamas pagal nustatytą procedūrą.

Poveikio aplinkai vertinimo apimties nustatymas ir programos rengimas. Apimties nustatymas – tai PAV etapas, kai nustatoma, kas turėtų būti išsamiai išnagrinėta PAV ataskaitoje, t.y. koks planuojamos ūkinės veiklos poveikis yra reikšmingas. Iš daugybės su aplinkos apsauga susijusių aspektų atrenkami tie, kurie atrodo svarbūs PAV proceso dalyviams (įskaitant visuomenę), numatomas galimas tiesioginis ar netiesioginis poveikis bei alternatyvos, kurios bus nagrinėjamos PAV ataskaitoje, taip pat neigiamo reikšmingo poveikio sumažinimo ar išvengimo priemonės bei kt.

Šiame PAV etape taip pat nustatomas PAV ataskaitos turinys, numatoma, kokie metodai bus taikomi prognozuojant neigiamą poveikį bei kokie aplinkos komponentai turės būti aprašyti.

PAV apimties nustatymo (programos rengimo) tikslai:

- ✓ nustatyti planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo ataskaitos (toliau – ataskaita) turinį ir apimtį bei joje nagrinėjamus klausimus,
- ✓ užtikrinti, kad ataskaitoje bus išsamiai nagrinėjamas tik reikšmingas poveikis aplinkai ir bus pateikta informacija, būtina priimti motyvuotą sprendimą, ar planuojama ūkinė veikla, įvertinus jos pobūdį ir poveikį aplinkai, leistina pasirinktoje vietoje,
- ✓ skatinti neigiamo poveikio prevencijos ir

sumažinimo priemonių bei alternatyvių priemonių planavimą ir svarstymą anks-tyvojo veiklos planavimo metu,

- ✓ numatyti, kokie metodai bus taikomi planuojamos ūkinės veiklos poveikiui aplinkai prognozuoti, jo svarbai nustatyti bei įvertinti,
- ✓ palengvinti planuojamos ūkinės veiklos organizatoriui (užsakovui) tolesnes planavimo (projektavimo) procedūras, užtikrinti planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai vertinimo subjektų dalyvavimą ir jų išvadų pateikimą laiku.

PAV apimties nustatymo etapas labai svarbus dar ir dėl to, kad taip sumažėja PAV ataskaitos rengimo išlaidos – juk tolesnio vertinimo metu nagrinėjamas tik poveikis, kuris programos rengimo ir nagrinėjimo metu pripažintas svarbiu.

Jau minėta, kad labai svarbu užtikrinti visuomenės dalyvavimą šiame PAV etape. Valstybės institucijų atstovams ar užsakovui labai sunku patiems išsiaiškinti, koks poveikis yra reikšmingas visuomenės požiūriu. Vietos gyventojų nuomonė šiame PAV etape yra ypač svarbi, kai planuojama ūkinė veikla gali sukelti visuomenės nepasitenkinimą – tokiais atvejais galimi konfliktai sprendžiami pakankamai ankstyvo veiklos projektavimo etapo metu, taupant laiką ir lėšas.

Trumpai tariant, aiškus PAV apimties nustatymo etapas – pirmas ir nepaprastai svarbus žingsnis kokybiškam poveikio aplinkai vertinimui atlikti bei objektyviam sprendimui priimti.

Lietuvoje poveikio aplinkai vertinimo apimtis nustatoma PAV programos rengimo ir tvirtinimo metu. Programą rengia planuojamos ūkinės veiklos organizatorius (užsakovas) arba jo įpareigotas poveikio aplinkai vertinimo dokumentų rengėjas, remdamasis Planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplin-

kai vertinimo įstatymu bei vadovaudamasis Aplinkos ministerijos patvirtintais Poveikio aplinkai vertinimo programos ir ataskaitos rengimo nuostatais.

Poveikio aplinkai vertinimo studija ir ataskaitos rengimas. Poveikio aplinkai vertinimo studija – tai susistemintas galimo reikšmingo planuojamos ūkinės veiklos poveikio aplinkai nustatymas, prognozavimas ir apibūdinimas; jos rezultatai pateikiami PAV ataskaitoje.

Galima išskirti keletą pagrindinių užduočių, kurios atliekamos šio PAV etapo metu; visos jos trumpai apžvelgiamos kitose skyriaus dalyse:

- esamos aplinkos aprašymas;
- galimo poveikio identifikavimas ir prognozavimas, jo priežastys ir kilmė, išsamus poveikio analizavimas;
- poveikio reikšmingumo nustatymas (ar jis leistinas, ar privalo būti numatytos mažinančios bei kompensuojančios priemonės, bei kt.).

Parengta ataskaita yra svarstoma su visuomene ir atsižvelgus į motyvuotus visuomenės pasiūlymus teikiama atsakingai organizacijai priimti sprendimą.

Direktyva dėl tam tikrų planų ir programų poveikio aplinkai vertinimo. Ši direktyva vertina tik strateginius dokumentus, o poveikio aplinkai vertinimo direktyva – tik konkrečius projektus.

Direktyvos tikslai:

- Įvertinti planų ir programų (politikos) generuojamą ir veiklos alternatyvų poveikį aplinkai;
- Pagerinti besikaupiančio poveikio apimtį nustatymą ir vertinimą, ypač tokių planų ir programų, kurios iššaukia antrinę veiklą (vystymą), pvz., daug mažų projektų, kuriems PAV nereikalingas;

- Taikyti subalansuoto (darnaus) vystymo principus plačiu mastu, o ne atskiras poveikio aplinkai mažinimo priemones.

