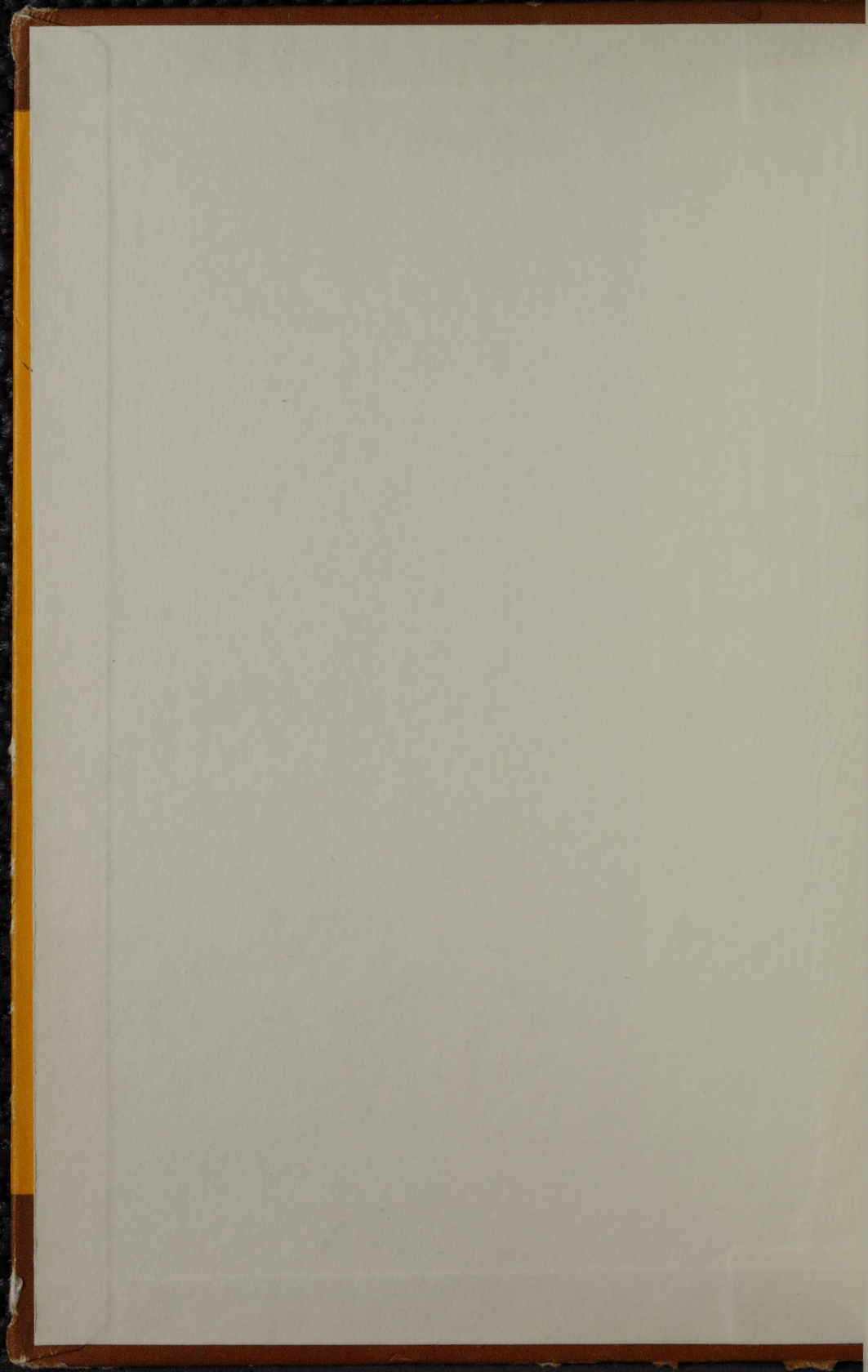
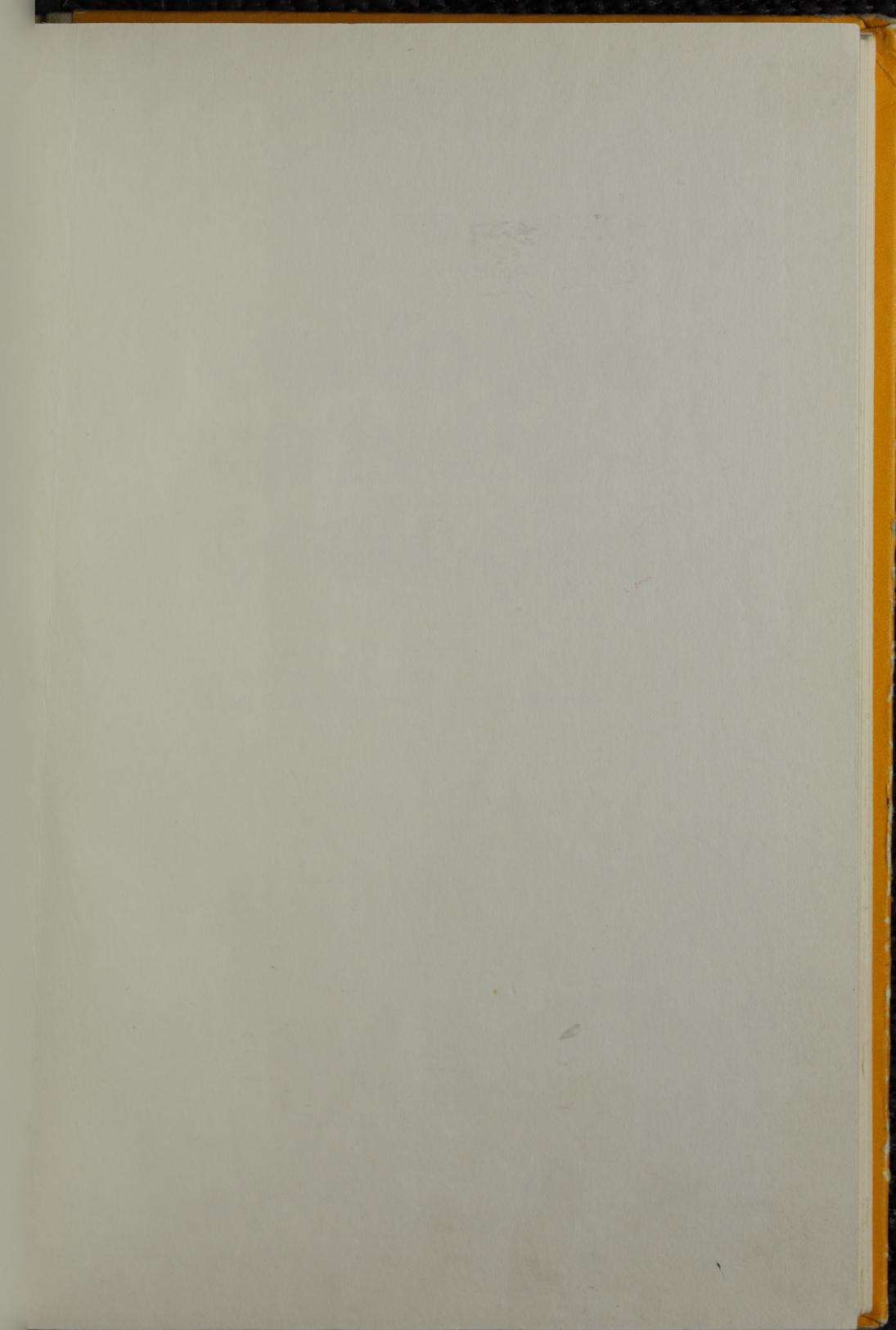
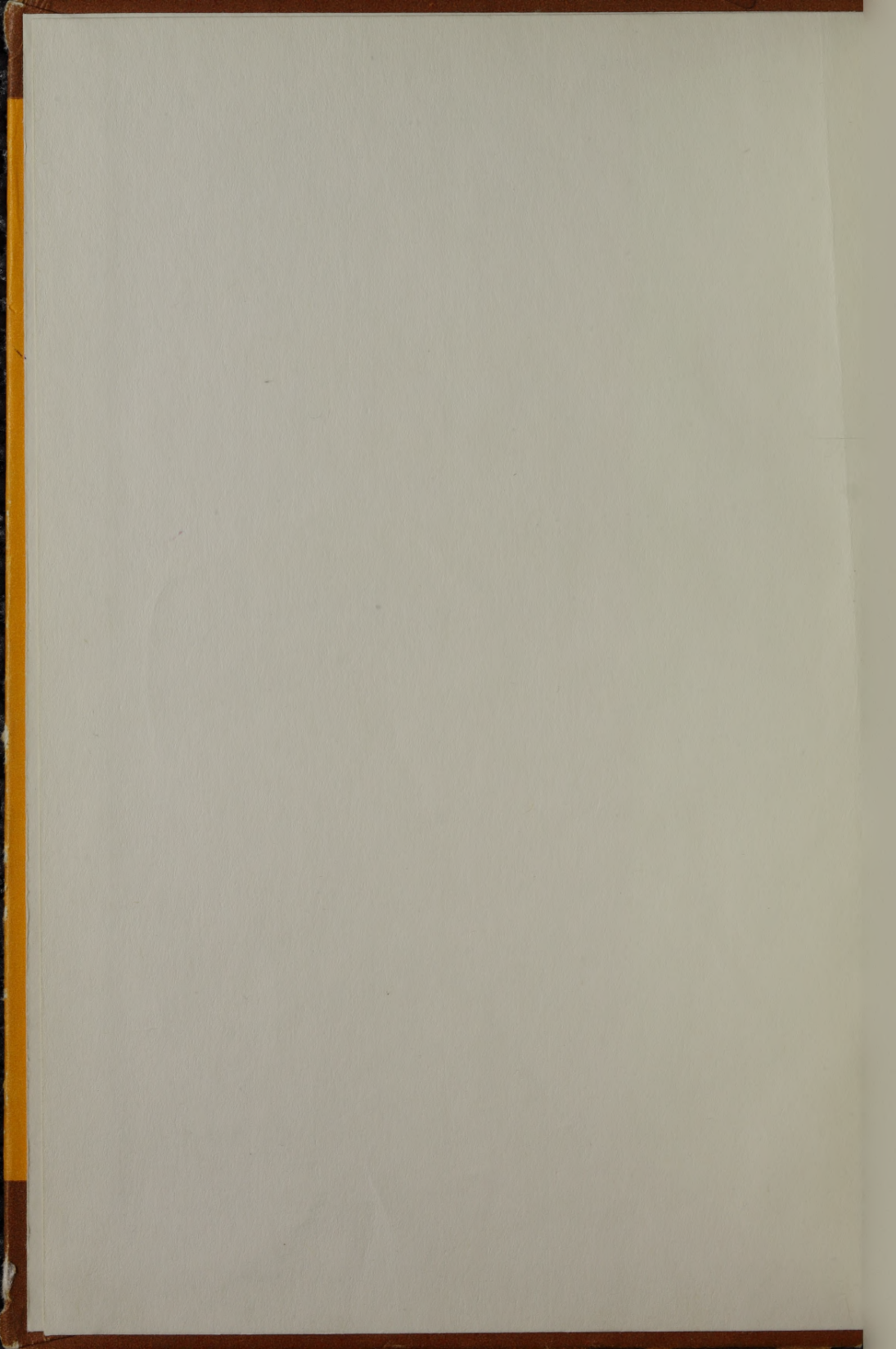


K. BAMBERGS

**Geoloģija
un hidro-
ģeoloģija**







94-4
L 24

L
5

K. BAMBERGS

Ģeoloģija un hidro- ģeoloģija

Mācību līdzeklis Latvijas
Lauksaimniecības universitātes studentiem



RĪGA «ZVAIGZNE» 1993

26.3z 73
Ba 442

Latvijas Nacionālā
BIBLIOTĒKA

94-2.246

0304044940

K. BAMBERGS

Ģeoloģija — orbi un Ģeoloģija

Latvijas Nacionālā bibliotēka
Latvijas Universitātes studentu
bibliotēka

Recenzents Astrīds Freimanis

Redaktors: G. Ansone un I. Kindzule

Grāmata izgatavota tipogrāfijā «Rota»



ISBN 5—405—00826—5

© Kārlis Bambergs, 1993

PRIEKŠVārds

Šī grāmata satur mācību materiālu un svarīgākos metodiskos norādījumus, kas būtu jāapgūst Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauku inženieru fakultātes, Lauksaimniecības fakultātes un Mežsaimniecības fakultātes studentiem. «Ģeoloģija un hidroģeoloģija» ir mācību līdzeklis augstskolu studentiem, bet to var izmantot arī ģeogrāfijas un dabas zinātņu pasniedzēji skolās, tehnikumos, kā arī speciālisti, kuri strādā meliorācijā, ūdensapgādē, balneoloģijā, celtniecībā, būvmateriālu rūpniecībā, dabas aizsardzībā, novadpētniecībā un citur. Vielas izklāstā ievērots reģionālais princips, jo grāmata paredzēta galvenokārt Latvijas Republikas speciālistiem.

Ir apskatīti jautājumi par Zemes uzbūvi, veidošanos, ģeohronoloģiju, ģeoloģiskiem procesiem, iežu mehāniskām un hidrofizikālām īpašībām, pazemes ūdeņu ģenēzi, sastāvu, klasifikāciju, to kustības likumībām, pazemes ūdens svarīgākiem veidiem un resursiem, kā arī par hidroģeoloģisko un inženierģeoloģisko izpēti, kas saistīta ar hidromelioratoru un celtnieku darbu lauksaimniecībā. Lai atvieglotu materiāla apguvi, pielikumā pievienota Latvijas ģeoloģiskā karte, hidroģeoloģiskā karte.

94-2-46
030404940

PIRKIVÄÄRÖ

Si grāmata satur mācību materiālu un svarīgākos metodiskos norādījumus, kas būtu jāapgūst Latvijas Lauksaimniecības universitātes Lauku inženieru fakultātes, Lauksaimniecības fakultātes un Mežsaimniecības fakultātes studentiem. «Geoloģija un hidrogeoloģija» ir mācību līdzeklis augstskolu studentiem, bet to var izmantot arī ģeogrāfijas un dabas zinātnu pasniegšanai skolās, tehnikumos, kā arī speciālisti, kuri strādā meliorācijā, ūdensapgādē, palnecoloģijā, celtniecībā, būvmateriālu rūpniecībā, dabas aizsardzībā, novatpūtniecībā un citur. Vēlās izklāstā ieviests reģionālais princips, jo grāmata paredzēta galvenokārt Latvijas Republikas speciālistiem.

Ir apskatīti jautājumi par Zemes uzbūvi, veidošanos, ģeomorfoloģiju, ģeoloģiskiem procesiem, jaun mehāniskām un hidroloģiskām īpašībām, pazemes ūdeņu ģenēzi, kustību, klasifikāciju, to kustības mehānismu, pazemes ūdeņu svarīgākiem veidiem un resursiem, kā arī par hidrogeoloģisko un inženierģeoloģisko izpēti, kas saistīta ar hidroinženieratūru un celtniecību darbu Lauksaimniecībā. Lai atvieglotu materiāla apguvi, pielikums pievienots Latvijas ģeoloģiskā karte, hidrogeoloģiskā karte.

Redaktors A. Rīdīns

Redakcijas: G. Ansons un I. Kļedins

Gramata izgatavota Krievijas PSR

ĢEOLOĢIJA UN TĀS NOZĪME TAUTAS SAIMNIECĪBAS ATTĪSTĪBĀ

ĢEOLOĢIJA — ZINĀTŅU KOMPLEKSS

Ģeoloģija (grieķu *gē* — zeme, *logos* — mācība) ir zinātne par Zemes sastāvu, uzbūvi, izcelšanos, kā arī vēsturisko attīstību un nākotni. Tā ir viena no vecākajām zinātnēm, kuras pirmsākumi meklējami akmens un krama darba rīku ieviešanas laikā. Mūsdienų cilvēkam ģeoloģijas zināšanas palīdz dziļāk izprast mūžīgi mainīgo dabu, tās skaistumu un veidošanos. Ģeoloģijas pamatuzdevums ir izpētīt

- zemeslodes un tās garozas uzbūvi un sastāvu,
- uz Zemes virsas, Zemes garozā un zem tās noritošos tektoniskos, ķīmiskos, fizikālos un citus procesus,
- Zemes garozas un dzīvo organismu attīstības vēsturi,
- dabas resursu veidošanos, to atradnes un izmantošanu.

Zemes dabas resursus var iedalīt divās kategorijās. Pirmā ietver fundamentālos dabas resursus, kuri ir vajadzīgi, lai varētu pastāvēt dzīvība uz Zemes. Tie ir augsne, atmosfēra un hidrospēra. Dažādi ģeoloģiskie procesi (vulkānisms, zemestrīces, ledāja un tuksnešu uzvirzīšanās), kā arī daži bioloģiskie faktori (AIDS, mēra epidēmijas u. c.) spēj izraisīt anomālas izmaiņas šajās sfērās.

Otrā kategorijā ietilpst ekspluatējamie dabas resursi, kurus izlieto, lai attīstītos civilizācija un kultūra. Galvenā loma šajā grupā ir derīgajiem izrakteņiem. Jāatzīmē, ka agrākās civilizācijas saistās ar dažādu materiālu atklāšanu un izmantošanu (akmens, dzelzs un bronzas laikmeti). Visā cilvēces attīstības vēsturē, attīstoties dažādām kultūrām un idejām, politiskā vara ir jāpakļauj dabas resursu kontrolei — jārēķinās ar to krājumiem un izmantošanas iespējām. Pašreizējos apstākļos ir nopietni jāpēta šo resursu ekspluatācijas ietekme uz vidi, jāanalizē un jārisina ekoloģiskie jautājumi. Ģeoloģiem tas jāveic kopā ar bioloģiem, ekoloģiem un citiem speciālistiem.

Sikāk apskatīsim ekspluatējamos dabas resursus. Tos var iedalīt enerģētiskos un minerālos dabas resursos, kuri savā starpā ir cieši saistīti.

Enerģētiskie resursi ietver organiskos (degošos) un neorganiskos enerģijas avotus. Degošie enerģētiskie resursi enerģijas ieguves rezultātā tiek iznīcināti, piemēram, nafta, dabas gāzes, ogles. Galvenie neorganiskās dabas enerģijas veidi ir hidroenerģija, saules, vēja un ģeotermālā enerģija. Šo enerģijas ieguves procesu virzītājspēki ir smaguma spēks, kodoltermiskās reakcijas un Zemes iekšējais silums.

Bez enerģētiskiem resursiem nav iespējams prognozēt un racionāli organizēt rūpniecības un lauksaimniecības attīstību. Dabas resursu izpētē ģeoloģijai ir milzīga nozīme, jo tās dati nepieciešami derīgo izrakteņu meklēšanā un ieguvē.

Minerālos dabas resursus pārstāv derīgie izrakteņi. Praktiskajā ģeoloģijā derīgos izrakteņus parasti iedala *rūdu* jeb *metāliskos* (no kuriem iegūst dažādus metālus) un *nemetāliskos* (no kuriem iegūst nemetālus, piemēram, sēru). Pie nemetāliskiem derīgiem izrakteņiem pieder arī dārgakmeņi (dimants, rubīns, safīrs u. c.), pusdārgakmeņi (malahīts, ametists, fluorīts u. c.), kā arī pazemes ūdeņi, celtniecības materiāli u. tml. Ģeoloģijas galvenais uzdevums ir pētīt iežu sastāvu, to veidotos masīvus, slāņu uzbūvi, īpašības, formu, izmērus, vecumu utt.

Zemes garozas pašus augšējos slāņus pēta ar *ģeoloģiskām metodēm*. Iežu paraugus iegūst gan Zemes virspusē, gan arī no šāhtām vai urbumiem. Dziļākos iežu slāņus pēta ar *ģeofizikālām metodēm*. Pēdējos gados sakarā ar pastiprināto kosmisko pētniecību ģeoloģiskos pētījumus veic arī uz citiem Saules sistēmas debess ķermeņiem. Uz Mēness jau staigājis un iežu paraugus ievācis ģeologs — kosmonauts.