Trumpa direktyvos apžvalga pagal atskirus svarbiausius straipsnius:

2 (b) str. Poveikio aplinkai vertinimas reiškia ataskaitos parengimą, konsultacijas, ataskaitos svarstymą ir sprendimų priėmimą;

2 (d) str. Visuomenė reiškia vieną ar daugiau fizinių ar juridinių asmenį, o taip pat jų asociacijas, organizacijas ar grupes;

3 (7) str. Šalys narės (ŠN) turi užtikrinti, kad jų sprendimai dėl planų ir programų, kurioms pagal direktyvą yra reikalingas vertinimas, poveikio aplinkai vertinimo nedarymo, yra prieinami visuomenei;

4 (2) str. Direktyvos reikalavimai turi būti perkelti arba į egzistuojančias ŠN procedūras, arba naujas, sukurtas pagal direktyvos reikalavimus;

6 (1) str. Parengtas plano, programos ir PAV ataskaitos projektas turi būti prieinamas valstybinėms institucijoms ir visuomenei;

6 (2) str. Valstybinės institucijos ir visuomenė turi turėti efektyvią galimybę tinkamu laiku pareikšti savo nuomonę apie plano, programos ir ataskaitos projektus iki kol jie dar nėra patvirtinti;

6 (4) str. ŠN turi identifikuoti visuomenę, t.y. tokią, kuri gali būti ar tikėtina, kad bus paveikta, arba tokią, kuri domisi tuo, taip pat visuomenines aplinkosaugines ar besidominančias organizacijas;

7 (2) str. ŠN turi pateikti planų, programų ir ataskaitų kopijas kitoms ŠN, kurios nori dalyvauti konsultacijose iki jų patvirtinimo, ir ta veikla gali turėti tarpvalstybinį poveikį...;

9 (1) str. ŠN turi užtikrinti, kad būtų patvirtinti planai ir programos bei PAV ataskaitos;

12 (2) str. ŠN turi užtikrinti, kad PAV ataskaitos yra parengtos pakankamos kokybės ir atsižvelgiant į direktyvos reikalavimus, taip

pat jos turi bendrauti su ES Komisija imamų priemonių kokybei užtikrinti.

12.5. Europos Sąjungos gamtos ir biologinės įvairovės apsaugos politika

Gamtos apsaugos srityje galima išskirti 3 svarbiausius teisinius aktus: Natūralių buveinių ir laukinės augalijos bei gyvūnijos direktyva (92/43/EEC), neoficialiuose leidiniuose vadinama *Buveinių direktyva*; Laukinių paukščių išsaugojimo direktyva (79/409/EEC), vadinama *Paukščių direktyva*; bei Laukinės augalijos ir gyvūnijos rūšių apsaugos, reguliuojant jų prekybą, reglamentas (338/97/EC), vadinamas *Prekybos nykstančiomis rūšimis reglamentas*. Jų svarba yra labai didelė tarp kitų 300 ES teisės aktų. Visų pirma biologinės įvairovės apsauga yra vienas iš ES prioritetų. Kita vertus, jų įgyvendinimo kaštai yra didžiuliai. Kiti teisės aktai, pvz., *Ruonių jauniklių direktyva* (83/129/EEC), *Spąstų naudojimo reglamentas* (EEC/3254/90) ir pan., nėra tokie svarbūs, ir jų įgyvendinimo kaštai žymiai mažesni.

Buveinių direktyva tapo pagrindiniu Europos gyvūnijos ir augalijos bei jų buveinių apsaugos mechanizmu. Daugelis buveinių tipų ir gyvūnijos bei augalijos rūšių tapo retos ir nykstančios ES šalyse. Dėl to ir buvo 1992 m. priimta ši direktyva. Direktyva siekia užtikrinti buveinių tipų ir rūšių, pasirinktų kaip Europos bendrijos svarbos kategorijos, tinkamą (palankų) apsaugos statusą. Tai nustatoma, remiantis rūšių populiacijų dinamika ir pokyčių tendencijomis, rūšių ir buveinių natūralaus paplitimo tendencijomis, jų procentiniu santykiu su visos Europos rūšių gausa bei paplitimo plotu ir pan.

Tiek *Buveinių*, tiek *Paukščių direktyvos* tekstai nustato bendras apsaugos problemas, tuo tarpu jų priedai yra skirti konkrečiai ap-

saugos problemai. *Buveinių direktyvos* pirmas priedas išvardija tokias buveines, kurias reikia ypač saugoti ir steigti svarbias buveinių apsaugai teritorijas, antras – gyvūnų ir augalų rūšis, kurias reikia ypač saugoti ir steigti svarbias buveinių apsaugai teritorijas (dar vadinamas *Specialiomis saugomomis teritorijomis*). Trečias priedas nurodo, kokiais kriterijais reikia parinkti minėtas teritorijas. Ketvirtas priedas išvardija rūšis, kurias reikia saugoti, bet saugomų teritorijų steigti nebūtina. Penktame priede yra gyvūnų ir augalų rūšys, kurioms galima taikyti gausos reguliavimą. Šeštame priede išvardyti draudžiami gyvūnų naikinimo būdai ir priemonės. Dalis I priedo buveinių ir II priedo rūšių yra išskiriamos kaip prioritetiniai buveinių tipai ir prioritetinės rūšys (pažymėtos asterisko * ženklų). Jų apsaugai Europos Bendrija skiria ypatingą dėmesį, ir jų išsaugojimui yra keliami kur kas didesni reikalavimai iš ES šalių narių. Kitos rūšys ir buveinių tipai yra Europos svarbos, ir jų apsaugai yra keliami mažiau griežti reikalavimai.

Paukščių direktyvos pirmame priede išvardytos paukščių rūšys, kurioms reikia griežtos apsaugos ir joms yra būtina steigti svarbias paukščių apsaugai teritorijas. Antro priedo pirmoje dalyje įrašytas rūšis galima medžioti visoje Europos Sąjungoje, o antro priedo antroje dalyje išvardytas rūšis galima medžioti tose ES šalyse, kurios gauna Komisijos sutikimą. Trečio priedo pirmoje dalyje nurodytos rūšys, kurias galima pardavinėti, jeigu jos buvo legaliai sumedžiotos ar kitaip nužudytos; antroje dalyje išvardytas rūšis galima naudoti prekybai tik gavus Komisijos pritarimą. Ketvirtame priede išvardyti draudžiami medžioklės būdai ir priemonės, o penktame priede rekomenduojami moksliniai ir kiti darbai, kokie turėtų būti vykdomi direktyvos geresniam įgyvendinimui.