Zemes virspusē uz iežiem izveidojušās mūsu augsnes — lauksaimnieciskās ražošanas pamatlīdzeklis. Tieši augsnes cilmiezis nosaka augsnes raksturu, auglību. Iežu īpašības savukārt lielā mērā atkarīgas no ģeoloģiskiem procesiem, kādos tie radušies, un šo procesu secības. To pēta *dinamiskā ģeoloģija*. Lauksaimniekam jāpazīst arī Zemes reljefs, kuru nosaka vietas ģeoloģiskā uzbūve. Katra reljefa maiņa izraisa augsnes īpašību maiņu. Reljefs ietekmē mitruma režīmu, temperatūru un veģetācijas raksturu. Modernā lauksaimniecība nav iedomājama bez minerālmēsļu lietošanas, kurus iegūst no agronomiskiem izrakteņiem. Nav arī tādas rūpniecības nozares, kurā neizmantotu kādu minerālvielu. Bez ģeoloģiskiem pētījumiem nedrīkst projektēt un celt nevienu hidrotehnisko būvi. Projektējot nosusināšanas un apūdeņošanas sistēmas, ir jāzina teritorijas ģeoloģiskā uzbūve, hidroģeoloģiskie un inženierģeoloģiskie apstākļi.

Ģeoloģijai ir daudz un plaši uzdevumi, kā arī dažādi pētījumu virzieni to iedala vairākās patstāvīgās zinātņu disciplinās, tāpēc ģeoloģija ir kļuvusi par zinātņu nozaru kompleksu, kas mūsu planētu pēta visdažādākajos aspektos. Pēc tā, kādos virzienos vērsti atsevišķo ģeoloģisko zinātņu pētījumi, ģeoloģiju iedala četrās grupās:

1. *grupa* — zinātnes nozares, kas pēta Zemes un tās garozas sastāvu (minerāloģija, kristalogrāfija, petrogrāfija, ģeokīmija, ģeofizika, radioģeoloģija, izotopu ģeoloģija u. c.).

2. grupa — zinātnes nozares, kas pēta Zemes dzīles un uz tās virsas noritošos ģeoloģiskos procesus un to rezultātus (dinamiskā ģeoloģija, tektonika, ģeomorfoloģija u. c.). Liela daļa ģeoloģisko procesu nepakļaujas eksperimentālām metodēm, jo apstākļi, kuros tie noritējuši pirms vairākiem miljoniem gadu, ir bijuši atšķirīgi no mūsdienu apstākļiem. Tam par iemeslu bijis cits Zemes sākotnējais sastāvs, atmosfēras un ūdeņu sastāvs, rotācijas ātrums utt. Ģeoloģisko procesu izpētē un apsekošanā svarīga ir *aktuālisma metode*, kuru pirmais formulējis Č. Laiels. Tā balstās uz domu, ka tagadējie procesi ir atslēga, lai izprastu bijušos ģeoloģiskos procesus un to rezultātus.

3. grupa — zinātnes nozares, kas pēta Zemes garozas un dzīvo organismu attīstības vēsturi (vēsturiskā ģeoloģija, paleontoloģija, paleoģeogrāfija, kvartārģeoloģija u. c.).

4. grupa — zinātnes nozares, kas pēta praktiskus ar tautsaimniecības attīstību saistītus ģeoloģijas jautājumus (hidroģeoloģija, inženierģeoloģija, reģionālā ģeoloģija, derīgo izrakteņu ģeoloģija u. c.). Praktiskās ģeoloģijas metodiskais pamats ir lauku darbi, kuros izmanto dažādas metodes (iežu atsegumu apraksts, urbšana, šahtu ierīkošana, ģeofizikālās metodes u. c.), pēc tam seko savākto materiālu un paraugu laboratoriska analīžu datu iegūšana, izvērtēšana un apkopošana. Pēdējos gados laboratorijas darbā tiek ieviesta moderna aparātūra (krāsu spektrometri, mikrozonodes u. c.), kā arī jaunas metodes (izotopu metodes), kuru datus apstrādā ar ESM.

Aplūkosim populārākās ģeoloģijas zinātņu disciplīnas.

○ *Mineraloģija* (latīņu *minera* — rūda) pēta minerālus, dabisko elementu savienojumu sastāvu, uzbūvi, veidošanos. Minerāli ir Zemes garozas būvvielas, piemēram, laukšpati, kvarcs, vizlas, ģipsis, dolomīts u. c. Tā kā minerāli parasti ir kristāliskā stāvoklī, tad tie ir cieši saistīti ar kristalogrāfiju.

○ *Kristalogrāfija* (grieķu *krystallos* — kristāls) pēta kristālus, to īpašības, iekšējo uzbūvi un ārējās formas.

○ *Petrogrāfija* (grieķu *petra* — akmens) pēta iežus, minerālu kompleksa sastāvu, uzbūvi, saguluma apstākļus.

○ *Ģeoķīmija* pēta Zemes garozas ķīmisko elementu izvietojumu, koncentrāciju un migrācijas likumības dažādos termodinamiskos un fizikāli ķīmiskos apstākļos.

○ *Ģeofizika* pēta Zemes fizikālo uzbūvi, galvenokārt ar gravimetrijas, magnetometrijas, elektriskā lauka, seismiskām un citām metodēm.

○ *Radioģeoloģija* — zinātne par radiogēno elementu izplatības likumiem Zemes garozā un šo elementu īpašībām.

○ *Izotopu ģeoloģija* pēta stabilo elementu izotopu sastāvu un evolūcijas variācijas, radioaktīvo elementu izmaiņas dažādos ģeoloģiskos procesos.

○ *Dinamiskā ģeoloģija* pēta Zemes iekšējos jeb endogēnos procesus (vulkānisms, zemestrīces, magmatisms), kā arī ārējos jeb eksogēnos procesus, kas noris jūras, vēja, ūdens, ledus un organismu darbības rezultātā.

Dinamiskajā ģeoloģijā izšķir *tektoniku* un *geomorfoloģiju*. Tektonika ir zinātne par Zemes garozas uzbūvi, tektoniskām kustībām un šo kustību rezultātā izraisītām slāņu deformācijām. Geomorfoloģija pēta Zemes virsmas reljefu, tā izcelšanos, attīstības likumības, izplatību un īpašības. Geomorfoloģija ir robežzinātne starp ģeogrāfiju un ģeoloģiju.

○ *Vēsturiskā ģeoloģija* pēta Zemes attīstības vēsturi, noskaidro fizikāli ģeogrāfiskos apstākļus, kas ietekmē augu un dzīvnieku valsts attīstību dažādos periodos, kā arī nosaka iežu vecumu.

○ *Paleontoloģija* (grieķu *palaios* — sens, *on* — esošs) pēta pagājušo ģeoloģisko periodu fosilos augu un dzīvnieku organismus un dzīvās dabas evolūciju.

○ *Paleoģeogrāfija* pēta pagātnē eksistējošos fizikāli ģeogrāfiskos apstākļus, seno jūru robežas, dziļumu, ūdens sāļainumu utt.

○ *Kvartārģeoloģija* pēta pēdējā ģeoloģiskā perioda nogulumus, to sastāvu, izplatību, ģenēzi, vēsturiskās attīstības gaitu un stratigrāfisko iedalījumu.

○ *Hidroģeoloģija* pēta pazemes ūdeņus, to attīstības vēsturi, veidošanos, izplatību, režimu, bilanci, dinamiku, īpašības un izmantošanu (sk. nodaļu «Hidroģeoloģija un tās uzdevumi»).

○ *Inženierģeoloģija* pēta Zemes garozas virsējo slāņu iežus kā vidi, kurā mēs veidojam dažādas būves, veicam celtniecību, kā arī pēta ģeoloģiskos procesus, lai paredzētu to ietekmi uz būvju stabilitāti.

○ *Reģionālā ģeoloģija* (latīņu *regio* — apgabals) pēta ģeoloģiskos apstākļus, lai sastādītu reģionāli ģeoloģiskās kartes.

○ *Derīgo izrakteņu ģeoloģija* pēta atradņu izveidošanās apstākļus un veidus, to izplatību un izvietojuma likumības.

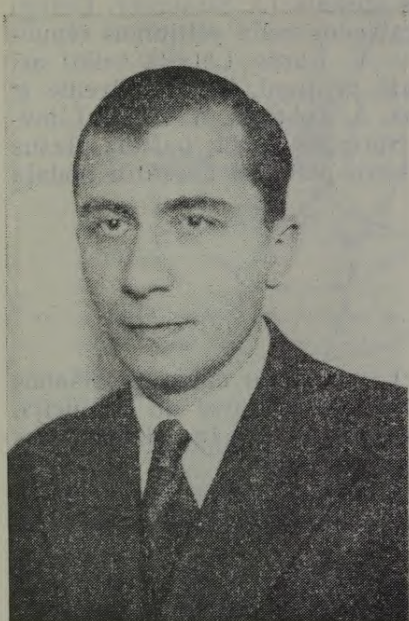
ISS PĀRSKATS

PAR ĢEOLOĢISKAJĒM PĒTĪJUMIEM LATVIJĀ

Jau Latvijas senvēsturē amatniekiem bija nepieciešamas zināšanas par izrakteņu atrašanās vietām un noderīgumu. Akmeņus izmantoja darba rīku gatavošanai, dzintaru — rotas lietām, ievesto un vietējo kramu — darba rīku un uguns iegūšanai, mālu — keramikai. Vēlāk sāka izmantot arī dzelzs rūdu. Īpaši liela nozīme bija prasmei no vietējām purvu rūdām vienkāršā procesā iegūt dzelzi, tādējādi radās iespēja ieviest izturīgākus darba rīkus. 13. gs. kaļķa ieguvei sāka izmantot dolomītus. Tas bija galvenais izejmateriāls piļu celšanai. Mēģinājumus izmantot purvu rūdas un dažus vietējos derīgos izrakteņus veica Kurzemes hercogistē uzaicinātie ārzemju lietpratēji. Pirmie pazīstamie darbi bija I. Konoldam — par dzelzs ieguvei no purva rūdām. 18. gs. ģeologi jau aprakstīja Latvijas derīgos izrakteņus (K. Fišers, J. Ferbers u. c.). Galvenā vērība tika veltīta šādiem izrakteņiem: dolomītiem, kaļķakmeņiem, smilšakmeņiem u. c. Tomēr tie vēl pa lielākai daļai bija lokāla rakstura darbi. Tā K. Fišers 1778. g. savā darbā «Vidzemes dabas vēstures pētījumi» aprakstīja

savāktos minerālus, iežus u. c. Profesors J. Ferbers, pētīdams Kurzemes ģeoloģijas problēmas, jau izskaidroja sēravotu rašanos un mēģināja salīdzināt Ventas un Daugavas ģeoloģiskos profilus. Ģeologs Vansovičs un citi Pēterburgas pētnieki Baltijā meklēja brūnogleis un citus derīgos izrakteņus (sāļi, ogles u. c.). 1840. gadā pasaulē pazīstamais angļu ģeologs R. Murčisons kopā ar Kabiles grāfu A. Keizerlingu un citiem devās ģeoloģiskās izpētes ceļojumā pa Krievijas Eiropas daļu. Viņi iepazinās arī ar Daugavas, Ventas, Abavas atsegumiem un ievāca dažādus iežu un fosiliju paraugus. Šajā laikā R. Murčisons pirmais pasaulē izdalīja un izstrādāja perma perioda stratigrāfiju. 18. gs. otrajā pusē pēc A. Humbolta, A. Rozes, R. Murčisona iegūtām bruņu zivju un brahiopodu fosilijām L. Buhs pierādīja devona sistēmas nogulumu plašo izplatību Latvijā un pēc Nīgrandes un Papiles iežu fosilijām noteica arī juras sistēmas nogulumu sastopamību. Šajā laikā A. Keizerlings pirmais aprakstīja Latvijas gastropodus. Devona sistēmas nogulumu stratigrāfijas sīkāku izpēti veica ridzinieks H. Panders un jēlgavnieks E. Eihvalds. H. Panders, kurš bija savācis milzīgu bruņu zivju materiālu, kas tika atspoguļota monogrāfijā (1857. g.), krustām šķērsām izbraukāja Latviju, pirmais noteica perma nogulumus Dienvidkurzemē un atklāja patstāvīgu organismu grupu — konodontus, kuriem ir liela nozīme pasaules devona nogulumu klasifikācijā. Savukārt pirmo Latvijas ģeoloģiskās uzbūves griezumam aprakstījis K. Grevinks. Jaunākos kvartāra sistēmas nogulumus pirmie sīkāk izpētījuši Br. Doss (1910) un H. Hanzens (1922). Viņi izstrādājuši jau detalizētāku Baltijas kvartāro nogulumu karti. Daudzus gadus ar Latvijas ģeoloģiskās uzbūves izpēti nodarbojās E. Krauss, kurš devona nogulumus sadalīja slāņkopās no *a* līdz *i*. 1934. g. Daugavpilī tika izurbts Latvijā pirmais dziļurbums, kurā jau pēc urbuma serdēm noteica kembrija, ordovika un silūra sistēmas nogulumus. Trīsdesmitajos gados visas Latvijas pamatiežu stratigrāfijas sīkāka izpētē vislielākie nopelni bija N. Delle (1. att. *a*), kurš devona stratigrāfijas iedalījumu pamatoja, izmantojot jaunus paleontoloģijas pētījumus, galvenokārt pēc bruņu zivīm. Viņš ir piedalījies arī Ķeguma spēkstacijas ģeoloģiskās izpētes darbos un sastādījis precīzas Latvijas ģeoloģijas kartes, kā arī strādājis pie juras un perma sistēmas stratigrāfijas jautājumiem. Ķeguma ģeoloģiskās izpētes darbos ir piedalījies arī pirmais diplomētais Latvijas ģeologs J. Gaillitis. Viņš ierosināja un izstrādāja kalnu kodeksu, kurā ievietoja un sakārtoja urbšanas datus, un pirmais Latvijā izteica domu par naftas iegulām Kurzemē. Monogrāfiskus paleontoloģijas pētījumus par devona bruņu zivīm ir veicis N. Gross (1930—1956). Popularizējot ģeoloģijas zinātni, pirmo skolu un ģeoloģijas muzeju Latvijā izveidoja J. Greste. Viņam ir būtiski nopelni arī Zemes Bagātību Pētišanas komitejas noorganizēšanā 1936. gada sākumā, ko 1939. g. pārdēvēja par Zemes Bagātību Pētišanas institūtu. Trīsdesmitajos gados galvenie nopelni Latvijas nozīmīgāko minerālu un iežu (ģipša, limonīta, dolomitizēta smilšakmens u. c.) detalizētākai mineraloģiskai izpētei bija O. Mellim (1. att. *b*). Pirmos magmatisko iežu teorētiskos mineraloģijas un

kristalogrāfijas pētījumus veica B. Popovs, kurš sevišķu vērību pievērsa eksperimentālajai kristalogrāfijai. Latvijas cementrūpniecības nodibinātājs E. Rozenšteins pirmais ieteica Latvijas perma kaļķakmeņus izmantot cementa izgatavošanai. Trīsdesmitajos gados Latvijas kaļķakmens un dolomītu smiltis pētīja E. Rozenšteins, K. Bamberg, mālus un smiltis — I. Eiduks, Z. Lancmanis, kūdras — P. Nommalis. Lielākie nopelni detalizētākā Latvijas leduslaikmeta un pēcloduslaikmeta izpētē ir V. Zānam (1. att. c), kurš ir atspoguļojis reljefa attīstības gaitu. A. Dreimanis, izpētot vairākus kvartāra griezumus, izdalīja trīs morēnu horizontus. No 1939. līdz 1946. gadam ģeoloģiskos pētījumus veica Zemes Bagātību Pētišanas institūtā, ko vēlāk pārdēvēja par Ģeoloģijas un derīgo izrakteņu institūtu. Pēc tam darbu turpināja pārveidotais Vissavienības jūras ģeoloģijas un ģeofizikas ZPI. Šobrīd, t. i., no 1989. gada, ģeoloģiskos pētījumus Latvijā izdara Latvijas Universitātes ģeoloģijas nodaļa. Bez tam 1957. g. tika noorganizēta Ģeoloģijas pārvalde, kuras nosaukums vairākkārt mainīts, un tās darbalauks saistīts ar Latvijas zemes bagātību pētījumiem un teritorijas ģeoloģisko kartēšanu. Pirmos Latvijas ģeofizikālās izpētes darbus veica L. Slaucītājs, vēlāk tos turpināja R. Vitkovskis. Piecdesmitajos gados plašus pētījumus par devona stratigrāfiju izdarīja P. Liepiņš, viņš devona sistēmu pirmo reizi iedalīja svītās. Bez tam jau agrāk P. Liepiņš Dienvidkurzemē konstatēja apakšējo triasu, kuru sīkāk izpētīja E. Ļutkēvičs. Paralēli stratigrāfiskiem darbiem precīzāku iežu mineraloģisku, kā arī sastāva izpēti veica J. Bite, E. Lieldiena u. c. Pēc daudzu urbumu datiem par kembriju, ordoviku un silūra nogulumiem tika izstrādāta stratigrāfija un šīs sistēmas sīkāk iedalītas svītās (L. Gailite, R. Ulste u. c.). 1958. g. pēc sporu un bruņu zivju atliekām tika izdalīti karbona nogulumi Latvijā, kuri bez īpašas litoloģiskas atšķirības sekoja devona veidojumiem, arī tos iedala svītās. Latvijas pamatiežu putekšņu un sporu kompleksus pētīja V. Ozoliņa. Sīki pētījumi tiek veikti arī par kvartāriem nogulumiem. Latvijas vecāko morēnu nogulumu sastāvu un izplatību nosacīja V. Pērkons. Vēlino kvartāra stratigrāfiju izstrādāja V. Stelle. Pēcloduslaikmeta stratigrāfiju un nogulumu izplatību izstrādāja E. Grinbergs. V. Ulsts izpētīja Baltijas jūras piekrastes nogulumu veidošanos un litodinamiku. Latvijas purvu vecumu pēc sporu un putekšņu analīzēm noteica M. Galeniece, A. Presņikova u. c. Saldūdens kaļķu, sapropeļu un kūdras sporu un putekšņu analīzes stratigrāfiskai iedalīšanai izdarīja I. Danilāns, T. Bartoša, K. Bamberg u. c. Plašus ģeomorfoloģijas pētījumus Latvijā pēdējos gados veikuši G. Eberhards, O. Āboliņš u. c. Plašāks kopsavilkums par kvartāro periodu ir I. Danilāna monogrāfijā «Latvijas kvartārie nogulumi». Kristāliskā pamatklintāja sastāvu pēc dziļurbumu datiem noteikuši un sīkāk iedalījuši A. Luncs, A. Birķis u. c. Latvijas ģeoloģiskās uzbūves detalizētākais pētījumu kopsavilkums sniegts 1979. g. izdotajā monogrāfijā «Latvijas ģeoloģiskā uzbūve un derīgie izrakteņi». Šajā grāmatā atspoguļoti plaši stratigrāfiskie pētījumi (A. Birķis, A. Brangulis, L. Gailite, V. Kuršs, L. Ļarska, V. Grāvis), tektoniskie jautājumi (A. Indāns,

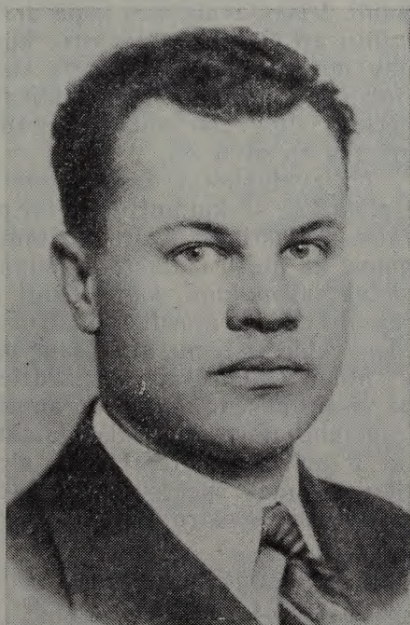


a



b

1. *a* — N. Delle, *b* — O. Mellis,
c — V. Zāns.



c

H. Brio u. c.), kā arī ģeomorfoloģijas apskats (J. Straume). Derīgo izrakteņu apskatu devis A. Birgers, galvenos māla pētījumus republikā veikusi A. Stinkule, bet smilšu — V. Kuršs. Latvijā veikti arī hidroģeoloģiskie un inženierģeoloģiskie pētījumi, kuros galvenie ir K. Cukermaņa, A. Mutuļa, V. Staprēna, A. Zobenas, A. Dzeņa-Litovska, A. Skrastiņas, K. Skrastiņa, H. Sprinģes darbi; pašreiz plašus pētījumus veic vairāki hidroģeologi, kuru pētījumi apskatīti nodaļā «Hidroģeoloģija un tās uzdevumi».