Stodamos į ES šalis pateikia Komisijai savo šalies derybinę poziciją. Joje yra nuro-

doma, kokių išimčių iš tam tikrų direktyvų priedų šalis nori įstojusi į ES. Pvz., Lietuva prašo išimties nesteigti specialių saugomų teritorijų vilkams ir bebrams (*Buveinių direktyvos* 2 priedas) ir leisti juos medžioti nesaugomose teritorijose. Lietuva taip pat prašo išimties nesteigti Svarbių paukščių apsaugai teritorijų baltiesiems gandrums ir paprastosioms medšarkėms (*Paukščių direktyvos* 1 priedas). Komisija, pasitekusi ekspertų komitetus ir darbo grupes, nusprendžia, ar suteikti šaliai prašomas išimtis. Įstojus į ES, šalis pati gali nuspręsti, kokių rūšių nebūtina saugoti, t.y. daryti išlygas (bet to negalima taikyti *Buveinių direktyvos* 1 (buveinėms) ir 2 priedo, *Paukščių direktyvos* 1 priedo rūšims). Šiuo atveju šalis informuoja Komisiją. Jei Komisija po kurio laiko pastebi, kad išlygos blogina rūšies būklę, šalis yra įpareigota sustabdyti išlygų taikymą. Šalis taip pat gali pasiūlyti, kad viena ar kita rūšis, nesanti direktyvų prieduose, gali būti įtraukta į jas papildomai. Pvz., Lietuva pasiūlė įtraukti juodkrūtį bėgiką į *Paukščių direktyvos* 1 priedą. Komisija sutinka priimti papildymus tik tuo atveju, jei jau esančios ES šalys tam neprieštarauja.

12.6. Europos Sąjungos atliekų tvarkymo politika

Atliekų tvarkymas yra svarbi Europos Sąjungos aplinkosaugos politikos dalis. Pagrindiniai atliekų tvarkymo politikos principai apibrėžti Bendrijos atliekų tvarkymo strategijoje. Detalesnį politikos įgyvendinimą reglamentuoja teisiniai aktai. Svarbiausieji atliekų tvarkymo principai ir reikalavimai yra išdėstyti *Bendrojoje atliekų direktyvoje* (75/442/EEB) bei ją papildančioje *Pavojingų atliekų direktyvoje* (91/689/EEB) bei *Atliekų pervežimo reglamente* (EC/259/93). Šiuos pagrindinius teisės aktus papildo ir detalizuoja kitos direktyvos, reglamentai ir sprendimai.

Bendroji atliekų direktyva (75/442/EEB su papildymais 91/156/EEB) reikalauja, kad valstybės narės imtųsi reikiamų priemonių užtikrinti, kad atliekos būtų panaudojamos arba šalinamos, nekeliant pavojaus žmonių sveikatai ir nenaudojant tokių procesų ir metodų, kurie gali pakenkti aplinkai. Šalys privalo drausti nekontroliuojamą atliekų šalinimą, sudaryti atliekų tvarkymo planus ir sukurti integruotą ir tinkamą atliekų šalinimo įrenginių tinklą. Joje yra pateikti terminų apibrėžimai ir atliekų apskaitos reikalavimai (atliekas privalo apskaityti atliekų surinkėjai, vežėjai ir tvarkytojai), registravimo reikalavimai. *Pavojingų atliekų direktyva* (91/698/EEB) nustato papildomas ir griežtesnes taisykles, reikalaujančias atsižvelgti į pavojingų atliekų ypatingas savybes. Reikalaujama, kad pavojingos atliekos būtų apskaitomos nuo jų susidarymo iki galutinio pašalinimo.

Atliekų tvarkymas Europos Sąjungoje remiasi šiais principais:

- **Atliekų tvarkymo hierarchija.** Atliekų tvarkyme svarbiausia reikia kreipti dėmesį į atliekų susidarymo ir pavojingumo mažinimą. Atliekas būtina panaudoti, perdirbti, deginti, o tų, kurių negalima panaudoti, reikia tinkamai laikyti sąvartynuose.
- **Atliekų tvarkymo įrenginių pakankumas** tiek Bendrijos, tiek atskirų šalių mastu. Šalys turi sukurti integruotą ir pakankamą atliekų šalinimo įrenginių sistemą, tenkinančią tiek atskirų šalių, tiek Bendrijos reikmes.
- **Geriausi prieinami gamybos būdai.** Atliekų tvarkymo įrenginiai turi būti eksploatuojami taip, kad aplinkos teršimas būtų minimalus ir jie būtų ekonomiški.
- **Artumo principas.** Atliekos turi būti apdorojamos ir šalinamos kiek galima arčiau jų susidarymo vietos.
- **Gamintojo atsakomybė.** Ūkio subjektai, pasibaigus produkcijos naudojimo

terminui ir kai ji tampa atliekomis, turi imtis atsakomybės už šių gaminių perdirbimą ar tinkamą atliekų tvarkymą.

Siekiant įgyvendinti šiuos principus buvo nustatyti konkretūs tikslai ir priemonės jiems pasiekti. Tai:

Bendras atliekų apibrėžimas visose ES šalyse. Bendrojoje atliekų direktyvoje apibrėžta, kad atliekos yra bet kurios medžiagos ir daiktai, kuriuos jų turėtojas šalina, nori pašalinti ar privalo pašalinti ir kurie priklauso atliekų kategorijoms, išvardytoms direktyvos 1 priede. Europos Komisijos sprendimu (94/3/EEB) 1994 m. buvo parengtas *Europos atliekų katalogas* (pagal direktyvos 1 priedą). *Pavojingų atliekų direktyvoje* yra duotas pavojingų atliekų apibrėžimas. Tais pačiais metais buvo parengtas *Pavojingų atliekų sąrašas* (sprendimas 94/904/EEB). 2000 metais buvo parengtas patikslintas *Europos atliekų sąrašas* (2000/532/EB).

Ekologiškai švaresnių gaminių tiekimo skatinimas. Naudojant ir gaminant ekologiškai švaresnius gaminius galima sumažinti neigiamą poveikį aplinkai ir žmonėms per visą gaminių gyvavimo ciklą. Taip yra taupiai naudojami gamtiniai ištekliai ir sumažinama tarša. Ekologiškai švaresnių gaminių gamybai skatinti atliekamas gaminių gyvavimo ciklo vertinimas ir aplinkosauginis ženklavimas. Gaminių gyvavimo ciklas yra vertinamas pradedant žaliavų naudojimu, gamybos procesu, vartojimu ir atliekų susidarymu bei jų panaudojimu. Gaminiais turi būti ekonomiškai panaudojami gamtiniai resursai, gaminant sunaudojamas mažesnis energijos kiekis ir sumažinama tarša, susidariusios atliekos yra panaudojamos, o nepanaudotos tinkamai saugomos. Aplinkosauginis ženklavimas suteikia vartotojui informaciją apie efektyvų išteklių ir energijos naudojimą per visą produkto gyvavimo ciklą.

Ekonominių svertų naudojimo skatinimas. Tokios ekonominės priemonės, kaip mokesčiai už atliekų susidarymą, pervežimą ir šalinimą, užstatai už gėrimų pakuotes ir pan., skatina mažinti atliekų susidarymą.

Tarptautinių atliekų pervežimų reguliavimas. Atliekų transportavimui (eksportui, importui) yra griežtos taisyklės tiek Europos Sąjungos viduje, tiek už jų ribų. Atliekos turi būti perdirbamos ar saugomos toje šalyje, kur susidaro, o ne transportuojamos į kitas šalis.

Vidaus rinkos aplinkosauginė politika. Atliekų transportavimas veikia vidaus rinką. Dėl to yra reikalaujama, kad atliekos būtų gabenamos į artimiausią atliekų šalinimo vietą, o jas galima eksportuoti tik tada, kai nėra galimybių toje šalyje jų perdirbti ar sutvarkyti laikymą.

12.7. Europos Sąjungos paramos fondų apžvalga

Europos Sąjungos paramos fondų apžvalga paruošta pagal C.Miller, M. Kettunen ir P. Torkler parengtą programos NATURA 2000 finansavimo metodinį vadovą. Europos Sąjungos (Europos Bendrijos) politikos įgyvendinimui yra būtina ne tik priimti tinkamus aplinkosauginius teisinius aktus, bet ir numatyti politikos įgyvendinimo mechanizmą. Svarbiausia yra reikalingų institucijų sukūrimas ir kvalifikuotų darbuotojų parinkimas bei lėšų skyrimas. Europos Sąjunga yra įsteigusi eilę fondų, kurie finansuoja aplinkosaugines programas ir projektus. Fondų veiklą reglamentuoja įvairūs reglamentai ir kiti teisiniai aktai. Svarbiausi antrajame programavimo laikotarpyje (2007–2013) yra šie: Europos žemės ūkio fondas kaimo plėtrai (EŽŪFKP), Europos žuvininkystės fondas (EŽF), Europos regioninės plėtros fondas (ERPF), Europos socialinis fondas (ESF) ir Sanglaudos fondas (SF). Remiantis Pasaulio

gamtos fondo (WWF) ir Europos Komisijos (E) 2006 metais parengta informacine knyga žemiau pateikiama trumpa minėtų fondų apžvalga, kur pagrindinis dėmesys skirtas gamtos apsaugai, ypač ES ekologinio tinklo *Natura 2000* tvarkymui.

Europos žemės ūkio fondas kaimo plėtrai. Fondo naudojimo veiklą reglamentuoja 2005 m. rugsėjo 20 d. Tarybos Reglamentas EB/1698/2005 dėl Europos žemės ūkio fondo kaimo plėtrai (EŽŪFKP) paramos kaimo plėtrai (Official Journal Nr. L 277/2 21.10.2005) bei Bendrijos strateginės gairės, skirtos kaimo plėtrai (Official Journal Nr. L55/20 25.02.2006).

Fondo tikslai. EŽŪFKP tikslai yra išdėstyti 4 straipsnyje.

Pagalba kaimo plėtrai turi prisidėti siekiant šių tikslų:

- gerinti žemės ūkio ir miškų ūkio konkurencingumą remiant restruktūrizavimą, plėtrą ir inovacijas;
- gerinti aplinką ir kraštovaizdį remiant žemės valdymą;
- gerinti gyvenimo kokybę ir skatinti ekonominės veiklos įvairinimą kaimo vietovėse;
- įgyvendinti Leader programą.

Programavimas. EŽŪFKP veiks pagal programavimo dokumentą, sudarytą 2007–2013 finansavimo metams. Šalių narių atsakingos institucijos privalo parengti *Nacionalinės strategijos planą* (NSP) ir *Kaimo plėtros programas* (KPP), kurios perkels Bendrijos lygmeniu nustatytus politikos prioritetus, išdėstytus Reglamente ir Strateginėse gairėse, į nacionalinį (regioninį) kontekstą. Dažniausiai bus nustatyti nacionaliniai ar regioniniai prioritetai, skirti specifinėms problemoms.

EŽŪFKP reglamentas nustato privalomas NSP ir KPP parengimo ir patvirtinimo procedūras ir jų privalomą turinį (struktūrą) (žr.

II ir III antraštes). Veiklos, neįtrauktos į NSP, neturėtų būti finansuojamos iš EŽŪFKP. EŽŪFKP įgyvendinimo taisyklės jau užbaigtos. Jos detaliau nustato, kaip šalys narės turėtų taikyti Reglamente Nr. 1698/2005 nurodytas priemones.

Finansavimas. EŽŪFKP yra struktūriškai apibrėžtas keturioms kaimo plėtros kryptims, o minimalios išlaidos kiekvienai kryptčiai skirstomos tokiais principais: šalys narės turi teisę paskirstyti išlaidas keturioms kryptims taip, kad būtų atsižvelgta į minimalius slenkstinius dydžius. *Leader* krypties paskirtis – integruotas žemės ūkio vystymas, o į ją įtraukiami visų kitų trijų kryptčių aspektai – tiek kartu, tiek atskirai (žr. lentelę). Pažymėtina, kad čia gali būti tam tikros konkurencijos tarp nacionalinių priemonių finansavimo, ir tai susiję su bendru ES biudžetu 2007–2013 metams, todėl suinteresuotos institucijos turėtų daryti poveikį atsakingoms institucijoms, kad kuo daugiau aplinkosauginių priemonių būtų įtraukta į *Nacionalinį strategijos planą* ir *Kaimo plėtros programas*. Žemės savininkai ir valstybės institucijos vienodai turėtų siekti pasinaudoti EŽŪFKP galimybėmis vykdyti integruotą kaimo plėtrą. Taigi reikia parinkti grupes priemonių, kuriomis būtų galima laimėti paramą ne tik aplinkos apsaugai, bet ir biologinės įvairovės, ypač *Natura 2000* vietovių, tvarkymui.