ZEMES IZCELŠANĀS UN UZBŪVE

ZEME VISUMĀ

Zeme ir Saules sistēmas planēta. Lai izprastu Zemes izcelšanos un attīstību, ir jāzina Visuma jeb Kosmosa uzbūve un evolūcija. Saule ir viena no zvaigznēm mūsu Galaktikas zvaigžņu sistēmā, kas savukārt ir tikai niecīga daļa no bezgalīgā Visuma.

Mūsu spirālveida Galaktika, būdama gigantisks zvaigžņu kopojums, kas sastāv no miljardiem vai pat triljoniem zvaigžņu, tiek saturēta kopā ar gravitācijas spēku.

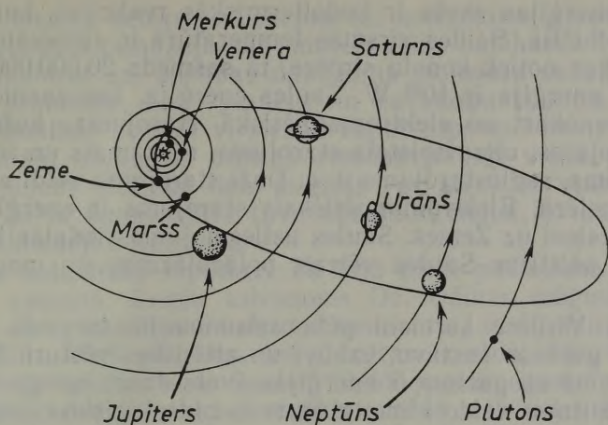
Galaktikas daļu, kuru skaidrā naktī var redzēt no vienas apvāršņa malas līdz otrai, parasti sauc par Piena Ceļu.

Piena Ceļā bez teleskopa var novērot ap 6000 zvaigžņu. Tuvākā (neskaitot Sauli) ir Centaura Alfa (4 gaismas gadi*). Saule ir vidēja izmēra zvaigzne, jo ir pat 1500 reižu lielākas zvaigznes par Sauli. Visas zvaigznes kopā ar Sauli mūsu Galaktikā riņķo pa savu orbītu ap Galaktikas centru, kurš atrodas Strēlnieku zvaigznājā un nav novērojams, jo ieslēgts starpzvaigžņu putekļu mākonī. Saules riņķošanas ātrums ap Galaktikas centru ir 240 km/s, bet riņķošanas periods ilgst 250 miljonus gadu. Bez tam Saule, tāpat kā Zeme, griežas ap savu asi.

Uz zvaigžņotas debess fona pat ar neapbruņotu aci ārpus mūsu Galaktikas saskatāmi miglaini plankumi, kas arī ir lielākas vai mazākas galaktikas. Katrā no tām ir vairāki miljardi zvaigžņu. Ir zināms, ka mūsu Galaktikas telpā atrodas plaši puteklainas meteorītu vielas sakopojumi, kas, līdzīgi mākoņiem, aizsedz tālāku galaktiku rajonus. Visas mūsdienu astronomu novērojumiem pieejamās galaktikas veido sistēmu, kuru sauc par Metagalaktiku.

Mūsu Galaktika no sprādziena vietas (*Habla likums*) attālinās uz visām pusēm ar ātrumu apmēram 1000 km/s. Kosmosa telpā, kuru iespējams novērot, tālāko galaktiku kustības ātrums ir lielāks, nekā tas ir mūsu galaktikai, kura atrodas tuvāk centram. Daudzu galaktiku gaismas spektru izpēte norāda, ka, tām savstarpēji attālinoties, notiek spektra līniju nōvīrze uz spektra sarkano pusī (*Doplera*

* Astronomijā attālumus mēra gaismas gados, kas atbilst ceļam, kuru gaisma noiet 1 gadā, t. i., apmēram $9,6 \cdot 10^{12}$ km. Piemēram, ja kāda zvaigzne no mums ir 1 milj. gaismas gadu attālumā, tad norises, ko mēs novērojam šajā zvaigznē, notikušas pirms miljons gadiem.



2. Saules sistēma.

Saules sistēmas galveno komponentu relatīvais attālums no Saules (nav mērogā).
Visas planētas griežas ap Sauli pa eliptiskām orbītām, kuras atrodas gandrīz vienā plaknē.

efekts). Tālāko galaktiku attālināšanās ātrums sasniedz 6000 km/s, bet pats lielākais konstatētais ātrums ir 140 000 km/s. Jaunākie pētījumi rāda, ka no Zemes vistālāko galaktiku kustības ātrumi ir mazāki. Pieņem, ka Visums periodiski saraujas un izplešas (*kolapss* un *antikolapss*). Ar vismodernākiem optiskiem teleskopiem redz zvaigznes, kuru gaismā nonāk pie mums pēc 9 miljardiem gadu.

Ir pierādīts, ka pirms 12—14 miljardiem gadu, kad Kosmoss bija atgriezies savā sākumā, visblīvākajā stāvoklī, notika milzīga eksplozija. Mūsdienās ar spēcīgiem radioteleskopiem astronomi noteikuši eksplozijas sākuma radiostarojumu. Tas norāda, ka pirmajos mirkļos norisinājušās vētrains kodolreakcijas un radušās dažādu kodoldaļiņu plūsmas (reliktais starojums). Starojums bijis tik spēcīgs, ka neradās stabili atomi. Tikai izveidojoties atomiem, sākās spožu zvaigžņu rašanās.

Saules sistēma sastāv no centrālā ķermeņa — Saules, ap kuru riņķo 9 planētas. Vistuvāk Saulei atrodas Merkurs un Venera, tad Zeme. Arī masa Zemei ir lielāka nekā Venerai un Merkūram. Bez tam Saules pavadoņi ir arī asteroīdi, komētas un izplatītākie nelielie ķermeņi — meteorīti. Zeme riņķo ap Sauli pa elipsi (2. att.), un tās vidējais attālums no Saules ir 149,5 milj. km, kustības ātrums pa orbītu — 29,76 km/s. Zemei ir viens dabisks pavadoņs — Mēness, kurš griežas ap Zemi un atrodas 400 000 km attālumā no tās.

Saules masa ir 99,86% no visas Saules sistēmas masas, tās diametrs — 109 reizes lielāks nekā Zemes diametrs.

Saules spektrālajos pētījumos ir izdevies noteikt, ka tās galvenā masa sastāv no ūdeņraža un hēlija, bet pavisam ir izdalīts vairāk nekā 70 ķīmisko elementu. Arī citas mūsu Galaktikas zvaigznes pēc sastāva ir līdzīgas Saulei.

Saules enerģijas avots ir kodoltermiskās reakcijas, kurās ūdeņradis pāriet hēlijā. Saules virsmas temperatūra ir apmēram 5600 °C, bet centrā, kur notiek kodolu sintēze, tā sasniedz 20 000 000 °C. Saules izdalītā enerģija ir 10^{26} W. Saules enerģija, kas sasniedz Zemi, sastāv galvenokārt no elektromagnētiskā starojuma, kurā ietilpst rentgenstarojums, ultravioletais starojums, redzamais un infrasarkanais starojums, radiostarojums u. c. Daži starojuma veidi absorbējas Zemes atmosfērā. Elektromagnētiskais starojums ir enerģijas avots visiem procesiem uz Zemes. Saules uzliesmojumos izdalās liela enerģija, ar ko saistītas Saules vētras, polārblāzmas un magnētiskais lauks.

Zemi kā Visuma ķermeni pēta astronomija, turpretī ģeoloģija pēta Zemes garozas sastāvu, uzbūvi un attīstības vēsturi. Saules izdalītais siltums un gaisma ir enerģijas avots daudziem ģeoloģiskiem procesiem. Siltums veido klimatu un rada hidroloģisko ciklu. Siltums un gaisma veicina arī iežu dēdēšanu un rada apstākļus dzīvības procesiem uz Zemes. Daudzie procesi uz Zemes un tās dziļumā (paisums un bēgums, Zemes ass slīpuma izmaiņas u. c.) atkarīgi no Visuma faktoriem, tāpēc ģeoloģija apskata arī Zemes izcelšanās hipotēzes un tās attīstību.

ZEMES IZCELSNĀS HIPOTĒZES

Kosmosa, zvaigžņu, planētu un to pavadoņu izcelšanos un attīstību pēta astronomijas nozare — kosmogonija. Zemes uzbūve, fizikālās un ķīmiskās īpašības saistītas ar tās izcelšanos.

Kanta—Laplasa hipotēze. Pirmā zinātniskā Zemes izcelšanās hipotēze radās 18. gadsimtā. Vācu filozofs I. Kants to izstrādāja 1755. gadā, bet franču astronoms P. Laplass 1795. gadā to matemātiski pamatoja. Tāpēc vēlāk hipotēzi nosauca par Kanta—Laplasa hipotēzi.

Pēc šīs hipotēzes, Saules sistēma radusies no rotējoša kvēlojoša retinātā miglāja (gāzu un putekļu mākoņa), kura ārējā daļā kustības ātrums lielāks nekā centrālajā. Miglājam pakāpeniski atdziestot, tas sarāvies, saskaņā ar mehānikas likumiem tā rotācijas ātrums palielinājies, pieaudzis centrifugālais spēks un sfēriskais miglājs pieņēmis elipsoīda formu. Ātrumam vēl vairāk pieaugot, elipsoīds kļuvis lēcveidīgs. Uz ekvatora centrifugālajam spēkam pārsniedzot matērijas daļiņu savstarpējās pievilkšanās spēku, viela, kas atradās miglāja ekvatoriālā joslā, ir atdalījusies un ap miglāju izveidojusi gredzenus, bet palikušā miglāja masa turpinājusi sarauties. Šim procesam turpinoties, izveidojušies vairāki gredzeni, pēdējais no tiem atradies Saulei tuvākās planētas — Merkura — orbītas attālumā. Ar laiku šie gredzeni pārtrūkuši, gredzena viela apvienojusies planētās un turpina riņķot ap Sauli pa orbītām, kurās agrāk atradās gredzeni. Tajā laikā šī hipotēze bija progresīvs uzskats par Zemes izcelšanos.

Attīstoties zinātnei, izrādījās, ka Kanta—Laplasa hipotēze nevar izskaidrot vairākas Saules sistēmas īpatnības. Tā, piemēram, Saules

rotēšanas ātrums nebija pietiekams, lai norisinātos gredzenu atdalīšanās (ātrumam vajadzēja būt simtiem reižu lielākam). Hipotēze nevarēja izskaidrot arī kustības daudzuma momenta sadalījumu starp Sauli un planētām, dažu planētu un pavadoņu kustību, kuri riņķo planētas kustībai pretējā virzienā. Tāpat hipotēzē nebija pamatots, kāpēc planētu eliptiskās orbītas atrodas pilnīgi vienā plaknē, utt. Bez tam jāņem vērā, ka liels miglājs var atrasties stabilā stāvoklī tikai tad, ja tā temperatūra tuva absolūtai nullei, jo karstas gāzes vienmēr izkliedējas Kosmosā.

Džinsa katastrofu hipotēze. Tā bija plaši pazīstama divdesmitā gadsimta sākumā. Angļu astronoms Dž. Džinss mēģināja novērst pretrunas starp kustības daudzuma momenta sadalījumu starp Sauli un planētām. Viņš pieņēma, ka planētas izveidojušās, kādai lielai zvaigznei ejot garām tuvu Saulei. Tā kā pastāv savstarpējs pievilkšanās spēks, no Saules virsas strūkļas veidā atrāvusies milzīga gāzveida vielu masa, kuras daļa pēc zvaigznes aizlidošanas sākusi riņķot ap Sauli. No blīvākajām masas daļām veidojušās planētas, bet vieglākās daļas izklīdušas. No strūkļas centrālās daļas izveidojušās lielākās planētas — Jupiters un Saturns.

Vēlākie precīzie aprēķini pierādīja, ka planētu rotācijas spēks ir vairākkārt lielāks, nekā tam vajadzētu būt, ja planētas veidotas atbilstoši Džinsa hipotēzei. Lai zvaigzne būtu varējusi atraut vielu no Saules, tai vajadzēja lidot dažu Saules diametru attālumā gar Sauli, turklāt matērijas strūklai vajadzēja izrauties no Saules dziļākiem slāņiem un tās temperatūra būtu bijusi apmēram miljons grādu. Šāda masa nepaspētu atdzist un izveidot planētas, tā būtu pilnīgi izklīdusi telpā. Džinsa hipotēzi fiziķi atzinuši par nepareizu.

Mūsdienu kosmogonijas teorijas ietver divas kardinālas problēmas — protoplanētas miglāja izcelšanās problēmu un planētu veidošanās problēmu. Šo problēmu risināšanā svarīga loma ir Saules sistēmas mehānisma izpētei, jaunākiem eksperimentāliem datiem par citu planētu virsmas sastāvu un īpašībām, kā arī planētu dīglu meteorītu salīdzināšanai. Nozīmīgas ir teorētiskās modelēšanas metodes gāzu un kosmiskās plazmas izplūdes mehānismu un citu faktoru pētīšanā. Īsumā aplūkosim O. Šmita, V. Fesenkova un A. Vinogradova kosmogoniskās hipotēzes.

Šmita hipotēze. 1944. gadā O. Šmits publicēja hipotēzi par Saules sistēmas izcelšanos. Savu hipotēzi viņš pamatoja uz astronomijas atzinumiem, ka mūsu Galaktika rotē ap savu centru, ka Galaktikas telpā atrodas milzīgi gāzveida un putekļveida vielu mākoņi, kuru sastāvā ir arī lielāki meteorītu ķermeņi, un ka meteorīti, kas krīt uz Zemi, ir Saules sistēmas sastāvdaļas, nevis starpzvaigžņu telpas produkti.

Mūsu Galaktikā telpa starp zvaigznēm nav tukša, bet tajā dažu viet atrodas retināta, izkliedēta, gāzveida vai putekļu stāvoklī esoša viela. Tā rodas, zvaigznēm izsviežot gāzu atomus, kuri, nonākot aukstajā starpzvaigžņu telpā, daļēji apvienojas molekulās, daļa molekulu savukārt kondensējas putekļos. No šīs vielas var veidoties jauni debess ķermeņi.

Akadēmiķis O. Šmits pieņēma, ka, Saulei virzoties Galaktikas telpā cauri gāzveida un dažāda lieluma puteklveida vielu mākoņiem, tā aizrāva līdzīgu daļu no tiem. Tādējādi izveidojās rotējoša gāzes un putekļu masa, kas riņķoja ap Sauli gravitācijas spēka ietekmē. Tālākā gaitā masa kļuva arvien blīvāka un pieņēma saplacinātas lodes formu. Neelastīgo sadursmju dēļ daļiņu ātrumi samazinājās, tās sablīvējās, apvienojās un izveidoja daudzus sabiezējumus, ap kuriem savācās izkļiedētā viela. Sabiezējumi, kas sadursmēs netika sagrauti, varēja sasniegt lielus apmērus un turpināt pievilkt un pievienot atkal citas sīkās daļiņas. Šie ķermeņi — planētu dīgli — apvienojoties ar laiku pārvērtās planētās.

O. Šmita un viņa līdzstrādnieku hipotēze matemātiski izskaidro daudzas Saules sistēmas planētu īpašības, arī planētu attālumus no Saules, pēc sākuma masu lielumiem, planētu rotāciju ap asīm, planētu pavadoņu rašanos, turklāt planētu kustības momenta daudzumu nesaista ar Saules kustību, bet ar gāzu un putekļu mākoņu kustības daudzuma momentu. Pēc O. Šmita hipotēzes, sākumā planētas ir bijuši auksti ķermeņi. Tā arī zemeslode tikai vēlāk, radioaktīviem elementiem sabrūkot, kļuvusi karsta. O. Šmits uzskata, ka planētu, to pavadoņu veidošanās un pašas Saules izveidošanās mehānismi ir atšķirīgi, kaut arī Saule ir sistēmas galvenais loceklis. Šobrīd astronomi uzskata, ka saskaņotā Saules, planētu un pavadoņu kustība norāda uz to kopējo veidošanos no vienotā starpzvaigžņu vielas mākoņa. Maz pārliecina arī mūsu Galaktikas gāzu un putekļu mākoņu mazo daļiņu masveida saistišanās teorija.

Fesenkova hipotēze. V. Fesenkovs pieņem, ka vispirms kādā Kosmosa rajonā no ļoti lielas, tā sauktās superzvaigznes izdalījušās gāzes, kuru sākuma masa bijusi milzīga. Ar laiku miglājā, gāzēm sabiezējot, radušies molekulu pavedieni un no tiem veidojušās puteklveida daļiņas. Tām koncentrējoties miglāja centrālajā daļā, izveidojies augstas temperatūras zvaigžņveida sabiezējums, kurā liela spiediena un augstas temperatūras rezultātā sākusies kodoltermiskā reakcija; tajā no ūdeņraža kodoliem veidojās hēlija kodoli, kā arī atbrīvojās daudz enerģijas. Miglājam (pirmatnējai Saulei) ātri rotējot, gāzveida un puteklveida viela nespēja pievienoties centrālajam sabiezējumam un arvien vairāk attālinājās no centra, veidojot disku vai saspiestu lēcu. Pirmatnējās Saules apmēri bijuši desmit reizes lielāki, un tajā ietilpušas visas Saules sistēmas rotācijas un gravitācijas rezerves. Centrālās spēki sākumā arī bijuši lieli, vielas blīvums ekvatoriālajā plaknē nevienmērīgs, tāpēc vietām veidojušies nelieli sabiezējumi. Tā kā galvenā sabiezējumu masa atradusies Saules ekvatoriālajā plaknē, tad tur veidojušās protoplanētas (pirmplanētas).

Pēc V. Fesenkova domām, vispirms izveidojusies tālākā planēta — Plutons. Šo procesu neietekmēja neviena cita planēta, jo visa pārējā masa vēl bija izkļiedēta gāzu un putekļu miglāja veidā. Pēc Plutona veidojies Neptūns, kas bija tādā attālumā no Plutona, ka gravitācijas spēki abas planētas savstarpēji neietekmēja. Lielākās planētas Jupiters un Saturns arī ir diezgan lielā attālumā viena no otras.

Planētu attālumus V. Fesenkovs izteica ar matemātisku formulu. Tālākās planētas ir saglabājušas savu pirmatnējo sastāvu — to izskaidro ar šo planētu zemo temperatūru, kuras dēļ vieglās gāzes — ūdeņradis un hēlijs — neaizplūda Visumā. Pēc Jupitera izveidojušās planētas Marss un Zeme.

Vinogradova hipotēze. Tā publicēta 1972. gadā. A. Vinogradovs uzskata, ka pirms 5 miljardiem gadu ap zvaigzni Sauli veidojās maza blīvuma karsts diskveida plazmas miglājs, kura temperatūra ir bijusi vairāki miljoni grādu. Protoplanētu plazmas miglājā bez dominējošiem elementiem — ūdeņraža un hēlija — vēl lielākā daudzumā bijis silīcijs, magnijs, dzelzs, sērs, niķelis. Miglājam atdziesot un temperatūrai pazeminoties zem 5—10 tūkstošiem grādu C, no plazmas sākuši kondensēties grūti kūstoši elementi — volframs, titāns, hafnijs, niobijs, molibdēns, platīns, cirkonijs un to oksīdi. Plazmas miglāja atdzišana un gāzu aizplūšana kosmiskajā telpā turpinājusies apmēram vienu miljardu gadu.