Kreiptinas dėmesys į *Leader* programą, kuri sudaro ketvirtąją naujo EŽŪFKP kryptį ir prisidės prie pirmųjų trijų kryptčių prioritetų įgyvendinimo (t.y. skatinant konkurencingumą, gerinant aplinką ir kraštovaizdį bei gyvenimo kokybę ir įvairinant ekonominę veiklą kaimo vietovėse), taip pat skatinant didėjančią kaimo plėtrą ir sustiprinant regioninį valdymą. Apie 5% EŽŪFKP lėšų bus skirta šiai *Leader* kryptčiai.

Leader grindžiama teritoriškai siekiant kuo geriau panaudoti esamus išteklius. Viešojo ir privataus sektoriaus bendrovės, vadi-

namos vietinėmis veiklos grupėmis, nustato plėtros reikmes vietos kaimo bendrijose. Tada jos išdėstomos plėtros plane. *Leader* finansavimas padeda šioms vietinėms darbo grupėms, paremdamas nedidelę plėtrą bei pažangius projektus, kurie atitinka darnios vietos plėtros reikmes. *Leader* remia bendradarbiavimą tarp vietinės veiklos grupių skirtingose Europos šalyse per jungtinius (bendrus) projektus bei skatindama kurti regioninius, nacionalinius bei ES lygio tinklus.

Europos žuvininkystės fondas. Tikslai. Europos žuvininkystės fondo (EŽF) tikslai yra šie:

- remti Bendrąją žuvininkystės politiką (BŽP);
- skatinti aplinkos ir gamtos išteklių apsaugą ir gerinimą, kai tai susiję su žuvininkystės sektoriumi;
- skatinti darnų vystymąsi ir gerinti gyvenimo kokybę rajonuose, kuriuose plėtojama žuvininkystės sektoriaus veikla.

Programavimas. EŽF veiks pagal programavimo dokumentą, sudarytą 2007–2013 finansavimo metams. Iš šalių narių atsakingų institucijų bus pareikalauta parengti ir patvirtinti *Nacionalinį strateginį planą* (NSP) žuvininkystės sektoriui pagal BŽP bei *Nacionalinę veiksmų programą* (NVP), detalizuosiančią, kaip bus panaudojami EŽF pinigai pagal NSP.

Pateikiamas EŽF reglamentas nustato reikalaujamą NSP parengimo ir patvirtinimo procedūrą bei jo turinį (struktūrą). NVP yra konkretnė ir labiau orientuota nei NSP ir nustatys, kaip šalys narės ketina naudoti EŽF lėšas. Todėl jos turės susikurti sistemą, kaip įgyvendinti politikas ir prioritetus, kurie bus kofinansuojami iš EŽF. Taigi, jeigu veikla nėra numatyta NVP, tai ji neturi būti finansuojama iš EŽF.

Europos regioninės plėtros fondas (ERPF),

Europos socialinis fondas (ESF) ir Sanglaudos fondas (SF). Sanglaudos politikos pagrindinis tikslas – remti realią konvergenciją (suartėjimą) ir sumažinti socialinius, ekonominius ir teritorinius skirtingumus. Tai yra vykdoma kofinansuojant investicijas ir kitas priemones silpniau išsivysčiusiose Sąjungos šalyse, regionuose ir teritorijose. 2007–2013 metais bus koncentruojamasi į atnaujintą Lisabonos darbotvarkę ir į investicijų, kurios yra ypač tinkamos vystymuisi, būtent tyrimai ir inovacijos, fizinė infrastruktūra, ekologiškos technologijos, žmonių kapitalas ir žinios, kategorijas. *Bendrijos strateginės gairės* (BSG) apima gamtos ir rūšių apsaugą pagal aplinkosaugos teisę.

Siūlomas *Bendrasis ERPF, ESF ir Sanglaudos fondų reglamentas* apibrėžia bendruosius principus, taisykles ir standartus, skirtus visų šių trijų fondų įgyvendinimui. Konkretesnės nuostatos dėl kiekvieno šių fondų papildomai išdėstytos trijuose atskiruose reglamentuose.

Komisija 2007–2013 metų programavimo laikotarpiui pasiūlė gana svarbų supaprastinimą. Sanglaudos politika apims tris fondus: ERPF, ESF ir SF bei tris tikslus: 1. *Konvergencija*, finansuojamas ERPF, ESF ir SF; 2. *Regionų konkurencingumas ir užimtumas*, finansuojamas ERPF ir ESF; 3. *Europos teritorijų bendradarbiavimas*, finansuojamas ERPF. Konvergencijos regionai yra tie, kur BVP vienam gyventojui yra mažesnis negu 75% ES vidurkio. Visi kiti regionai yra potencialūs 2 tikslo kandidatai.

Europos regioninės plėtros fondas (ERPF). Tikslai:

- prisidėti stiprinant ekonominę, socialinę ir teritorinę sanglaudą Europos Sąjungoje, mažinant regionų išsivystymo skirtingumus ir paremiant regionų ekonomikos struktūrų plėtojamą bei regioninės ekonomikos sureguliojamą. Trumpai tariant,

ERPF turi stiprinti konkurencingumą ir labiau skatinti naujoves, kurti nuolatinės darbo vietas bei skatinti aplinkos apsaugą. ERPF nukreipia savo paramą į tematinius prioritetus, kurie atspindi ES Sanglaudos politikos tikslus (ERPF reglamento 4–6 straipsniai). Bendrąja prasme, ERPF prisideda prie įvairių regioninės plėtros iniciatyvų (pvz., investicijų į gamybą ir infrastruktūrą) finansavimo.