Atdzišanas un gāzu daļējas sablīvēšanās rezultātā radušās cietās ķīmisko elementu daļiņas, plazmas miglājs pārvērties gāzu un putekļu mākonī. Šis process izraisījis mākoņu rotācijas nestabilitāti, un rotējošais disks sadalījies, veidojot aukstu daļiņu spietus. Daļiņas savstarpējās sadursmēs salipušas, sabiezējumos radušies atsevišķu elementu savienojumi, galvenokārt silikāti, dzelzs un niķeļa kausējumi, sulfīdi un hromīti. Šo savienojumu aglomerācijas (sablīvēšanās) rezultātā izveidojušies arī akmens un dzelzs meteorīti.

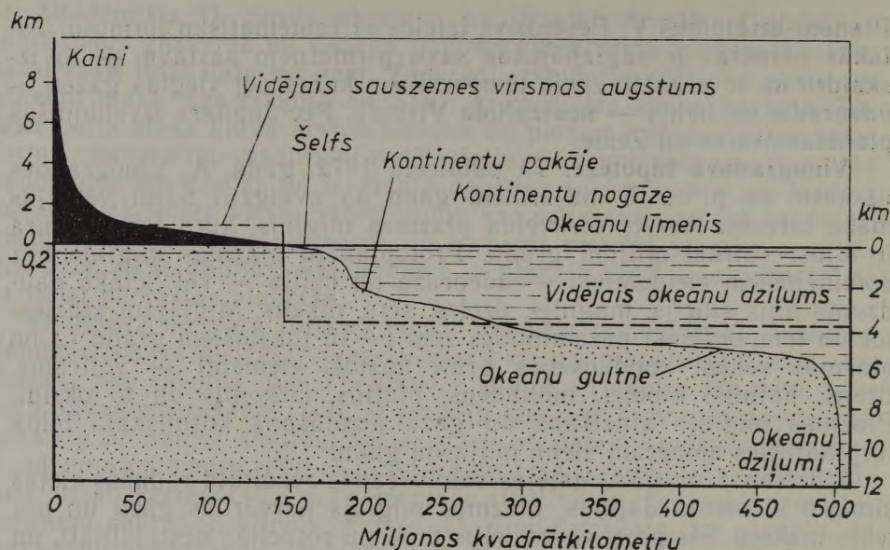
Protoplanetārā mākoņa cietās vielas koncentrēšanās procesam turpinoties, sākusies Saules sistēmas planētu izveidošanās. Tikai vēlāk, sadaloties radioaktīvajiem elementiem (urānam, torijam, kālijam), sakarsušās planētas vielas gravitācijas spēka ietekmē pakāpeniski sablīvējušās un, Visuma telpā atdziestot, diferencējušās dažāda sastāva apvalkos — *sfērās*. Zemei izveidojās gāzu sfēra (atmosfēra), ūdens sfēra (hidrosfēra), cietā garoza, mantija un metāliskais kodols.

Jāpiebilst, ka daudzas parādības, kas norisinājušās un norisinās pašreiz Visumā, zinātniekiem vēl ir jāpēta, daudzas problēmas jānoskaidro. Kosmonautu lidojumi, Zemes mākslīgie pavadoņi, automātiskās starpplanētu stacijas tiek izmantotas, lai iegūtu jaunus konkrētus datus par planētu un Saules sistēmas uzbūvi.

ZEMES ĢEOFIZIKĀLAIS UN ĢEOĶĪMISKAIS RAKSTUROJUMS

ZEMES FORMA

Zemes forma ir tuva rotācijas trīsas elipsoīdam. Pēc G. Katerfelda sīkākiem pētījumiem (1962), Zeme ir trīsas kardioīdāls elipsoīds. Uz šo Zemes nedaudz bumbierveidīgo formu norāda arī I. Zongolovica un S. Tropicina aprēķini, kā arī kosmonautu pētījumi, jo dienvidu pols atrodas par 242 metriem tuvāk ekvatoram nekā ziemeļu



3. Zemes virsas hipsogrāfiskā likne.

polis. Zemes formu veido arī virsmas reljefs. Tāpēc Listings (1873. g.) ieteica Zemes formu nosaukt par ģeoīdu. Šāds apzīmējums ir tikai Zemei, kuras forma salīdzinājumā ar elipsoīdu ir nedaudz saplacināta, klāta ar kalniem un ieplakām. Pasaules okeānu virsma ir perpendikulāra Zemes pievilkšanas spēkam. Nosakot Zemes formu un izmērus, atmosfēra netiek ņemta vērā, jo tai nav precīzu robežu, tā pakāpeniski pāriet starpplanētu telpā.

Ģeoīda formu mēra ar ģeodēziskām metodēm. Reljea absolūtos augstumus un pazeminājumus noteic, nivelējot tos pēc okeāna līmeņa. Rotācijas ietekmē zemeslode polu virzienā ir mazliet saspiesta, tās polārais rādiuss ir 6 356 863 m, bet ekvatoriālais rādiuss — 6 378 245 m, tātad ekvatoriālais rādiuss ir par 21 382 m garāks nekā polārais rādiuss.

Zemes virsa ir $5,10 \cdot 10^8 \text{ km}^2$, tās tilpums — $1,083 \cdot 10^{12} \text{ km}^3$ un blīvums — $5,52 \text{ g/cm}^3$. Vispārēju pārskatu par Zemes virsas attiecīgu augstumu izvietojumu dod hipsogrāfiskā likne (3. att.). Tā parāda Zemes virsas laukumu platību, absolūto augstumu un dziļumu. Likne attēlo Zemes garozas virsas vispārināto ideālo profilu. Augstākais punkts virs jūras līmeņa ir Džomolungma — 8848 m, lielākais jūras dziļums noteikts pie Mariannas salām — 11 521 metrs.

Pēc hipsogrāfiskās līknes varētu spriest, ka lielākie jūras dziļumi atrodas tālāk no sauszemes, taču tā nav — tie nav tālu no piekrastes kalnu grēdām (sevišķi izteikti tas vērojams Klusajā okeānā gar Āzijas kontinentu un tā salām). Kontinentu virsas vidējais līmenis ir 840 m virs pasaules okeāna līmeņa. Pēc hipsogrāfiskās līknes Zemes virsas vidējais absolūtais augstums ir 2440 m, bet vidējais okeānu dziļums — 3800 metri.

ZEMES UZBŪVE

Zemes uzbūves pētīšana ir ļoti svarīgs ģeologu uzdevums, jo derīgo izrakteņu krājumi virsējās Zemes garozas slāņos tiek pakāpeniski izmantoti, bet dziļākos slāņos to krājumi ir lielāki. Pašreiz jau sāk izmantot Zemes iekšējo siltumu un prognozēt zemestrīces.

Zemes un tās garozas uzbūves un sastāva noteikšanai lieto ļoti dažādas metodes un paņēmienus.

Zemes garozas virsējās kārtas iežu paraugus iegūst galvenokārt atsegumos, urbumos vai vertikālos rakumos — šahtās. Dziļākie ir naftas urbumi — tie var pārsniegt pat 10 km dziļumu. Dziļākais urbums pasaulē izdarīts Karēlijā — ap 15 km. Latvijā dziļākais urbums ir 1910 m, tas izdarīts Liepājas apkārtnē. Urbumi ir veikti arī jūrās — līdz 10 km dziļi. Šahtas ir ievērojami seklākas. Dziļākās šahtas pasaulē ir Johaneshurgas dimantu raktuvēs (4 km) un Indijas Kolari zelta raktuvēs (3,5 km).

Ar urbumiem un šahtām pašreiz vēl nevar iegūt iežu paraugus no dziļākiem Zemes garozas slāņiem (atstatums no Zemes virsas līdz centram ir aptuveni 6371 km), tāpēc dziļāko slāņu sastāvu noteic netiešā ceļā. Noteikšanai un aplēsēm izmanto

- seismisko viļņu izplatīšanās ātrumu;
- ģeofizikālās īpašības (blīvumu, spiedienu, temperatūru, radioaktivitāti, magnētismu, cietību, elastību u. c.);
- Zemes slāņu ķīmiskā un mineraloģiskā sastāva aplēses.

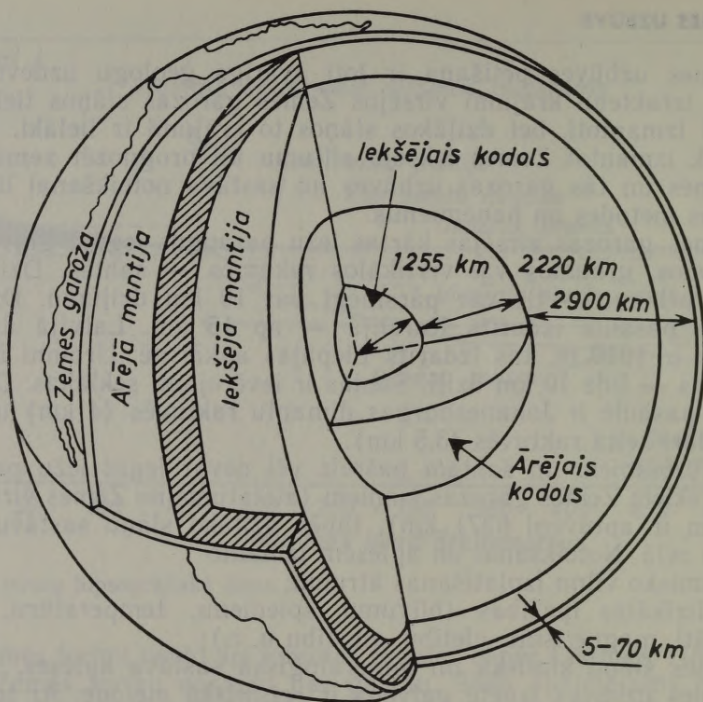
Zemes uzbūves izpētē galvenā ir *seismiskā metode*. Ar to noteic seismisko viļņu ātruma izmaiņas dažādās Zemes iekšējās sfērās. Datus iegūst, izmērot viļņu izplatīšanās ātrumu zemestrīču un mākslīgi izdarītu sprādzienu laikā. Zemeslodē parasti izplatās divu tipu viļņi: garenviļņi P (primārie) un šķērsviļņi S (sekundārie). Ja garenviļņi un šķērsviļņi nokļūst Zemes virspusē, samazinās to ātrums un veidojas virsmas viļņi. Garenviļņi izplatās ātrāk nekā šķērsviļņi. Garenviļņi iet cauri visām vielām. Šķērsviļņi, kas rodas cietas vielas deformācijas rezultātā, iet cauri tikai cietām vielām. Gāzei un šķīdumiem ir niecīga bīdes pretestība, tāpēc tajos šķērsviļņi neizplatās. Zemeslode sastāv no dažādu ķīmisko elementu savienojumu slāņiem, kurus šķērsojot viļņi maina ātrumu. Ar mērāparātiem ir konstatēts, ka viļņi dažādus slāņus šķērso ar atšķirīgu ātrumu. Seismiskos viļņus uztver dažādās vietās ierīkotās seismiskās stacijas.

Zemeslodes uzbūve un iedalījums atšķirīga sastāva joslās pēc seismisko viļņu izplatīšanās ātruma parādīts 1. tabulā.

1. tabula

Seismisko garenviļņu (P) un šķērsviļņu (S) izplatīšanās ātrums
Zemes iekšējās sfērās, km/s

Viļņu apzīmē- jums	Dziļums, km										
	0	70	70	1000	2000	2900	2900	5000	5100	5200	6370
S	3,2	3,7	4,4	6,4	7,0	7,3	—	—	—	—	—
P	5,5	6,3	7,8	11,4	12,8	13,6	8,1	10,2	9,8	10,8	11,3



4. Zemeslodes koncentriskās zonas.

Zemes garoza — 5—70 km, mantija — 2900 km, ārējais kodols — 2220 km, iekšējais kodols — 1255 km.

Aplūkojot grafiku (4. att.), kas konstruēts pēc seismiskajiem datiem un teorētiskajiem blīvuma aprēķiniem, var konstatēt, ka Zemeslodei ir 3 iekšējās zonas jeb ģeoslēferas:

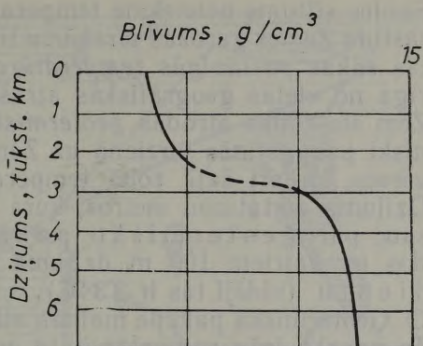
- no Zemes virsas līdz 40 km dziļumam ir Zemes garoza;
- no 40 km dziļuma līdz 2900 km dziļumam, t. i., 2860 km, aizņem mantija;
- zem mantijas līdz zemeslodes centram atrodas Zemes kodols, kuru mēdz dalīt iekšējā un ārējā. Ārējā kodola rādiuss ir 2200 km, bet iekšējā kodola rādiuss — 1270 kilometri.

ZEMES BLĪVUMS

Pēc aprēķiniem noteikts, ka Zemes vidējais blīvums (īpatnējais svars) ir $5,52 \text{ g/cm}^3$. Tas ir apmēram divas reizes lielāks nekā Zemes garozas vidējais blīvums (2. tab.). Pirmais Zemes vidējo blīvumu 1798. gadā aprēķināja H. Kavendišs. Pašreiz ar dažādām metodēm izdarītie aprēķini rāda, ka Zemes blīvums palielinās līdz ar dziļumu (5. att.). Tā, piemēram, ārējā kodola blīvums ir no 9 līdz 10 g/cm^3 , bet iekšējā — no 13 līdz $13,7 \text{ g/cm}^3$. Zemes garozas iezus

pēc blīvums un krāsas iedala divās atšķirīgās grupās — *gaišie ieži* (granīti u. c.) un *tumšie ieži* (bazalti un citi bāziskie ieži).

Granītu grupas iežu blīvums ir apmēram $2,7 \text{ g/cm}^3$. Tie bagāti ar silīcija un alumīnija oksīdiem, tāpēc šo iežu veidoto Zemes garozas daļu bieži apzīmē ar vārdu *Sial*. Otrās grupas jeb tumšo iežu blīvums ir no $2,9$ līdz $3,4 \text{ g/cm}^3$. Šajos iežos pārsvarā ir silīcija un magnija oksīdi, tāpēc to veidoto Zemes garozas daļu apzīmē ar *Sima*.



5. Zemeslodes iežu vidējais blīvums.

2. tabula

Zemes garozas iežu vidējais blīvums

Iežu nosaukums	Vidējais blīvums, g/cm³	Iežu nosaukums	Vidējais blīvums, g/cm³
Nafta	0,85	Diorīts	2,76
Kūdra	1,05	Bazalts	2,90
Māls	1,96	Gabro	2,98
Smilšakmens	2,15	Peridotīts	3,23
Granīts	2,67	Dunīts	3,29

SPIEDIENS

Nosakot blīvumu dziļākos Zemes slāņos, jāņem vērā seismisko viļņu izplatīšanās ātrums, smaguma spēks, Zemes forma, spiediens un citi faktori. Blīvums ir tieši atkarīgs no spiediena. Pēc katra dziļuma kilometra spiediens pieaug apmēram par $2,75 \cdot 10^7 \text{ Pa}$. Ja pieaugums būtu vienmērīgs, Zemes centrā spēks, kas darbotos uz 1 cm^2 , sasniegtu $1,75 \cdot 10^6 \text{ N}$. Zemes kodols ir vēl daudz blīvāks. Pēc V. Magnicka, 50 km dziļumā spēks, kas darbojas uz 1 cm^2 , ir $1,3 \cdot 10^6 \text{ N}$, kodola ārmalā — $1,428 \cdot 10^6 \text{ N}$, turpretī Zemes centrā tas ir $3,83 \cdot 10^6 \text{ N}$.

Liels spiediens izmaina vielas struktūru. Daudzi ķīmiskie elementi pārvēršas pusvadītājos un iegūst metālu īpašības (piemēram, jods zem 2 miljoniem atmosfēru spiediena). Spiediena, vielu blīvuma palielināšanās un diferencēšanās dēļ Zemes kodolā ir citāds ķīmiskais sastāvs nekā pārējās ģeosfērās.

ZEMES TEMPERATŪRA

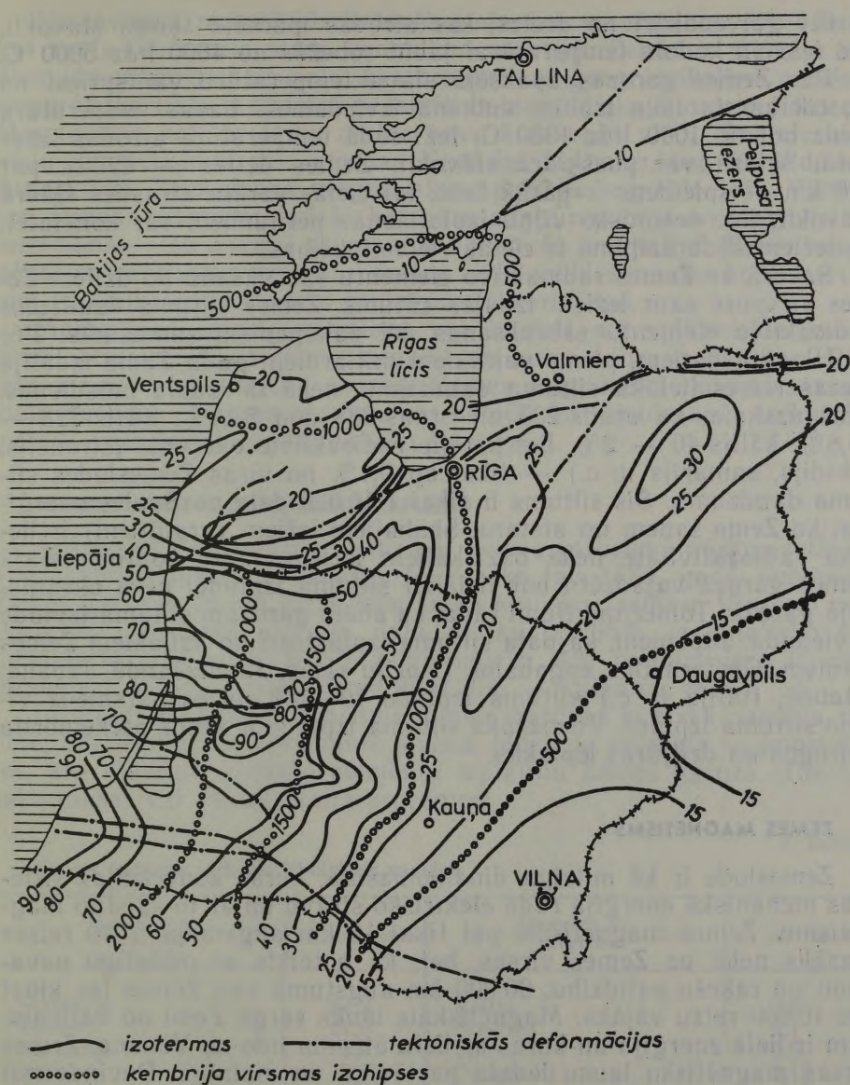
Temperatūras režīms uz Zemes virsas ir atkarīgs galvenokārt no Saules izstarotā siltuma, bez tā uz Zemes nebūtu dzīvības, nēvarētu arī norisēt eksogēnie (ārējie) ģeoloģiskie procesi Zemes garozā.