Programavimas. ERPF veikia pagal programavimo dokumentą, sudarytą 2007–2013 finansavimo metams. Apskritai, strateginių krypčių ir programavimo dokumento nustatymas *Struktūriniams* ir *Sanglaudos fondams* vyks trim etapais: 1) Europos Taryba patvirtins Komisijos pasiūlytas Bendrijos strategines gaires, skirtas finansavimui; 2) šalys narės sukurs *Nacionalines strategines rekomendacijas* (NSR), kurios nustatys strategiją (su temomis ir teritoriniais prioritetais), kaip prisidėti siekiant Bendrijos tikslų; 3) šalys narės parengs *Veiklų programas* (VP), kurios apibrėš konkrečias veiklas pagal ERPF (taip pat pagal ESF ir *Sanglaudos fondą*) šalių narių lygmeniu. NSR ir VP turi būti parengtos laikotarpiui nuo 2007 m. sausio 1 d. iki 2013 m. gruodžio 31 d. Abi pateikiamos tvirtinti Komisijai. *Veiklos programos* nustatys, kaip šalys narės ketina panaudoti ERPF lėšas. Todėl jos apibrėš ir sistemą, skirtą įgyvendinti politikas ir prioritetus, kurie bus kofinansuojami iš fondo. Taigi veiklos, jeigu nėra įtrauktos į *Veiklos programas*, neturi būti finansuojamos iš ERPF.

Europos socialinis fondas (ESF). Tikslai:

- remti politikas ir prioritetus, skirtus sumažinti nedarbą, pagerinti darbo kokybę ir produktyvumą;
- skatinti socialinę integraciją bei sanglaudą (Europos užimtumo strategija (EUS)). Apskritai, ESF turėtų atsižvelgti į Bendri-

jos tikslus dėl socialinės integracijos, mokyimo ir švietimo bei moterų ir vyrų lygių galimybių. ESF nukreipia savo paramą į teminius prioritetus, kurie atspindi ES *Sanglaudos politikos tikslus* (ESF taisyklių 3 straipsnis).

Programavimas. ESF veiks pagal programavimo principą, sudarytą 2007–2013 finansavimo metams. *Struktūrinių fondų* ir *Sanglaudos fondo* strateginių krypčių ir programavimo principų nustatymas vyks trim etapais: 1) Europos Taryba sukurs *Bendrijos strategines gaires* finansavimui, 2) šalys narės sukurs *Nacionalines strategines rekomendacijas* (NSR), kurios nustatys strategiją, kaip prisidėti siekiant Bendrijos tikslų; 3) šalys narės parengs *Veiksmų programas*, kurios apibrėš konkrečias veiklas pagal ESF (taip pat kaip ir pagal ERPF ir *Sanglaudos fondą*) šalių narių lygmeniu. NSR ir veiksmų programos apims laikotarpį nuo 2007 m. sausio 1 d. iki 2013 m. gruodžio 31 d.

ESF veiksmų programos atspindės strateginius pasirinkimus ir prioritetus, todėl bus ribota apimtis veiklų, kurias galima įtraukti į detalų sąrašą. Tačiau bus įmanoma aplinkos prioritetus įtraukti į programas, susijusias su teritorijomis, kurios gali paremti *Natura 2000* įgyvendinimą (pvz., šalies narės administravimo, susijusio su aplinkos tvarkymu, reforma).

Sanglaudos fondas. Tikslai. Sanglaudos fondo parama turėtų būti teikiama:

- Sprendime (EB) Nr. 1692/96/EK apibrėžtų transeuropinių transporto tinklų, ypač visai Europai svarbių projektų, įgyvendinimui; stojimo sutarties 174 straipsnyje nustatytų tikslų, susijusių su Bendrijos prioritetais aplinkos apsaugos srityje, vykdymui;
- teritorijoms, kuriose vykdomi su darniu vystymusi arba su aplinkosauga susiję projektai, pvz., energijos efektyvumo arba atsinaujinančiųjų energijos šalti-

nių, bei projektai, susiję su geležinkelių, vidaus vandenių kelių ir jūrų transporto tinklais, nepriklausančiais transeuropiniams transporto tinklams, taip pat įvairūs transporto tinklų tarpusavio suderinamumo, kelių ir oro transporto srautų reguliavimo, naujų ekologiškų viešojo transporto sistemų diegimo miestuose projektai.

Programavimas. Sanglaudos fondas veikia pagal programavimo principą, sudarytą 2007–2013 finansavimo metams. Šalių narių programavimas *Struktūriniais fondais* ir *Sanglaudos fondui* vyks dviem etapais: 1) šalys narės sukurs *Nacionalines strategines rekomendacijas* (NSR), kurios nustatys daromos plėtros strategiją ir kaip prisidėti siekiant Bendrijos tikslų; 2) šalys narės parengs *Veiksmų programas* (VP), kurios apibrėš susijusių prioritetų, kuriuos pasiekti padės fondas, sąrašą. Kiekviena prioritentinė kryptis apima grupę veiksmų. NSR ir VP apims laikotarpį nuo 2007 m. sausio 1 d. iki 2013 m. gruodžio 31 d. *Veiksmų programas* tvirtina Europos Komisija.

Veiklos, neįtrauktos į prioritetines kryptis, neturėtų būti finansuojamos.

Europos Parlamento ir Tarybos reglamentas dėl finansinio instrumento aplinkosaugai (LIFE+). 2004 m. rugsėjį Komisija patvirtino pasiūlymus *LIFE+ reglamentui*, kurie galios 2007–2013 metais ir pakeis ankstesnės LIFE III programos pasiūlymus. Dėl LIFE+ pasiūlymų vis dar diskutuojama Europos institucijose, ir reglamento tekstas dar nebuvo baigtas 2006 metais. Yra pateikiama trumpa analizė, kuri remiasi kompromisiniais pasiūlymais, pateiktais dokumente Nr. 15375/05. LIFE+ bus sudarytas iš 3 komponentų: *LIFE+ gamta ir bioįvairovė*, *LIFE+ aplinkos politika ir valdymas*, *LIFE+ informacija ir ryšiai*.