Saules siltums neietekmē temperatūras režīmu Zemes iekšienē, jo tas sasilda Zemes garozas *virskārtu* tikai līdz 1,5 vai 2,0 m dziļumam. Zem tās sākas *pastāvīgās temperatūras zona*, kurā temperatūra ir atkarīga no vietas ģeogrāfiskās atrašanās un iežu siltuma caurlaidības. Zem šīs zonas atrodas *ģeotermiskā zona*, kurā temperatūra pakāpeniski paaugstinās virzienā uz Zemes centru. Urbumos un šāhtās novērots, ka arī šajā zonā temperatūras pieaugums nav vienmērīgs. Dziļuma atstatumu metros, kurā temperatūra paaugstinās par 1°C , sauc par ģeotermisko pakāpi. Temperatūras pieaugumu grādos uz katriem 100 m dziļuma sauc par ģeotermisko gradientu (vidēji tas ir $3,3^{\circ}\text{C}$).

O Ģeotermiskā pakāpe mainās atkarībā no iežu sastāva un īpašībām. To nosaka iežu radioaktivitāte un siltuma caurlaidība. Jo lielāka ir iežu radioaktivitāte un siltuma caurlaidība, jo mazāka ģeotermiskā pakāpe. To ietekmē arī hidroķīmiskie procesi, iežu sagulums un citi faktori. Ģeotermiskā pakāpe dažādās zemeslodes vietās nav vienāda, piemēram, ASV mazākā konstatētā ģeotermiskā pakāpe ir 6 m, bet lielākā — 138 metri. Maskavā tā ir 38 m, bet Sanktpēterburgā — 20 metri. Lielākā ģeotermiskā pakāpe — 167 metri — konstatēta Dienvidāfrikā. Ģeotermiskās pakāpes noteikšanai ir liela praktiska nozīme temperatūras prognozēšanā apakšzemes darbos, šahtu un tuneļu būvēs.

O Ja uz katriem 100 dziļuma metriem temperatūra nepārtraukti pieaugtu par $3,3^{\circ}\text{C}$, tad Zemes centrā tā būtu apmēram 200 000 grādu. Šādā temperatūrā visas vielas atrodas gāzveida stāvoklī. Tomēr seismiskie pētījumi rāda, ka Zemes iekšējais kodols reaģē uz satricinājumiem kā cieta viela. Tāpēc pieņem, ka ģeotermiskais gradients ($3,3^{\circ}\text{C}$) ir raksturīgs tikai Zemes garozas virsējai daļai un tas atkarīgs no iežos esošā radioaktīvo vielu sabrukšanas procesā izdalītā siltuma. Radioaktīvās vielas sastopamas galvenokārt Zemes garozā.

Latvijā ģeotermiskie pētījumi izdarīti daudzos urbumos. Uz pamatklintāja — magmatisko un metamorfo iežu virsmas konstatētas temperatūras ir dažādas un mainās robežās no 9 līdz 65°C , bet Papes dziļurbumā 1740 m dziļumā sasniedz $62,5^{\circ}\text{C}$. Latvijā ģeotermiskie gradienti svārstās no 1 līdz $4,5^{\circ}\text{C}$ uz 100 metriem. Lielākais ģeotermiskais gradients ir Kurzemē ordovika un silūra sistēmas kaļķakmeņos. Augstākās temperatūras ir kembrija sistēmas smilšakmeņos, kuros sastopami silti, termāli, sāļi ūdeņi, kas izmantojami dziedniecībā (Liepājas sanatorija). Lielu interesi Baltijas reģionā rada termālie pazemes ūdeņi, kuru temperatūra ir $20\text{--}40^{\circ}\text{C}$ un kuri atrodas sekli, piemēram, Pērnavas svītas iežos. Šādus siltos pazemes ūdeņus jau sāk izmantot zivkopībā (Ragciemā u. c.), tur mēreni siltos ūdeņos audzē vērtīgas zivju sugas. Visracionālāk termālie ūdeņi būtu izmantojami lauksaimniecības dzīvojamā ēku un siltumnīcu apsildei ar siltumsūkņu palīdzību. Aprēķini rāda, ka urbums, kas sekundē dod 35 litrus ūdens, kura temperatūra ir 20°C , spēj apsildīt siltumnīcas 1 ha platībā. Tomēr jāatzīmē, ka, ekspluatējot termālos ūdeņus, kuru mineralizācijas pakāpe lielāka par 100 g/l, rodas tehniskas grūtības, jo ūdeņi iedarbojas uz metāliem un sāļi nogulsņējas caurulēs. Sil-



6. Baltijas kembrija perioda virsmas ģeotermiskā karte (pēc A. Freimaņa).

tos ūdeņus ieteicams izmantot kompleksi — ne tikai kā siltuma avotu, bet arī kā rūpniecības izejvielas, jo tie satur bromu, jodu, litiju, stronciju. Tāpēc svarīga nozīme ir arī ģeotermiskām kartēm, kuras Latvijā sastādījis A. Freimanis (6. att.).

Par zemeslodes iekšējo temperatūru var spriest tikai netiešā ceļā — ir konstatēts, ka dzelzs smaguma spēka iespaidā uz robežas starp mantiju un kodolu kūst 3700°C temperatūrā. Ja pieņem, ka kodols

sastāv galvenokārt no dzelzs, kas atrodas īpatnējā šķidrā stāvoklī, tad iekšējā kodola temperatūrai jābūt robežās no 4000 līdz 5000 °C.

Par Zemes garozas apakšējā slāņa temperatūru var spriest no tā, cik karsta lava izplūst vulkāna izvirdumos. Lavas temperatūra mēdz būt no 1000 līdz 1350 °C. Ieži šādā temperatūrā atrodas izkusušā, šķidrā vai pusšķidrā stāvoklī. Zemes dzīlēs — dziļāk par 200 km — spiediens ir pārāk liels, lai vielas varētu atrasties šķidrā stāvoklī. Pēc seismisko viļņu izplatīšanās pētījumiem var konstatēt, ka iežiem šādā dziļumā ir cietas vielas īpašības.

Sakarā ar Zemes radioaktīvo elementu sabrukšanu no dzīlēm Zemes virspusē caur iežiem izdalās siltums. Zemes siltuma daudzums radioaktīvo elementu sabrukšanas dēļ pakāpeniski samazinās. Pēc V. Hlopina datiem, pirms vairākiem miljardiem gadu Zeme izdalīja piecas reizes lielāku siltuma daudzumu, nekā tā izdala mūsdienās. Viņš uzskata, ka urāns-235 un urāns-238 dod 51,1%, torijs-223 — 46,8%, kālijs-40 — 2%, bet pārējie radioaktīvie elementi (stroncijs, rubīdijs, samārijs u. c.) — tikai ap 0,1% no visas Zemeslodes siltuma daudzuma. Šis siltums ir tikai 1/10 000 daļa no Saules enerģijas, ko Zeme saņem un atstaro. Skābajiem iežiem (granītiem) ir lielāka radioaktivitāte nekā bāziskajiem iežiem, tāpēc kontinentālajā Zemes garozā vajadzētu būt lielākai siltuma izplūdei nekā okeāniskajā garozā. Tomēr mērījumi rāda, ka abām garozām siltuma izplūde ir vienāda. Jāpieņem, ka daļa siltuma izplūst arī no dziļākiem Zemes slāņiem. Ģeotermālos apgabalos (Kurīļu salās, Jaunzēlandē, Japānā, Islandē, Itālijā u. c.) siltuma izplūde 10—100 reizes pārsniedz vidējo siltuma izplūdi. Vismazākā siltuma izplūde ir senos prekembrija vairogos un dziļjūras ieplakās.

ZEMES MAGNĒTISMS

Zemeslode ir kā milzīga dinamomašīna, kuras konvekcijas sistēmas mehāniskā enerģija rada elektrisko strāvu un ar to saistīto magnētismu. Zemes magnētisms pat tikai 15 km augstumā ir 40 reizes mazāks nekā uz Zemes virsas, bet, kā noteikts ar mākslīgo pavadonu un raķešu palīdzību, 90 000 km augstumā virs Zemes tas kļūst jau 10 000 reižu vājāks. Magnētiskais lauks sargā Zemi no daļiņām, kam ir liela enerģija un kuras ar lielu ātrumu lido no Visuma. Zemes virsas magnētisko lauku iedala pastāvīgā un mainīgā. Devīndesmit deviņi procenti no Zemes magnētiskā lauka ir *pastāvīgais magnētiskais lauks*. *Mainīgais magnētiskais lauks* atkarīgs galvenokārt no Saules uzliesmojumiem, kuri saistīti ar korpuskulārā starojuma jeb Saules vēja — augstas enerģijas starojuma — palielināšanos. Saules vēja ātrums ir 500 km/s, bet Saules aktivitātes periodā tas palielinās līdz 1500 km/s. Zemes magnētiskā lauka un Saules vēja mijiedarbības rezultātā uz Zemes rodas magnētiskās vētras, jonosfēras krasas izmaiņas, kā arī novērojamas polārblāzmas. Magnētiskās vētras var ilgt pat dažas dienas. Zemes garozas svārstības var izraisīt arī vulkāniskie izvirdumi, zemestrices, pērkona negaiss un citas dabas parādības.

Pastāvīgais magnētiskais lauks rodas no sarežģītiem procesiem, kas noris robežjoslā starp kodolu un mantiju. Zemei ir ziemeļu un dienvidu magnētiskais pols, kas nesakrīt ar ģeogrāfiskajiem poliem. Ģeogrāfiskā tīkla meridiāni nesakrīt ar magnētiskajiem meridiāniem. Magnētiskie poli ar laiku maina savu atrašanās vietu. Pašreiz ziemeļu magnētiskais pols atrodas Kanādas ziemeļos, bet dienvidu — Antarktīdā. Zemeslodes magnētiskās īpašības iespaido ieži. Vietās, kur atrodas magnētiskie ieži, kompasa adata novirzās no magnētiskā meridiāna — šo novirzi sauc par *magnētisko anomāliju*. Tāpēc magnētiskos mērījumus izmanto dzelzs rūdu meklēšanā un kopā ar citām ģeofizikālām metodēm ģeoloģiskajā kartēšanā.

Magnētiskā lauka svārstības var izraisīt arī vulkāniskie izvirdumi, zemestrīces, pērkona negaisi un citas dabas parādības. Pēc iežu magnētiskā virziena nosakot Zemes magnētiskā pola atrašanās vietu dažādos vēstures posmos, var noteikt iežu veidošanās laiku. Šo metodi sauc par *paleomagnētisko iežu izpēti*.

ZEMES GAROZAS ĢEOĶĪMISKĀS APLĒSES

Apkopojot 6000 analīžu datus par Zemes garozas ķīmisko sastāvu, amerikāņu ķīmiķis un ģeologs F. Klārks jau 1889. gadā publicēja Zemes garozas 16 km bieza iežu slāņa ķīmisko sastāvu. Viņš arī noteica, ka litosfēras augšējā daļa sastāv no 95% magmatisko un metamorfo iežu un tikai 5% nogulumiežu. 4% nogulumiežu ir mālainie ieži, 0,75% — smilšainie un 0,25% — kaļķainie ieži.

Ievērojot F. Klarka nopelnus Zemes garozas ķīmiskā sastāva izpētē, akadēmiķis A. Fersmanis ieviesa jēdzienu «*klarki*» — konstantes, kas raksturo ķīmisko elementu izplatību Zemes garozā. Tos izsaka masas vai atomu skaita procentos.

3. tabula

Zemes garozas vidējais ķīmiskais sastāvs

Elementa nosaukums	%, pēc masas	Elementa nosaukums	%, pēc masas
Skābeklis	47,2	Kālijs	2,6
Silīcijs	27,6	Magnijs	2,1
Alumīnijs	8,8	Titāns	0,6
Dzelzs	5,1	Ūdeņradis	0,15
Kalcijs	3,6	Ogleklis	0,10
Nātrijs	2,64	Hlors	0,045

Ģeoķīmiskie pētījumi rāda, ka litosfērā sastopami visi Mendeļeva tabulā esošie elementi, taču tie nav vienādā daudzumā. Deviņu galveno elementu masa ir 99,2% no kopējās Zemes garozas masas, bet pārējo elementu — tikai 0,8%.

Nedaudzi ķīmiskie elementi, piemēram, zelts, sudrabs, platīns, ogleklis un citi, sastopami arī tīrradņu veidā kā patstāvīgi minerāli. Iežos dominē skābeklis, kas ietilpst metālu oksīdos, silikātos, karbonātos, sulfātos u. c.

ZEMES IEKŠĒJO ĢEOSFĒRU RAKSTUROJUMS

Mūsu planētas iekšējās sfēras — garoza, mantija un kodols — ir parādītas zīmējumā, un galvenie raksturojošie dati apkopoti 4. tabulā.

4. tabula

Zemes iekšējo ģeosfēru raksturojošie dati

Ģeosfēra	Biezums, km	Dziļuma robeža, km	Tilpums, %	Seismisko viļņu izplatīšanās ātrums, km/s		Blīvums, g/cm ³
				garen- viļņiem (P)	šķērs- viļņiem (S)	
Garoza	50—	Dažāda	1,5	5,8—7,6	3,4—4,3	2,8 (vidējais)
Mohorovičiča robežvirsmā				7,9—8,2	4,3—4,6	3,3—3,4
Mantija	2860+	2900	82,3	13,6	7,3	5,5—5,9
Kodola robeža				8,1	—	9,4—10,0
Ārējais kodols	2200	5100	15,4	10,4—11,1	—	10,0—12,0
Iekšējais kodols	1270	6371	0,8	11,3	—	13,0—13,5

KODOLS

Zemes centrā atrodas kodols, tajā izšķir 2200 km biezu ārējo kodolu un 1270 km biezu iekšējo kodolu. Ārējā kodolā šķērsviļņi neizplatās, tāpēc pieņem, ka tas sastāv no stingras pusšķidrās masas. Vielu fizikālās īpašības ir atšķirīgas ārējā un iekšējā kodolā. Šī īpašību maiņa notiek uz robežas starp ārējo un iekšējo kodolu. 1966. gadā K. Bullens pirmais izvirzīja hipotēzi, ka ārējais kodols sastāv no šķidriem metāliem, bet iekšējais — no cietiem. Konstatēts, ka daudz meteorītu sastāvā ir dzelzs un niķelis. Līdz ar to daži zinātnieki pieņem, ka arī Zemes kodols sastāv no niķeļa un dzelzs kausējuma, kam ir sēra vai MgO un SiO₂ piejaukums (apzīmējums — *Nife*). Kodols radies sākotnējo vielu diferenciācijas procesā, kad smagie metāli koncentrējās Zemes centrā. Citi zinātnieki uzskata, ka Zemes kodola viela, tāpat kā mantija, milzīga spiediena rezultātā pārveidojusies ne tik daudz pēc sastāva, kā vielas stāvokļa. Pastāv hipotēze, ka milzīga spiediena apstākļos no atomiem var izspiest kodolus un vielu sablīvēt, kā rezultātā rodas kodolviela. Silikāti pāriet metāliskā fāzē.

MANTIJA

Nākamais slānis aiz kodola ir mantija. Tā iestiepjas līdz 2900 km dziļumam. Pēc seismisko viļņu izplatīšanās rakstura mantiju iedala 3 slāņos:

- augšējā mantijā,
- astenosfērā jeb pamazināta ātruma slānī,
- pārejas slānī un apakšējā mantijā.

Augšējā mantija sastāv no ultrabāziskajiem iežiem (granātu peridotītiem), kuri satur 57% olivīna, 29% piroksēna un 14% granātu. Daži autori uzskata, ka to sastāvā ir ultrabāziskie ekoglitu ieži, kas atrasti Zemes garozas lūzuma vietās un Zemes gāzu sprādzienu izveidotajās tā sauktajās «kimberlīta sprādziena caurulēs», kas sastopamas Dienvidāfrikā Kimberlas rajonā, Jakutijā un citur. Augšējā mantijā iegulst Zemes garoza, un tur noris globāltektoniskie procesi; tas izsauc kontinentu un okeānu gultņu kustību.

Astenosfēra atrodas starp augšējo mantiju un pārejas slāni. Tā atrodas 100—200 km dziļumā no Zemes virsas, bet zem okeāniem — 50—100 km dziļumā. Astenosfērā šķērsviļņu un garenvilņu izplatīšanās ātrums samazinās, tas liecina, ka vielas atrodas viskozā, pusšķidrā stāvoklī, kā arī noteic Zemes garozas un augšējās mantijas līdzsvara stāvokli — *izostāziju*. To daļēji var traucēt paisums un bēgums, ledāja segas izveidošanās, radioaktīvo vielu sabrukšana un citi faktori.

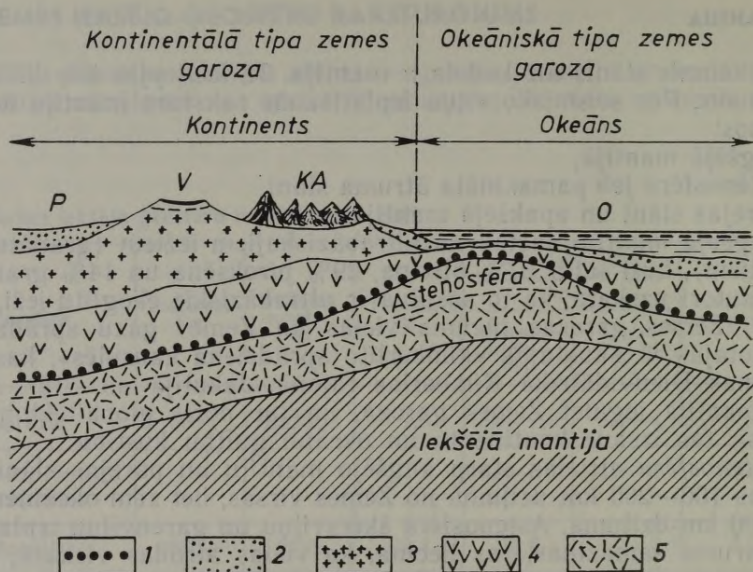
Pārejas slāņa un apakšējās mantijas slānī atrodas atšķirīga ķīmiska sastāva vielas, tāpēc seismisko viļņu izplatīšanās ātrumi tur dažādās joslās mainās. Lielākā dziļumā iežu pārkristalizēšanās noris cietākā substancē. Tā, piemēram, olivīns 500 km dziļumā veido blīvāku iekšējo struktūru (tā tilpums samazināties par 10%). Pieņem, ka apakšējā mantija sastāv galvenokārt no silikātiem, dzelzs sulfīda vai oksīda; vielas blīvums sasniedz 5,9 g/cm³.

GAROZA

Zemes garoza ir galvenais ģeologu izpētes objekts. Tās biezums ir 35—80 km. Jau 1909. gadā Zagrebas apkārtnē dienvidslāvu seismologs S. Mohorovičičs pirmais pēc zemestrīču pētījumiem konstatēja, ka apmēram 60 km dziļumā strauji palielinās seismisko viļņu izplatīšanās ātrums, tāpēc šo robežu — robežu starp Zemes garozu un mantiju — sauc arī par Mohorovičiča jeb Moho robežvirsmu. Kalnu rajonos tā konstatēta apmēram 80 km, bet okeānos — 6 km dziļumā.

Izšķir *kontinentālo* un *okeānisko* Zemes garozu (7. att.). Kontinentālās garozas vidējais biezums ir 40 km, piemēram, Vidusķrievis līdzenumā. Latvijā tas ir no 38 līdz 68 km. Jaunāko kalnu rajonos Pamīrā, Himalajos garoza sasniedz pat līdz 80 km biezumu.

Priekšstatu par kontinentālās garozas uzbūvi gūst, izmantojot gan seismisko metodi, gan arī gravimetrisko metodi. Zemes gravitācijas spēks ir atkarīgs no vietas ģeogrāfiskā platuma — kalnos tas



7. Zemes garozas uzbūves shēma:

P — platforma (nogulumieži), V — vairogs, KA — kalnu apgabals, Q — okeāns.
1 — Mohorovičiča virsma, 2 — nogulumiežu josla, 3 — granītu josla, 4 — bazalta josla, 5 — ārējā mantija.

ir mazāks nekā līdzenumos, jo, palielinoties attālumam no Zemes centra, gravitācijas spēks kļūst vājāks. Tomēr konkrētais atsevišķo vietu Zemes gravitācijas spēks ievērojami atšķiras no vidējā teorētiskā. Šis novirzes sauc par *gravitācijas spēka anomālijām*, tās izraisa Zemes garozas iežu slāņu dažāda blīvums. Blīviem, smagiem iežu slāņiem ir lielāks gravitācijas spēks, tie rada pozitīvu gravitācijas anomāliju, bet mazāk blīvie — vieglākie iežu slāņi rada negatīvu gravitācijas spēka anomāliju.

Tā kā vidējais iežu blīvums ir $2,89 \text{ g/cm}^3$, bet ūdens blīvums — 1 g/cm^3 , kalnos vajadzētu būt pozitīvai gravitācijas anomālijai. Tomēr dabā ir otrādi, jo kalnu rajonos atrodas biežāki mazāk blīvu iežu slāņi, bet zem okeāniem — plānāki blīvu iežu slāņi. Pēc gravitācijas anomālijām var daļēji uzzināt Zemes garozas slāņu sastāvu. Tāpēc anomāliju noteikšanu izmanto derīgo izrakteņu meklēšanā. Piemēram, sāls kupoli Embas baseinā un Doņeckas akmeņogļu baseins tika atklāti ar gravimetrijas metodi.

Nemot vērā gravimetrijas un seismiskos datus, kontinentālajā Zemes garozā izšķir 3 joslas.

Augšējo joslu veido *nogulumieži* — māli, kaļķakmeņi, dolomīti, smilšakmeņi u. c. To slāņi parasti guļ horizontāli, un dažos līdzenumos tie sasniedz 5 km biezumu. Kalnu rajonos, kur slāņi sabīdīti krokās, to biezums ir 15 km un vairāk.

Zem nogulumiežiem atrodas *granītu josla*. Tās sastāvā ir vairāk nekā 52% SiO_2 . V. Belousovs granītu joslu nosaucis par granītu un gneisu joslu, tajā ietilpst arī metamorfie ieži. Granītu joslas sastāvā dominē skābeklis, silīcijs un alumīnijs (Sial josla). Zem kontinentiem granīta joslas biezums ir apmēram 10 km, bet kalnu rajonos (Himalaji, Alpi u. c.) dažreiz sasniedz pat 40 km biezumu.

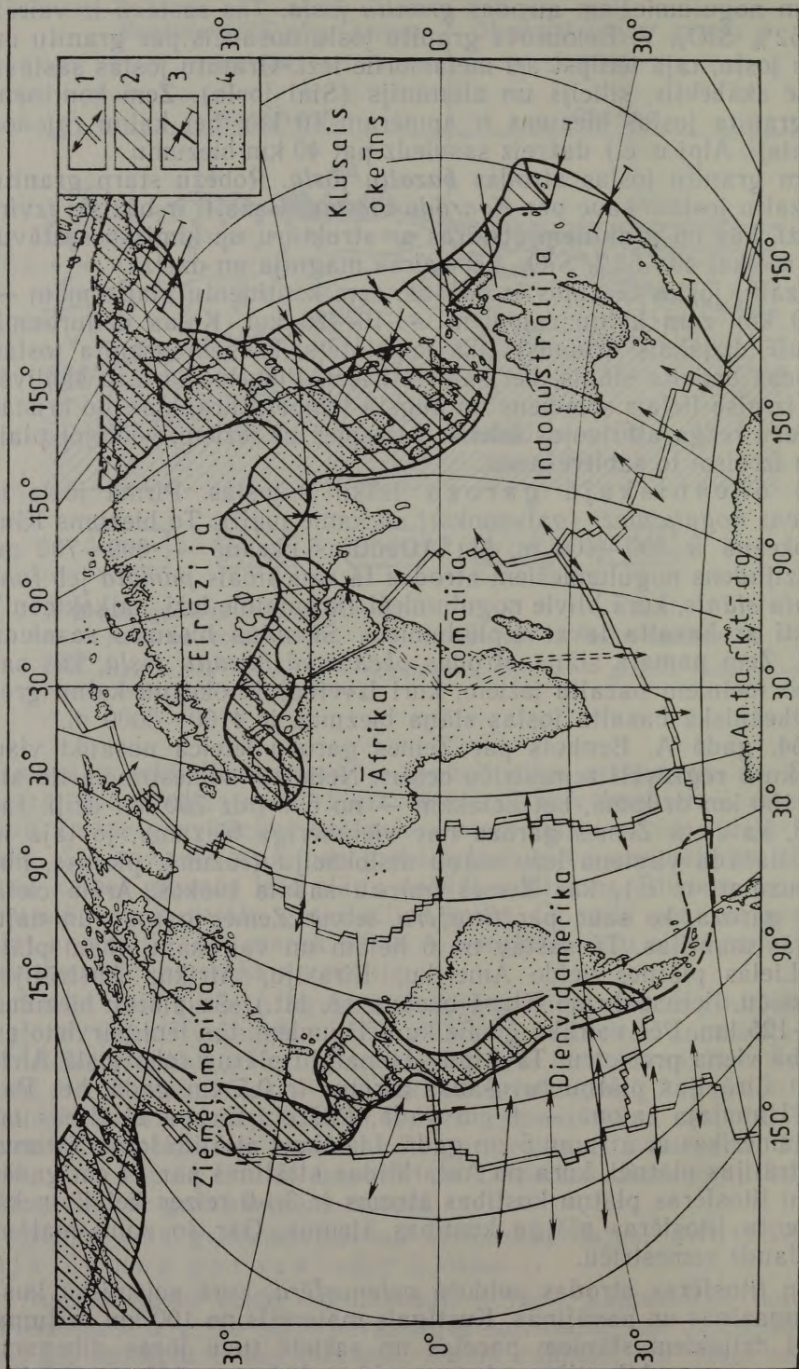
Zem granītu joslas atrodas *bazaltu josla*. Robežu starp granītu un bazaltu joslām sauc par *Konrāda virsmu*. Bazalti ir bāziski izvirdumieži, kas no granītiem atšķiras ar struktūru un ķīmisko sastāvu. Tajos ir tikai 49—52% SiO_2 , bet vairāk magnija un dzelzs.

Bazaltu joslas biezums ir dažāds: zem kontinentu platformām — 20—30 km, zem kalnu rajoniem — 10—20 km. Kolas dziļurbumā (pasaulē dziļākais urbums) tika konstatēts, ka zem granīta joslas neatrodas bazalta slānis, bet sablīvēti ieži. Pieņem, ka iežu sablīvēšanos izraisa liels spiediens un augstā temperatūra, kurā no kristāliskā iežu režģa atbrīvojas ūdens. Tas spiež uz iežiem, veidojot plaisas un izraisot to sablīvēšanos.

Arī okeāniskajā garozā izšķir 3 joslas. Pirmā josla ir *dziļūdens nogulumieži* (galvenokārt sarkanie māli). To biezums Klusajā okeānā ir 300—400 m, bet Atlantijas okeānā — 600—700 m. Zem dziļūdens nogulumiežiem atrodas tā saucamais *pamata* jeb *fundamenta slānis*, kurā blīvie nogulumieži (kramainie ieži, kaļķakmeņi) sajaukti ar bazalta lavas izplūdumiem. Šī slāņa biezums sasniedz 800 m. Zem pamata slāņa atrodas *okeāniskā bazalta josla*, kas sastāv no melniem bazalta iežiem, kuri izveidojuši okeānu kalnu grēdas. Okeāniskā bazalta joslas slāņa biezums ir 4100—8000 m.

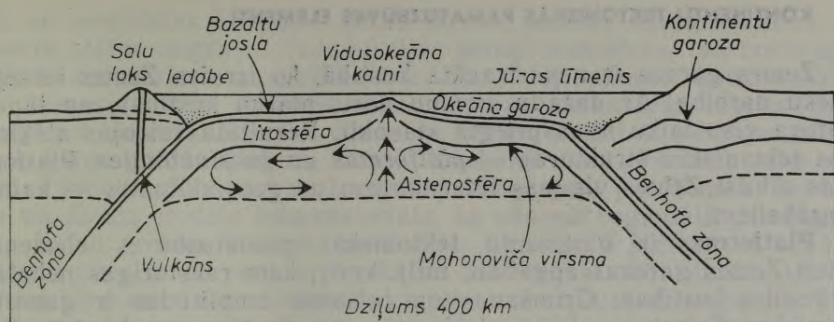
1954. gadā A. Benhoīfs par Zemes garozu ieteica nosaukt visu joslu, kurā reģistrēti zemestrīču centri. Nelielām zemestrīcēm tie atrodas 150 km dziļumā, bet lielākām — no 600 līdz 700 km dziļi. Jāatzīmē, ka cietā Zemes garoza nav vienmērīga biezuma, jo tajā ir daudz dažāda virziena iežu slāņu dislokāciju (lūzumi, plaisas, nomati, uzmati u. c.), kas Zemes garozu sadala blokos. Ārējā cietā Zemes garoza, ko sauc par *litosfēru*, ietver Zemes garozu un daļu augšējās mantijas. Tā sastāv no 6 lielām un vairākām sīkām plātnēm. Lielās plātnes veido Ameriku, Eirāziju, Āfriku, Austrāliju, Antarktīdu, lielu daļu no Klusā okeāna (8. att.). Šo plātņu biezums ir 75—125 km. Pēc vairāku ģeofiziku pētījumiem, tās lēni pārvietojas attiecībā viena pret otru. Tā Alpu—Himalaju plātņu robežjoslā Āfrikas un Eirāzijas plātņu tuvošanās ātrums ir 0,5 cm gadā, bet Pamira—Himalaja rajonā — 6 cm gadā. Pašreiz Eiropa attālinās no Ziemeļamerikas ar ātrumu 5 cm gadā. Lielākais attālināšanās ātrums ir Austrālijas plātnei, kura no Antarktīdas attālinās par 14 cm gadā. Okeānu litosfēras plātņu kustības ātrums ir 3—6 reizes lielāks nekā kontinentu litosfēras plātņu kustības ātrums. Gar šo zonu malām noris daudz zemestrīču.

Zem litosfēras atrodas peldošā *astenosfēra*, kurā seismiskā kustība samazinās un pavājinās. Kustīgais materiāls no 100 km dziļuma vai vēl dziļākiem slāņiem paceļas un sacietē tuvu jūras dibenam. Piemēram, gar Atlantijas okeāna vidus kalnu grēdām veidojas



8. Pašreizējās litosfēras plātnes un to kustības virzieni:

1 — izplešanās ass un lūzumi, 2 — planetārās saspišanās joslas, 3 — plātņu saspišanās robežas, 4 — pašreizējie kontinenti.



9. Spreidīga process.

Augšējās mantijas un Zemes garozas uzbūves shēma. Cietā litosfēra virs plastiskās asteno sfēras. Bazalta okeānu garoza veidojas vidusokeāna kalnos (augšupejoša magma, pie okeānu iedobēm mantijā iegrimstoša garoza, kas veido subdukcijas jeb Benhofa zonu). Kontakta joslā starp subdukcijas zonu un kontinentu noris kalnu veidošanās ar granītu intrūzijām.

izlijuma ieži un dažādie plātnes bloki no šīm kalnu grēdām virzās prom uz abām pusēm ar ātrumu — nedaudz centimetru gadā. Šādu procesu sauc par *jūras dibena izplešanos* vai *spreidingu*. Pieņem, ka šajā procesā noris liela tilpuma mantijas plastisko vielu kustība. Magmatiskās vielas celšanos Atlantijas okeāna kalnu grēdas rajonos veicina jaunas garozas veidošanās okeāna dibena izplešanās vietās. Tā rezultātā noris Ziemeļu un Dienvidu Amerikas bloka atdalīšanās no Eiropas un Āfrikas. Tur, kur lēnās zemokeāna kustības konveijers sadūrās ar kontinentu, piemēram, Klusā okeāna Amerikas rietumu krastā, okeāna plātnei ieliecoties un iegrimstot mantijā, pie krasta veidojās *dziļūdēns iedobes*. Tādā iedobē atrodas lielākais jūras dziļums — 11,5 km (pie Marianas salām). Aukstā traušlā litosfēra iegrimstot virzās uz leju pa nogāzi, kuru sauc par *subdukcijas zonu* vai *Benhofa zonu* un kura sniedzas līdz 700 km dziļumam (9. att.). Grimstošā litosfēra savā ceļā izraisa zemestrīces. Saduroties divām kontinentālas litosfēras plātnēm, rodas līdzīgs efekts kā pavasara palos, saduroties ledāja blāķiem. Kontinentu Zemes garoza ir vieglāka nekā jūras zemes garoza, tāpēc plātnes nenogrimst mantijā, bet tās saspiežas un to malās veidojas lielas kalnu grēdas.

Okeānu nogulumu, kuri uzgūlušies kustošām okeāna plātnēm, ir par viegliem, lai tie līdz ar litosfēru pa subdukcijas zonu iegrimtu līdz mantijai. Tāpēc, saskaroties ar kontinentu masīviem, veidojas krokas ar lūzumiem, piemēram, Andu kalniem u. c.

Šo Zemes dziļu kustību (pacelšanu, iegrimšanu, plaisu veidošanos, spreidingu) sauc par *tektoģenēzi*. Liela mēroga reģionālas kustības, piemēram, lēnas pacelšanās bez iekšējām slāņu deformācijām, sauc par *epeiroģenētiskām kustībām*. Kustības, kas izraisa kroku veidošanos un parasti noris šaurā zonā, sauc par *oroģenētiskām kustībām*. Ja nebūtu šo tektonisko Zemes virsas pārveidņu, sauszeme būtu erodēta līdz jūras līmenim.

Zemes garoza ir nepārtrauktā kustībā, ko izraisa Zemes iekšējo spēku darbība. Ar dažādu ātrumu noris plātņu kustības, un tāpēc garoza visu laiku ir saspriegtā stāvoklī. Rezultātā veidojas atšķirīgas tektoniskās struktūras — *platformas* un *ģeosinklināles*. Platformas atbilst Zemes virsmas līdzenumiem un ģeosinklināles — kalnu apgabaliem.

Platformas ir kontinentu tektoniskās pamatzbūves elements (lieli Zemes garozas apgabali, milj. km²), kam raksturīgas nelielas svārstību kustības. Grimšanas un celšanās amplitūdas ir gandrīz vienādas. Grimšanas laikā platformās nogulsņējas nogulumiežu lielākā daļa, kas ir jūras nogulumi, bet celšanās rezultātā tie tiek erodēti — noskaloti. Platformās noris vāji krokošanās procesi. Ir raksturīga divstāvu uzbūve, kam pamatā ir sens krokots kristālisks pamatklintājs, kuru pārklāj dažāda biezuma nogulumiežu slāņi ar gandrīz horizontālu sagulumu (vidēji 2000—4000 m). Platformas daļu, kurā Zemes virspusē iznāk pamatklintājs, magmatiskie un metamorfie ieži, sauc par *vairogiem*, piemēram, Karēlijas, Podolijas, Aldanas, Anabaras u. c.

Ģeosinklināles ir dziļas garenas ieplakas starp platformām, un to garums daudzkārt pārsniedz platumu. Ģeosinklināles var būt pat vairākas kopā un izveidot ģeosinklināļu joslas. Tektonisko procesu norises ģeosinklinālēs ir ar lielu ātrumu un amplitūdu. Gandrīz visas kroku kalnu sistēmas ar to spēcīgo krokojumu un dziļajām lūzuma zonām novietotas agrākās ģeosinklinālēs, kurās (pēc agrākās koncepcijas) tika nogulsnēti tūkstošiem metru biezi nogulumi kontinentu malās vai tuvu tām. Pašreiz uzskata, ka nogulumi veidojas divu vai vairāku plātņu horizontālas kustības rezultātā. Ģeosinklināļu nogulumos parasti ir atrodami sekla jūras organismi, jūras viļņu rievās, žūšanas plaisas. Bieži nogulumi tiek sanesti arī dziļās jūras piekrastes iedobēs, kuras piepildās līdz pat jūras virsmai. Tāpēc lielo kroku slāņos dažviet ir sastopami arī dziļjūras nogulumi ar attiecīgas faunas piejaukumu.

Ģeosinklināļu attīstības stadijas. Ģeosinklināļu sistēmas pētiņas simtiem gadu. Tā rezultātā radušās hipotēzes par to izcelšanās secību un evolūciju, pie šiem uzskatiem vēl pieturas daļa zinātnieku. Neskaidrs ir, kāpēc mūsdienās nav nevienas analogas ģeosinklināles. Pēc agrākās koncepcijas pieņemts, ka sākuma stadijā ir jūras ģeosinklināles ar 1000 km garumu un 200—300 km platumu, tajās nogulsņējas no 2 līdz pat 20 kilometrus biezi nogulumi, galvenokārt homogēnie ieži — kaļķakmens, kramainie nogulumi un no tuvienes sanestais drupu iežu materiāls, kā arī izvirdumu lavas materiāls. Šādi nogulumi var veidoties miljoniem gadu. Nākošajā stadijā orogēnētiskā etapā noris jau ģeosinklināļu sistēmu celšanās. To platības samazinās, jūra atkāpjas, ģeosinklināļu nogulumi tiek lēni deformēti, tie saspiežas, izveidojot krokas un lūzumus. Procesi rada jau reģionālo metamorfismu ar batolīta intrūzijām. Pieņemts, ka ģeosinklināļu tālākas veidošanās procesā bez horizontālajām kustībām

ir arī vertikālas kustības, kuras izraisa plātnes lēnās kustības. Ja viena plātne nogrimst (subdukcijas zona) zem otras, tad noris spēcīgas zemestrīces un vulkānisms. Tur, kur saduras kontinentālās litosfēras plātnes, ģeosinklināļu platības samazinās, viena daļa iegrimst mantijā, bet otra virzās uz tuvāko plātņi un veidojas milzīgas kalnu grēdas (Andos, Krimā, Kaukāzā u. c.). Pēc tam seko erozijas process, kas parasti kompensē izostāzisko pacelšanos. Beidzot ir tik daudz erodēto iežu materiāla, ka nenoris reģionālā pacelšanās un kalnu masīvs ir stipri noerodēts. Uzvirzošā plātne vai okeāna ūdeņu pacelšanās seno kroku kalnu masīvu var reducēt līdz tik zēmam hipsometriskam līmenim, ka jūra var uzplūst un uzgulsnēt jaunus nogulumus.

ĀRĒJO ĢEOSFĒRU RAKSTUROJUMS

Mūsu planētai ir raksturīgas ārējās ģeosfēras, kas atrodas virs cietās Zemes garozas. Izšķir *ūdens sfēru* jeb *hidrosfēru*, *gāzu sfēru* jeb *atmosfēru* un *dzīvības sfēru* jeb *biosfēru*. Citiem kosmiskiem ķermeņiem ir tikai dažas no šīm ģeosfērām. Piemēram, uz Mēness nav atmosfēras, savukārt uz Veneras un Marsa nav hidrosfēras, bet atmosfēra sastāv galvenokārt no ogļskābās gāzes CO_2 un dažiem citiem komponentiem nelielā daudzumā. Uz Zemes tās pastāvēšanas sākumā norisa intensīvi vulkāniskie procesi, kas veicināja pirmatnējās atmosfēras rašanos un hidrosfēras veidošanos. Vulkaniskajos procesos radušās gāzes sastāvēja no ogļskābās gāzes, ūdens tvaikiem, hlora, metāna, amonjaka, sērūdeņraža un fluorūdeņražskābes. Pieņem, ka pirmatnējā atmosfēra bijusi plāna un ka, ūdens tvaikiem kondensējoties, ir sākusies hidrosfēras attīstība. Akadēmiķis A. Vīnogradovs uzskata, ka ārējās ģeosfēras ir veidojušās no smagākām Zemes dziļu vielām, neatgriezeniskā procesā izdaloties vieglākiem elementiem.