LIFE+ gamta ir bioįvairovė komponento

konkretūs tikslai yra išdėstyti 4 straipsnyje:

- prisidėti prie Bendrijos politikos ir gamtos bei biologinės įvairovės teisės aktų [...] ir remti tolesnį Natura 2000 teritorijų tinklo, įskaitant pakrančių ir jūrinių teritorijų buveines ir rūšis, plėtrą ir įgyvendinimą;
- prisidėti prie žinių bazės konsolidavimo Bendrijos gamtos ir biologinės įvairovės politikos ir teisės aktų rengimui, įvertinimui, stebėsenai ir vertinimui;
- remti gamtos ir biologinės įvairovės bei juos veikiančių veiksnių, sunkumų ir reagavimo į juos politikos įgyvendinimo būdų ir stebėsenos bei įvertinimo metodų kūrimą ir įgyvendinimą, ypač su biologinės įvairovės netekčių sustabdymu Bendrijoje iki 2010 metų susijusius metodus;
- teikti paramą geresniam aplinkosaugos valdymui, plėsti suinteresuotų subjektų, įskaitant nevyriausybinės organizacijas, dalyvavimą konsultuojantis dėl gamtos ir biologinės įvairovės politikos bei teisės aktų ir juos įgyvendinant.

Programavimas. LIFE+ fondas veiks programavimo principu. Komisija parengs daugiametės strateginės programos 2007–2010 ir 2011–2013 metams. Jos apibrėš Bendrijos finansavimo pagrindinius tikslus, prioritetines veiklų sritis, priemonių rūšis ir numatomus rezultatus. Strateginės programos apims lėšų paskirstymą tarp šalių narių ir nurodys biudžeto dalis, kurios bus valdomos tiesiogiai centralizuotai ir kurių valdymas bus deleguotas. Neperžengdamos šių daugiametinių strateginių programų sistemos ribų šalys narės kasmet pateiks Komisijai nacionalinių metinių darbo programų projektus. Reikavimai šioms darbų programoms yra nurodyti 6 straipsnyje.

Atmetimas dėl neatitikimo. LIFE+ teksto 10 straipsnis sako: „Pagal šį reglamentą nefi-

nansuojamos tos priemonės, kurios atitinka kitų Bendrijos finansinių instrumentų finansavimo reikalavimus, įskaitant *Europos regioninės plėtros fondą, Europos socialinį fondą, Sanglaudos fondą, Europos žemės ūkio fondą kaimo plėtrai, Bendrąją konkurencingumo ir inovacijų programą, Europos žuvininkystės fondą ir Septintąją bendrąją mokslinių tyrimų programą...*“ Taigi LIFE+ negali būti naudojamas finansuoti veiklas, kurios tinkamos remti iš kitų ES fondų, aptartų šiame vadove.

Pagrindiniai LIFE+ reglamento straipsniai, susiję su Natura 2000 ekologiniu tinklu. Pagrindinis su Natura 2000 tinklu susijęs LIFE+ reglamento straipsnis yra Nr. 3, kuris nusako priemonių ir projektų, finansuojamų pagal reglamentą, atitikimo kriterijus.

Pagal 6 straipsnio 1 dalį parengtose daugiametėse strateginėse programose ir pagal 6 straipsnio 5 dalį priimtose nacionalinėse metinėse darbo programose numatytos priemonės bei pagal tas programas įgyvendinami projektai turi atitikti toliau nurodytus kriterijus:

- atitikti Bendrijos interesus, ženkliai prisidėti prie 1 straipsnio 2 dalyje nurodyto bendro LIFE+ tikslo pasiekimo;
- būti suderinti techniniu ir finansiniu požiūriu, realiai įgyvendinami bei ekonomiškai.

Be to, siekiant užtikrinti Europos pridėtinę vertę ir išvengti pasikartojančios veiklos finansavimo, nacionalinėse metinėse darbo programose numatytos priemonės bei pagal tas programas įgyvendinami projektai turi atitikti bent vieną iš toliau nurodytų kriterijų:

- geriausios praktikos priemonės ir projektai arba demonstracinės priemonės ir projektai, skirti įgyvendinti 1979 m. balandžio 2 d. Tarybos Direktyvą 79/409/EEB dėl laukinių paukščių apsaugos arba

Tarybos Direktyvą 92/43/EEB dėl natūralių buveinių ir laukinės faunos bei floros apsaugos;

- inovacinės priemonės ir projektai arba demonstracinės priemonės ir projektai, susiję su Bendrijos aplinkosaugos tikslais, įskaitant geriausios praktikos metodus, pažangios patirties ar technologijų vystymą ar skleidimą; arba informuotumo didinimo kampanijos ir specialus pareigūnų, dalyvaujančių gaisrų prevencijos veikloje, mokymas;
- priemonės ir projektai, skirti Bendrijos tikslų, susijusių su įvairiapuse, suderinta, išsamia ir ilgalaike miškų ir aplinkos sąveikos stebėsenai, plėtrai ir įgyvendinimui.

Taip pat labai svarbus yra 10 straipsnis, nusakantis atitikimo kriterijus (aptartas prieš tai).

Septintoji bendroji mokslinių tyrimų programa (BMTP7). Pagal Komisijos pasiūlymus *Sprendimui dėl Europos Bendrijos Septintosios bendrosios programos, skirtos tyrimams, technologijų vystymuisi ir parodomosioms veikloms (2007–2013) (COM(2005) 119).*

Tikslai. Septintoji bendroji mokslinių tyrimų programa (BMTP7) nustato:

- Bendrijos prioritetus ir veiklas, susijusias su tyrimais ir technologiniu vystymusi 2007 m. sausio 1 d. – 2013 m. gruodžio 31 d. laikotarpiui. BMTP7 tikslai iš esmės skirti paremti Lisabonos susitarimo tikslus per Bendrijos finansuojamus tyrimus.

Tarp kitų dalykų, BMTP7 parems tarptautinius tam tikrų temų tyrimus, pvz., aplinkos (*Sprendimo* 2 straipsnis). Pagrindinės aplinkos temos pagal BMTP7 yra šios: 1) klimato, ekologijos, sausumos ir vandenynų sistemų kaitos prognozės, 2) monitoringo įranga ir technologijos, neigiamo poveikio

aplinkai (tarp jų ir sveikatai) prevencija ir sumažinimas, 3) natūralios ir žmogaus sukurtos aplinkos išsaugojimas.