ATMOSFĒRA

Mūsdienās atmosfērā izšķir 3 daļas — troposfēru, stratosfēru, jonosfēru (termosfēru). Ar Zemes mākslīgajiem pavadoņiem, zondēm, kosmiskajiem kuģiem un citiem aparātiem zinātnieki ir ieguvuši plašu materiālu par atmosfēras sastāvu un īpašībām. Atmosfēras augšējā robeža atrodas 1400 km augstumā, un virs tās sākas starpplanētu telpa. Par atmosfēras blīvumu var spriest pēc pavadoņu bremzēšanās un orbītu maiņas.

Ģeoloģijā lielāka nozīme ir troposfērai, kura atrodas tuvāk Zemes garozai un tieši iedarbojas uz Zemes virsmu, piedaloties eksogēnos ģeoloģiskos procesos (vēja ģeoloģiskā darbība, dēdēšana, ledāju darbība u. c.). Tā aizņem 79% no visas atmosfēras masas. Troposfēras augstums no Zemes virsas ekvatora joslā ir 16—18 km, bet virs poliem — 7—9 km. Augstums nedaudz mainās atkarībā no gada laika.

Troposfēra sastāv no slāpekļa (78 tilp. %), skābekļa (21 tilp. %), argona (0,94 tilp. %), ūdens tvaikiem, neona, putekļiem, ogļskābās gāzes (0,037 tilp. %) un citiem komponentiem.

Troposfērā noris visi galvenie meteoroloģiskie procesi, tajā ir labi izteiktas vertikālās un horizontālās gaisa strāvas, notiek arī raksturīgas turbulentās gaisa kustības. Gaisa masu pārvietošanās ātrums var pārsniegt 260 kilometrus stundā. Troposfēras temperatūra, mitrums, nokrišņi un gaisa kustība nosaka konkrētās ģeogrāfiskās vietas laika apstākļus, kas ilgākā laika periodā raksturo tās klimatu. Klimata nozīme ģeoloģiskajos procesos ir liela. To pēta meteoroloģija un klimatoloģija.

Stratosfēra atrodas virs troposfēras apmēram līdz 100 km augstumam no Zemes virsas. Tajā ir palielināts slāpekļa saturs un daudz ozona, kas saista ultravioletos starus. Meteorītiem nokļūstot stratosfērā, to ātrums samazinās, bet temperatūra palielinās līdz daži m tūkstošiem grādu, tāpēc meteorīti sāk spīdēt.

Stratosfēras dziļākos slāņos temperatūra ir stipri atšķirīga. Apakšējos slāņos tā ir no -50 līdz $+80^{\circ}\text{C}$, 30 km augstumā temperatūra krasi paaugstinās un ozonsfērā, t. i., 40 km augstumā jau sasniedz $+30^{\circ}\text{C}$, 50 km augstumā -60°C , bet 60 km augstumā -75°C . No Zemes virsas vēl augstākos slāņos temperatūra atkal pazeminās, un pie jonosfēras robežas tā ir no -75° līdz -90°C .

Jonosfēra ir atmosfēras virsējā daļa, tā sākas 80—100 km virs Zemes virsas un turpinās līdz 1400 km augstumam. Saules staru ietekmē jonu blīvums mainās atkarībā no dienas un nakts maiņas — dienā jonosfēra ir blīvāka nekā naktī, kā arī polāros apgabalos blīvāka nekā ekvatoriālajos. Ar spektrometru iegūti dati par jonu sastāvu jonosfērā. No 200 līdz 950 km augstumā pārsvarā ir skābekļa atomārie joni. Nelielā daudzumā konstatēti arī slāpekļa atomārie joni. Jonu koncentrācijas maksimums atrodas 300 km augstumā, bet virs šīs zonas jonu koncentrācija samazinās.

Magnētiskais lauks jonosfērā ir stipri mainīgs. Temperatūra jonosfērā pieaug, un 200—300 km augstumā tā sasniedz 600 — 700°C , 800—900 km augstumā konstatēta pat 1000 — 1500°C temperatūra. Tomēr sakarā ar stipri retināto gāzu stāvokli siltuma daudzums telpā ir mazs.

HIDROSFĒRA

Hidrosfēra ir ūdens veidotā zemeslodes daļa. Tā aizņem 70,8% no zemeslodes kopplatības. Hidrosfēra sastāv no lielajiem ūdens baseiniem — okeāniem, jūrām — un sauszemes ūdeņiem — ezeriem, upēm, strautiem, pazemes ūdeņiem un ledāja masīviem. Okeāni satur 94,8% hidrosfēras ūdeņu. Sauszemes ūdeņi aizņem tikai 3,5%, bet ledājos ietverts 1,7% hidrosfēras ūdens. Okeānos hidrosfēra ir vidēji 3,8 km bieza un tikai nedaudzās vietās tā pārsniedz 10 kilometrus.

Hidroloģiskā cikla ūdens riņķojums dabā sākas tieši hidrosfērā, bet to ietekmē atmosfēras faktori. Pasaules okeāna ūdens masas sa-

tur daudz siltuma, izšķīdušo minerālvielu, gāzu un organisko produktu. Hidrosfērā dažādu ģeoloģisko un ģeokīmisko procesu rezultātā nogulsņējusies lielākā daļa nogulumiežu, kuri tektonisko procesu rezultātā kļuvuši par kontinentu sauszemes daļu.

BIOSFĒRA

Biosfēra ir organismu dzīves un attīstības sfēra — tā zemeslodes daļa, kurā pastāv dzīvība. Biosfēras sastāvdaļas ir hidrosfēra, troposfēra un daļa Zemes garozas. Biosfērā koncentrējas skābeklis, ogleklis, fosfors, slāpeklis un citi elementi, bez kuriem nav iedomājama dzīvība.

Temperatūra, kādā attīstās dzīvie organismi, ir ļoti dažāda. Daži mikroorganismi un sporas iztur no -180° līdz $+140^{\circ}\text{C}$ temperatūru. Augšējā dzīvības robeža troposfērā pārsniedz pat 14 km augstumu (tur var nokļūt sporas). Naftas urbumos, kas izdarīti Zemes garozā vairāku kilometru dziļumā, ir atrastas dažādas baktērijas.

Pirmatnējā atmosfēra nesaturēja skābekli un ozona slāni. Tāpēc ultravioletie stari, nonākuši līdz Zemes virsai, neļāva tur izplatīties dzīvajiem organismiem. Pirmatnējās jūras dzīvie organismi varēja eksistēt tikai zem vismaz 10 m bieza ūdens aizsargslāņa. Jūras augu fotosintēzes procesu rezultātā atmosfērā radās nedomāta skābekļa. To var uzskatīt par jaunu dzīvās dabas attīstības posmu.

Ordovika perioda beigās uz kailajiem iežu kontinentiem sāka parādīties nabadzīga augu valsts, kas pakāpeniski kļuva plašāka un bagātāka. Kopš laika, kad uz sauszemes izveidojās blīva augu valsts, jau ir pagājis vairāk nekā 400 miljoni gadu, bet biosfērā joprojām noris nepārtraukta bioloģiskā aprīte, kas saistīta ar biomasas sintēzes un sadalīšanās procesiem.

Līdz ar augu valsts parādīšanos uz iežiem sākās augsnes veidošanās. Iežu sadēdēšana un augsnes veidošanās ir stipri atkarīga no skābekļa daudzuma. Augsne ir svarīga biosfēras sastāvdaļa, jo tā ir galvenais augu un mikroorganismu substrāts. Bez tam augsnē notiek humusa veidošanās, tam ir svarīga loma oglekļa un slāpekļa aprītē.

Biosfērā augi un mikroorganismi ir vienīgie, kas uztver Saules enerģiju, fotosintēzes ceļā saista ogļskābo gāzi un izdala skābekli. Bioloģiskās dzīves ciklos visvairāk saistītie biogēnie elementi ir O, C, N, P, S, H, K, Ca un Mg. To daudzums ir milzīgs, tāpēc biosfērai ir liela ģeoloģiska nozīme. Biogēnos elementus ietilpst arī dzīvos organismos mazos daudzumos esošie mikroelementi J, Se, F, Mo, Cu, Co, Zn u. c. Ir zināmi apmēram 60 biogēnie elementi, kuri ņem dalību dzīvības procesos.

Biosfērā dzīvo organismu darbības rezultātā ir radušies un turpina veidoties biogēnie un arī daži minerālie derīgie izrakteņi (akmeņogles, nafta, deggāze, kūdra, sapropelis, limonīti u. c.). Katrs dzīvs organisms no apkārtējās vides saista ķīmiskos elementus, kas pēc dzīvības cikla izbeigšanās papildina organiskās masas daudzumu.

Mūsu planētas galvenā biomasa atrodas seklos jūras baseinos. Biosfērā norisinās arī cilvēku ģeoloģiskā darbība, kuras rezultātā tiek izveidotas mākslīgas jūras, apūdeņoti tuksneši, nosusināti purvi, iznīcināta daļa augu valsts, mainīts klimats, samazināta augsnes erozija.

ZEMES GAROZAS SASTĀVS

MINERĀLI

Zemes garoza sastāv no iežiem, kuru īpašības atšķiras no tos veidojošo minerālu fizikālajām, ķīmiskajām un citām īpašībām.

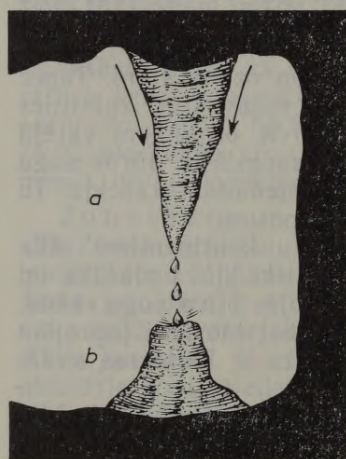
Par *minerāliem* sauc vielas, kuras radušās Zemes garozā un uz Zemes virsas dažādu ķīmisku un fizikālu procesu rezultātā. Minerāliem ir noteikts ķīmiskais sastāvs un fizikālās īpašības. Vairums Zemes garozā sastopamo minerālu ir cietas kristāliskas vielas, bet ir arī amorfas, šķidrās vai gāzveida vielas. Tātad Zemes garoza sastāv no lieliem minerālu sakopojumiem.

Minerālus var klasificēt pēc ģenēzes, izmantošanas veida, ķīmiskā sastāva. Parasti klasificē pēc ķīmiskā sastāva. Raksturīgākās minerālu klases ir šādas:

- tīrradņa elementi,
- sulfīdi,
- halogēnīdi,
- oksīdi un hidroksīdi,
- karbonāti,
- sulfāti,
- fosfāti,
- silikāti u. c.

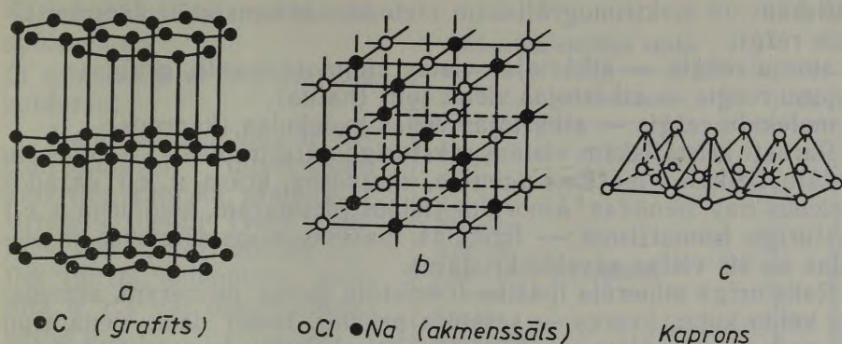
Dabā visbiežāk minerāli sastopami dabisku agregātu veidā. Tie var būt viena minerāla vai vairāku minerālu sakopojumi. Izplatītākie ir graudainie minerālu agregāti. Piemēram, granīts ir vairāku minerālu — laukšpata, kvarca, vizlas un dažu tumšo minerālu — sakopojums, bet kaļķakmens ir viena minerāla — kalcīta — sakopojums. Raksturīgi minerālu agregāti ir *konkrēcijas*, *sekrēcijas*, *stalaktīti*, *drūzas*, *dendrīti* u. c.

Konkrēcijas ir ieapaļi vai



10. Konkrēcija, stalaktīts un stalagmīts:

stalaktīta (a) un stalagmīta (b) veidošanās shēma; c — konkrēcija.



11. Kristāliskie režģi:

a — atomu režģis (grafīts), *b* — jonu režģis (akmenssāls), *c* — molekulu režģis (kaprons).

neregulāras formas minerālu sakopojumi, kas veidojas, minerālvielai saaugot ap kādu centru, piemēram, smilšu graudiņu vai kādu citu vielu. Konkrēciju lielums var būt no dažiem milimetriem līdz dažiem metriem diametrā (10. att.). Konkrēcijas parasti veido fosforīti. Dažās augsnēs veidojas nelielas kalcīta, limonīta un mangāna oksīda konkrēcijas.

Sekrēcijas ir minerālu kristālu sakopojumi, kas veidojas ieža tukšumos vai gar to sienām. Lielas sekrēcijas sauc par *geodām*, sīkas (<10 mm) — par *mandelēm*.

Stalaktīti un stalagmīti ir minerālu lāstekveida agregāti, kuri rodas pazemes alās, mineralizētam šķīdumam lēni pilot no alas sienām vai griestiem, līdzīgi kā pie jumta veidojas lāstekas. No augšas uz leju aug stalaktīts, bet no lejas uz augšu tam pretī — stalagmīts; ar laiku tie var savienoties. Šo agregātu lielums svārstās no dažiem milimetriem līdz vairākiem metriem.

Drūzas ir kristālu sakopojumi uz kopējas pamatnes. Latvijā parasti ir kalcīta kristālu drūzas uz dolomīta.

Kristāli, to nozīme. Pēc iekšējās struktūras cietās fāzes minerālus iedala kristāliskos un amorfos minerālos. Kristāliskai vielai atšķirībā no amorfas vielas ir noteikts likumsakarīgs sastāvdaļu (jonu, atomu, molekulu) sakārtojums. Katram kristālam ir sava augšanas jeb veidošanās fāze (t° , spiediens u. c.). Parasti, vairāku vielu kristāliem veidojoties vienā šķīdumā, tie tik cieši saspiežas kopā, ka nerodas tiem raksturīgā regulārā kristālu forma, kas rodas labvēlīgos apstākļos, ja kristālu augšana netiek traucēta.

Galvenā minerālvielu kristalogrāfiskā īpašība ir to noteiktā iekšējā uzbūve — raksturīgs elementārdaļiņu (atomu, molekulu, jonu) likumsakarīgs izvietojums noteiktā ģeometriskā telpiskā sistēmā, veidojot kristālisko režģi (11. att.). Katrai kristāliskai vielai ir raksturīgs atomu izmērs un izvietojums kristāliskajā režģī. Ar rentgeno-

grāfiskām un elektronogrāfiskām metodēm ir konstatēti šādi kristāliskie režģi:

- atomu režģis — atkārtojas vielas atomi (dimants, grafīts),
- jonu režģis — atkārtojas vielas joni (halīts),
- molekulu režģis — atkārtojas vielas molekulas (kaprons).

Parasti kristāliskām vielām raksturīgs anizotropisms — minerālu kristālu fizikālās īpašības (cietība, skaldnība, krāsa u. c.) dažādos virzienos nav vienādas. Amorfām vielām (dzintaram, koloīdiem u. c.) raksturīgs izomorfisms — fizikālās īpašības visos virzienos ir vienādas un šīs vielas neveido kristālus.

Raksturīga minerāla īpašība ir kristālu forma, piemēram, akmenssāls veido kubu, kvarcs — sešstūra prizmu. Tomēr dabā vienam un tam pašam minerālam var būt atšķirīgas kristālu formas, piemēram, kalcītam raksturīgas septiņas kristālu formas.

Plaknes, kuras veido kristālu virsmu, sauc par *skaldnēm*, bet skaldņu krustošanās līnijas — par *šķautnēm*. Punktus, kuros saskaras vairākas skaldnes, sauc par kristālu *virsotnēm* (12. att.). Jebkurā kristāliskajā režģī visas elementārdaļiņu veidotās plaknes krustojoties veido noteiktus leņķus. Katram minerālam attiecīgie skaldņu leņķi ir vienādi, piemēram, kvarcam tie ir $141^{\circ}47'$, $113^{\circ}08'$ un 120° . Pēc šīs leņķu nemainības var noteikt minerālus. Minerālu kristālu ārējai formai ir ciešs sakars ar to kristalogrāfisko struktūru.

Raksturīga minerālu kristālu pazīme ir *simetrija*: kristālu ierobežojošie elementi — skaldnes, šķautnes un virsotne — ir izvietoti regulāri. Kristālu pagriežot, tā skaldnes, šķautnes un virsotnes regulāri atkārtojas. Simetriju raksturo simetrijas elementi — simetrijas asis, simetrijas plaknes un simetrijas centrs.

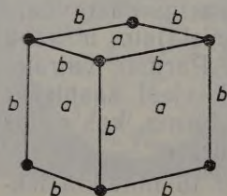
Minerālu īpašības. Minerāla noteikšana ir tā fizikālo un ķīmisko īpašību, kā arī nosaukuma, ķīmiskā sastāva un formulas noteikšana. Parasti izmanto rentģenoskopiskās, termiskās, optiskās, ķīmiskās vai lauka metodes. Uz lauka var noteikt minerāla cietību, spīdumu, krāsu, svītru, skaldnību vai lūzumus u. c.

Cietība ir minerāla spēja pretoties ieskrambāšanai ar kādu citu minerālu vai priekšmetu (kvarcu, nazi, stiklu).

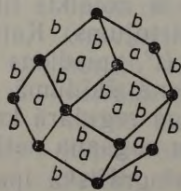
Pētot minerālus, parasti nosaka to *relatīvo cietību*. Šim nolūkam lieto t. s. cietības skalu (*Mosa skalu*). Šajā skalā sakopoti 10 minerāli pieaugošas cietības kārtībā, atzīmējot to cietību ar skaitļiem no 1 līdz 10.

Ja paraugs ir cietāks par kalcītu, bet to var ieskrāpēt ar fluorītu, tad tā cietība ir 3,5.

Spīdums ir īpašība, kas atkarīga no minerāla virsmas rakstura, caurspīdības, gaismas laušanas un atstarošanas īpatnībām. Pēc spīduma minerālus iedala 2 grupās:



Akmenssāls



Magnetīts

12. Skaldņu (*a*), šķautņu (*b*) un virsotnu (•) novietojums kristālā.

○ minerālos ar metālisku spīdumu un

○ minerālos ar nemetālisku spīdumu.

Metāliskais spīdums ir ne-caurspīdīgiem minerāliem, kuri pēc ķīmiskā sastāva ir tīrradņu metāli (varš, sudrabs, zelts), daži metālu sulfīdi (pirīts, halkopirīts, galenīts u. c.) vai oksīdi (magnetīts u. c.).

Pusmetāliskais spīdums ir nespodram, it kā apsūbējušam metālam (grafītam hematītam).

Nemetāliskais spīdums ir vairumam dabā izplatīto minerālu.

Atkarībā no spīduma intensitātes un rakstura izšķir vairākus minerālu spīduma veidus:

○ stikla spīdumu — piemīt ļoti daudziem izplatītiem minerāliem (laukšpatiem, kalcītam, augītam u. c.);

○ dimanta spīdumu — atšķirībā no stikla spīduma ir ļoti intensīvs, mirdzošs (dimantam, sfalerītam u. c.);

○ perlamutra spīdumu — laistās līdzīgi perlamutram (vizla u. c.);

○ taukainu spīdumu — minerāla virsma izskatās taukaina (talkam, nefelīnam u. c.).

Pastāv arī vēl citi spīduma veidi, kā arī minerāli bez spīduma — tie izskatās matēti.