Programavimas. BMTP7 apims tarpsnį nuo 2007 sausio 1 d. iki 2013 m. gruodžio 31 d. Individualių projektinių pasiūlymų pagal BMTP7 rengimas prasideda mokslininkų pakvietimu pateikti projektinius pasiūlymus specifinėms Bendrosios programos sritims. Kvietimai teikti pasiūlymus bus skelbiami Europos Sąjungos *Oficialiajame teisės žurnale*, o daugiau informacijos galima rasti Europos Komisijos bei Cordis tinklalapiuose.

Literatūra

Barnes P. M., Barnes I. G. (1999). *Environmental Policy in the European Union*. Edward Elgar.

Bubnienė R., Dudutytė Z., Greimas E., Kubilius I.,

Lenkaitis R., Mačiūnaitė J., Raulinaitis M., Semėnienė D., Taločkaitė E., Vainius L., Valatka S. (2002). *Europos Sąjungos aplinkos apsaugos politika ir jos įgyvendinimas Lietuvoje*. Vilnius.

Elliott L. (2000). *The Global Politics of the Environment*. Edward Elgar.

EU Environmental Policy Handbook (2005). Scheuer S.(eds.). European Environmental Bureau.

Kiss A., Shelton D. (1999). *Manual of European Environmental Law*. Cambridge University Press.

Miller C., Kettunen M., Torkler P. (2006). *NATURA 2000 finansavimas*. Metodinis vadovas. Europos Komisija/ Pasaulio gamtos fondas.

Ragulskytė-Markovienė R. (2005). *Aplinkos teisė*. Vilnius.

Raulinaitis M., Kontio P., Kosola M. L., Soderman T. (2006). *Planų ir programų strateginio pasekmių aplinkai vertinimo vadovas*. LR Aplinkos ministerija, Suomijos aplinkos institutas.

Raulinaitis M., Auglys V., Balčiūnaitė I., Laurutėnaitė B., Revoldienė R., Kontio P., Punkari M. (2000). *Poveikio aplinkai vertinimo vadovas*. LR Aplinkos ministerija, Suomijos aplinkos institutas.

Swanson T., Johnston S. (1999). *Global Environmental Problems and International Agreements*. Edward Elgar.

Informacija apie autorius

Dr. Aušrys Balevičius (gim. 1973 m.)

Mokslinių tyrimų sritys: hidrobiologija, hidro-
botanika

El. paštas: ausrys@evservices.lt

Prof. dr. Arūnas Bukantis (gim. 1961 m.)

Vilniaus universiteto Hidrologijos ir klimato-
logijos katedros vedėjas, profesorius

Mokslinių tyrimų kryptys: Lietuvos klimato
istorija, klimato svyravimai, klimato kaitos po-
litika

El. paštas: arunas.bukantis@gf.vu.lt

Doc. dr. Egidijus Bukelskis (gim. 1957 m.)

Vilniaus universiteto docentas

Mokslinių tyrimų sritys: hidrobiologija, ichtio-
logija

El. paštas: egidijus.bukelskis@gf.vu.lt

Dr. Gytautas Ignatavičius (gim. 1966 m.)

Vilniaus universiteto docentas

Mokslinių tyrimų sritys: ekologinė rizika, eko-
loginės situacijos optimizavimas atropogeninės
veiklos poveikyje

El. paštas: gytisi@takas.lt

Doc. Dr. Ernestas Kutorga (gim. 1961 m.)

Vilniaus universiteto docentas

Mokslinių tyrimų sritys: grybų įvairovė, ekolo-
gija ir apsauga

El. paštas: ernestas.kutorga@gf.vu.lt

Doc. dr. Pranas Mierauskas (gim. 1957 m.)

Vilniaus universiteto docentas

Mokslinių tyrimų sritys: ekologinis vertinimas,
aplinkosaugos planavimas

El. paštas: pranas.mierauskas@gf.vu.lt

Doc. dr. Egidijus Rimkus (gim. 1969 m.)

Vilniaus universiteto docentas

Mokslinių tyrimų sritys: klimato svyravimai ir
kaita, taikomoji meteorologija

El. paštas: egidijus.rimkus@gf.vu.lt

Dr. Jonė Rukšėnienė (gim. 1959 m.)

Vilniaus universiteto docentė

Mokslinių tyrimų sritys: grybų įvairovė ir eko-
logija, Lietuvos botanikos istorija

El. paštas: jone.rukseniene@gf.vu.lt

Doc. dr. Stanislovas Sinkevičius (gim. 1952 m.)

Vilniaus universiteto Ekologijos ir aplinkoty-
ros centro vedėjas, docentas

Mokslinių tyrimų sritys: biologinės įvairovės
apsaugos problemos, sinergetinis taršos povei-
kis paukščių populiacijoms, pelkių ekosistemų
būklė

El. paštas: stasys.sinkevicius@gf.vu.lt

Doc. dr. Gintautas Stankūnavičius (gim. 1965 m.)

Vilniaus universiteto docentas

Mokslinių tyrimų sritys: sinoptinė meteorolo-
gija, klimato kaita, nuotoliniai metodai

El. paštas: gintautas.stankunavicius@gf.vu.lt

Doc. dr. Gintaras Valiuskevičius (gim. 1966 m.)

Vilniaus universiteto docentas

Mokslinių tyrimų sritys: Ežerų ir upių hidrolo-
gija, hidrologinių matavimų metodika

El. paštas: gintaras.valiuskevicius@gf.vu.lt

Doc. dr. Petras Zemlys (gim. 1956 m.)

Klaipėdos universiteto docentas

Mokslinių tyrimų sritys: ekologija, vandens
ekosistemų modeliavimas

El. paštas: petras.zemlys@ku.lt

Prof. habil. dr. Rimas Petras Žaromskis (gim. 1944 m.)

Vilniaus universiteto profesorius

Mokslinių tyrimų sritys: krantotvarka, kranto
zonos litodinamika ir sedimentacija, akvaland-
šaftų struktūra

El. paštas: rimas.zaromskis@gf.vu.lt