Krāsa ir diezgan raksturīga minerālu pazīme, bieži tā ir atkarīga no minerāla ķīmiskā sastāva, kristalogrāfiskās struktūras un piemaisījumiem. Piemēram, Fe_2O_3 klātbūtne rada sarkanīgu, brūnu vai dzeltenu krāsu, daži mangānu saturoši minerāli ir melni, vara savienojumi — zaļi.

Tomēr jāņem vērā, ka daudziem minerāliem krāsa mainās atkarībā no dažādajiem piemaisījumiem. Viens un tas pats minerāls var būt dažādās krāsās, bet dažādiem minerāliem var būt vienāda krāsa. Tāpēc minerālu nevar noteikt tikai pēc krāsas, ir jānosaka vēl citas minerālu īpašības.

Swītras krāsa. Dažos gadījumos minerāla pulvera krāsa atšķiras no tā kristāla krāsas. Tā, piemēram, pirītam FeS_2 ir dzeltena krāsa, bet tā pulverim — melna. Minerālu pulvera krāsu nosaka, ja ar pētāmo minerālu velk swītru uz neglazēta porcelāna virsmas. Iegūtās swītras krāsa atbilst minerāla pulvera krāsai. Jāņem vērā, ka uz neglazētas porcelāna virsmas iespējams noteikt swītras krāsu tikai tiem minerāliem, kuru cietība nepārsniedz 6.

Skaldnība. Atsevišķi minerālu kristāli spēj skaldīties noteiktos virzienos, radot gludas skaldnības plaknes. Šī īpašība ir atkarīga no minerāla kristalogrāfiskās uzbūves. Minerāls šķēļas tajos virzienos,

Minerālu cietības skala

Minerāla nosaukums	Cietība
Talks	1
Gipsis	2
Kalcīts	3
Fluorīts	4
Apatīts	5
Laukšpats (ortoklāzs)	6
Kvarcs	7
Topāzs	8
Korunds	9
Dimants	10

kuros telpiskajā režģī starp vielas molekulām saistība ir mazāka. Skaldnība piemīt tikai kristāliskiem minerāliem. Amorfiem minerāliem skaldnība nepiemīt.

Dažādiem minerāliem skaldnība var izpausties dažādi — ne tikai vienā, bet divos un pat vairākos virzienos. Minerālu noteikšanā izšķir vairākas skaldnības pakāpes:

- ļoti laba skaldnība (vīzla);
- laba skaldnība (kalcīts, laukšpati, galenīts);
- vidēja skaldnība (fluorīts, augīts);
- vāja skaldnība — izpaužas tikai retos gadījumos, pētot minerālu mikroskopā (korunds);
- skaldnības nav (amorfie minerāli, halcedons).

Lūzuma virsma raksturīga minerāliem, kuriem nav skaldnības. Izšķir nelīdzenu lūzumu, gliemežnīcas lūzumu, zemjainu lūzumu u. c.

Minerālu noteikšanā raksturīgas pazīmes ir arī blīvums, degtspēja, higroskopiskums, magnētisms, kristālu forma, caurspīdīgums, radioaktivitāte u. c.

Minerālu veidošanās. Visus minerālus pēc izcelsmes iedala 2 ģenētiskajās grupās:

- endogēnajos minerālos — veidojušies Zemes iekšējā siltuma un spiediena ietekmē, magmatisma, vulkānisma un citos procesos;
- eksogēnajos minerālos — veidojušies galvenokārt Saules enerģijas izraisītajos dēdēšanas, ķīmiskās sedimentācijas, bioloģiskajos un citos procesos.

Magmatiskajos procesos minerāli veidojas no magmas, tai atdziestot līdz temperatūrai, kurā t. s. pneimatolītiski hidrotermālos procesos notiek minerālu kristalizācija. Ja magma atdziest tik strauji, ka kristālu veidošanās nenotiek, veidojas amorfi minerāli. Gāzes un karstie mineralizētie šķīdumi, kuri izdalās no magmas, reaģē ar apkārtējiem iežiem, izraisot *kontakta metamorfismu*.

Zemes garozas eksogēnajā zonā norit *dēdēšanas process*, kurā, ūdenim, atmosfēras gāzēm un organismiem ķīmiski iedarbojoties uz iežu minerāliem, rodas jauni minerāli.

Ķīmiskie sedimentācijas procesi norit, izžūstot ūdenstilpēm, kurās ir koncentrēti šķīdumi; rodas dažādu sāļu nogulumi (silvins, karnalīts, ģipsis, kalcīts, dolomīts).

Eksogēnu minerālu veidošanās *bioloģisko procesu* ceļā norit pēc augu un dzīvnieku atmiršanas; no to atliekām veidojas kaļķakmeņi, ogles, nafta, fosforīti u. c., kā arī organismu čaulas, skeleti u. tml.

IEŽU KLASIFIKĀCIJA

Ieži ir noteikta sastāva un uzbūves minerālu sakopojumi, kas radušies ģeoloģisko procesu rezultātā.

Iežus, kurus izmanto kā derīgos izrakteņus, sauc par rūdām, celtniecībā izmantojamus iežus — par būvmateriāliem, bet lauksaimniecībā izmantojamus — par agrorūdām.

Pēc izcelšanās iežus iedala 3 grupās:

- magmatiskos iežos,
- nogulumiežos,
- metamorfos iežos.

Magmatiskie ieži radušies, magmai atdziestot un sacietējot. Nogulumieži veidojušies Zemes virspusē eksogēno spēku (t° , spiediena, smaguma spēka, ledus u. c.) ietekmē uz magmatiskajiem un metamorfajiem iežiem, kā arī ķīmisko un organogēno procesu rezultātā. Metamorfie ieži radušies lielā dziļumā, pārveidojoties magmatiskiem vai nogulumiežiem, augstas t° , spiediena un citu faktoru ietekmē.

Zemes garozu galvenokārt veido magmatiskie un metamorfie ieži (95%). No šiem iežiem izveidojušies kontinenti, kuru ievērojama daļa (75%) klāta ar plānu 0—5 km biezu nogulumiežu slāni.

Katram iežim ir raksturīgs *mineralogiskais sastāvs*, minerālu telpiskais izvietojums ar orientāciju iežī jeb *tekstūra* un uzbūve jeb *struktūra*.

Iežu tekstūru nosaka to blīvums un sastāvdaļu telpiskais izvietojums. Magmatiskajiem iežiem tekstūras veidojas atkarībā no magmas atdzišanas dinamiskajiem apstākļiem. Sacietējot nekustīgai magmai, iezis iegūst viendabīgu *masīvu tekstūru*, ja, magmai atdziestot, izdalās gāzes, rodas *poraina tekstūra*, bet, ja kristāli aug plūstošā magmā, rodas *direktīva tekstūra*.

Metamorfie ieži, kuri veidojušies no magmatiskiem iežiem, parasti ir blīvslāniskas, joslainas, krokotas tekstūras, ar ko tie arī atšķiras no magmatiskiem iežiem. Šādas slāniskas tekstūras veidojas metamorfisma procesos. Nogulumiežiem ir slāņainas tekstūras, kuras veidojas dažādu materiālu nogulsnešanās rezultātā.

Iežu struktūra atkarīga no minerālu graudu lieluma, formas un kristalizācijas pakāpes. Ja iežu struktūrai ir labi izteikts kristālisks stāvoklis, kā tas ir daudzos magmatiskos un metamorfos iežos, tad iežu struktūra ir kristāliska. Atkarībā no tā, cik pilnīgi norisinājušies magmas kristalizācijas procesi, izšķir pilnkristālisku, puskrīstālisku un stiklainu magmatisko iežu struktūru.

Nogulumiežiem ir vājāk izteikts kristālisks stāvoklis, bet tiem ir graudaina struktūra. Pēc graudu lieluma tos arī iedala rupjgraudainos, vidēji graudainos, sīkgraudainos un smalkgraudainos iežos.

Magmatisko iežu klasifikācija

Pēc magmas sacietēšanas un saguluma apstākļiem magmatiskos iežus iedala

- *intruzīvos iežos*, kuri radušies Zemes dziļumā, un
 - *efuzīvos iežos*, kuri radušies, magmai izplūstot Zemes virspusē.
- Intruzīvos iežus savukārt iedala *abisālos iežos*, kas veidojušies lielā dziļumā, un *hipabisālos iežos*, kuri radušies vidējā dziļumā.

Tā kā magma kristalizējusies dažādos apstākļos, magmatiskajiem iežiem ir daudzveidīga struktūra.

Abisālie ieži jeb dziļumieži veidojušies Zemes garozas dziļākajās zonās, kur magmas atdzišana notikusi lēni, noteiktos ķīmiskajos un termodinamiskajos (t° , spiediena) apstākļos. Visa magmas masa paspējusi pārvērsties labi atšķiramos minerālu kristālos. Dziļumiežiem raksturīga *pilnkristāliska struktūra* (visi iežus veidojošie minerāli ir izveidojuši lielākus vai mazākus kristālus).

Hipabisālie ieži jeb vidēja dziļuma ieži veidojušies, magmai kristalizējoties vidējā dziļumā. Sai iežu grupai pieder arī *dzislu ieži*, kuri veidojušies, citai magmai iespiežoties sastingušās magmas masīvā vai iežu plaisās. Magmas atlikums pēdējā kristalizācijas stadijā ir bagāts ar gāzēm, tāpēc kristalizācija notikusi pilnīgi, radušies lieli minerālu kristāli. Šādu struktūru sauc par *pegmatītu struktūru* (13. att.). Hipabisāliem iežiem ir arī dažas īpatnējas struktūras, piemēram, *rapakivi struktūra*, t. i., ja rupji vai vidēji kristāliskā



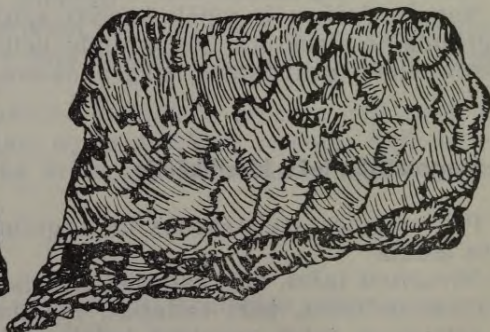
a



b



c



d

13. Magmatisko iežu struktūra:

a — pilnkristāliska graudaina, b — porfīra, c — stiklaina, d — pegmatīta struktūra.

pamatmasā ir lieli ieapaļi sarkani, rozā vai dzeltenbrūni laukšpata — mikrolīna — kristāli. Hipabisālajiem iežiem var būt arī vienmērīgi pilnkristāliska graudaina struktūra (aplīts).

Efuzīvie ieži jeb izlijumieži veidojas, magmai lavas veidā izplūstot Zemes virpusē, kur strauji mainās temperatūra un spiediens. Magmai strauji atdziestot, samazinās mineralizējošo gāzu daudzums un minerāli nepaspēj pilnīgi kristalizēties, tā rezultātā veidojas amorfa masa ar raksturīgu *stiklainu* vai *slēptkristālisku struktūru*, kurā minerālu kristālus var noteikt tikai mikroskopā (afanītiska struktūra). Bez tam izlijumiežiem ir raksturīga *porfīriska struktūra*, t. i., slēptkristāliskā pamatmasā ieslēgti atsevišķi lielāki minerālu kristāli. Šie atsevišķie minerālu kristāli veidojušies jau pirms magmas atdzišanas, tai izplūstot no dziļākiem Zemes garozas slāņiem.

Sīkāk starp dziļumiežiem, vidēja dziļuma iežiem un izlijumiežiem ir pārejas pakāpes, kas redzamas to struktūrā. Magmatisko iežu mineraloģiskais sastāvs un fizikāli ķīmiskās īpašības ir atkarīgas no magmas ķīmiskā sastāva kristalizācijas procesā. Parasti vidējo ķīmisko sastāvu magmatiskajiem iežiem nosaka to mineraloģiskais sastāvs. Galvenie iežu veidotājminerāli ir silikāti un kvarcs. Pēc galveno minerālu satura magmatiskos iežus apvieno grupās ar līdzīgu minerālo un ķīmisko sastāvu. To nosaukumi atbilst šo grupu izplatītāko intruzīvo un efuzīvo iežu nosaukumiem. Izšķir šādas iežu grupas:

- peridotītu—limburgītu grupa (ultrabāziskie ieži),
- gabro—bazaltu grupa (bāziskie ieži),
- diorītu—andezītu grupa (neitrālie ieži),
- sienītu—trahītu grupa (neitrālie ieži),
- granītu—liparītu grupa (skābie ieži),
- nefelīnu—sienītu grupa (sārmainie ieži) u. c.

Magmatiskos iežus klasificē arī pēc kopējā SiO_2 satura (ne tikai kvarca, bet arī SiO_2 satura silikātos un alumosilikātos); sk. 6. tab. SiO_2 saturs magmatiskajos iežos nosaka to mineraloģisko sastāvu, krāsu un blīvumu.

6. tabula

Magmatisko iežu iedalījums pēc SiO_2 satura

Grupa	Ieži	SiO_2 saturs, %
I	Ultrabāziskie ieži	<45
II	Bāziskie ieži	52—45
III	Neitrālie ieži	65—52
IV	Skābie ieži	>65

Ultrabāziskie ieži ir bagāti ar Mg un Fe saturošiem minerāliem olivīnu un piroksēniem. Iežu krāsa ir no tumši zaļas līdz melnai.

Bāzisko iežu veidotājminerāli ir piroksēni un plagioklazi, kā arī olivīns un ragmānis. Lielais daudzums tumškrāsaino minerālu ieži padara tumšu, uz tā fona izceļas gaišāki plagioklazu kristāli.

Neitrālie ieži satur vairāk gaišo laukšpatu nekā tumšo minerālu. Šāda minerālu attiecība ieži dara gaišu ar atsevišķiem tumšiem kristāliem.

Visiem *skābajiem iežiem* raksturīgs minerāls kvarcs un liels daudzums laukšpatu grupas minerālu. Dominējošie ir kāliju un nātriju saturoši laukšpati. Ieži ir gaiši.

Izplatītāko magmatisko iežu raksturojums

● Dziļumieži

Granīti. Latvijas granīta laukakmeņiem bieži ir porfīrveida struktūra, to pamatmasā ieslēgti palieli ovālas formas laukšpata kristāli. Ir arī pārejas formas no granītiem uz pegmatītiem un porfirītiem — pegmatīta granīti, porfīra granīti, porfirīta granīti. Granīti parasti satur 40—60% kālija laukšpatu, 20—30% kvarca, 10—15% plagioklazu un 10% vizlu un ragmāņa. Atkarībā no dominējošo minerālu daudzuma un sastāva izšķir vizlu granītu, ragmāņa granītu, granulītu (ar daudziem akcesoriskiem minerāliem — granātiem). Īpatnējs ir ragmāņa granītu paveids — rapakivi (somu *rapa* — sapuvušais, *kivi* — akmens), kas pie mums bieži sastopams laukakmeņu veidā. Rapakivi ir porfīrveida ragmāņa — biotīta — granīts, kurā porfīrie ieslēgumi ir palieli apaļi kālija laukšpatu (parasti ortoklaza) veidojumi ar zaļganu vai citādas krāsas oligoklaza apvalku. Granītu krāsu nosaka laukšpati un kvarcs. Parasti granīti ir gaiši: bālgani, pelēki, sarkani un dažreiz zaļgani, ja tie satur radioaktīvu mikroklīnu (amazonīti). Granīti ir visu kontinentu pamatklintāja, kroku kalnu un vairogu galvenais pamatmateriāls. Latvijā izplatītākie laukakmeņi un pamatklintājs ir granītisks. Tas ir uzurbts Saldus, Kuldīgas, Piltenes un citos dziļurbumos. Augšņu cilmieži granīti sastopami daudzos kalnu rajonos Kolas pussalā, Ukrainā, Brazīlijā, Kanādā u. c.

Pret dēdēšanu izturīgākie ieži ir sikkristāliskie granīti ar nelielu vizlas saturu. Tie ir izturīgi pret spiedi un klimata ietekmi, tāpēc ir labs būvmateriāls. Šos iežus izmanto arī ēku apdarei, pamatiem, tiltu balstiem, pieminekļiem, bet granīta šķembas — ceļu būvē un betonam.

Granodiorīti ir granītam līdzīgi ieži ar palielinātu plagioklazu un samazinātu K un Na laukšpatu daudzumu. No granīta tie atšķiras ar tumšāku krāsu, jo satur vairāk tumšo minerālu. Fizikālās īpašības un izmantošana tāda pati kā granītiem.

Sienītu sastāvā dominē K un Na laukšpati (ortoklāzs, mikrolīns), mazāk plagioklaza un melno minerālu (ragmāņa, biotīta). Sienītā kvarca nav vai ir nedaudz. Turpretī granītā kvarca ir vairāk par 20%. Sienīti parasti ir gaiši — rozā, sarkanbalti vai gaiši pelēki. Latvijā sienīti kā laukakmeņi sastopami reti. Kā augšņu cilmieži tie nelielās platībās sastopami Urālos un Ukrainā. Sienītu izmanto tāpat kā granītu. Tā kā sienītā parasti nav kvarca, tas ir vieglāk apstrādājams.

Diorīti pēc struktūras līdzīgi granītam. Sastāvā dominē plagio-klazi (oligoklāzs, andezīns), mazāk ir tumšo minerālu (sastop ragmāni un biotītu, nedaudz arī piroksēnus). Ja diorītā ir vairāk kvarca, tad to sauc par *kvarcdiorītu*; ir arī pārejas veidi uz granītu — *granodiorīti* un *gabro*. Diorīti parasti ir tumši pelēki (nekad nav sarkani). Latvijā diorīti sastopami tikai laukakmeņu veidā. Kā augšņu cilmieži tie sastopami Kaukāzā un Urālos.

Gabro sastāvā ir daudz tumšo minerālu — piroksēnu un plagio-klazu (apmēram 50%). Tāpēc šo iežu krāsa parasti ir tumši pelēka. Ja iezī ir daudz olivīna, tad to sauc par *olivīngabro*. Olivīngabro krāsa — zaļgani pelēka. Gabro iezīem ir arī pārejas veidi uz diorītiem, tiem raksturīga tumšāka krāsa. Latvijā gabro samērā bieži sastopami laukakmeņu veidā. Kā augšņu cilmieži tie sastopami Urālos, Ukrainā Kijevas un Žitomiras apgabalos, Kolas pussalā u. c. Izmanto tāpat kā granītus. Bieži izmantot pieminekļu izgatavošanai.

Labradorīts sastāv galvenokārt no plagioklaza labradora (mēnesakmens), kas ir melns vai tumši pelēks, ar zili zaļu irizāciju uz skaldnības virsmām. Latvijā labradorīts kā laukakmens sastopams reti. Uzurbts Kurzemes dziļurbumos, kur veido Kurzemes labradorīta—granīta (rapakivi) masīvu. Labradorītu bieži izmanto ēku apdarei.

Peridotīts sastāv no olivīna un piroksēna, var būt arī ragmānis. Krāsa melna vai zaļgani melna. Sastop Urālos. Latvijā peridotīts kā laukakmens sastopams reti.

Piroksenītam ir pilnkristāliska struktūra. Tas sastāv no piroksēnu grupas minerāliem. Krāsa — melna. Sastop Urālos. Izmanto galvenokārt ēku apdarei.

Ultrabāziskie dziļumieži peridotīts, piroksenīts, dunīts uz Zemes virsas aizņem nelielas platības, taču ar to masīviem saistītas hroma, niķeļa, platīna un azbesta atradnes.

● Vidēja dziļuma iezī

Vidēja dziļuma iezī veidojas magmas pēdējā kristalizācijas posmā, kad kristalizācija noris pilnā apmērā. Struktūra veidojas, vienlaicīgi kristalizējoties laukšpata un kvarca kristāliem. Minerāli izaug cits citam cauri (tāpat kā dažos metāla kausējumos). Ja caur-augumi ir taisni norobežoti, paralēli, iezis pēc ārējā izskata atgādina austrumzemju rakstus (ebreju akmens) un to sauc par *rakstu pegmatītu*.

Parasti šos iežus caurauž dažāda lieluma laukšpata un kvarca minerālu kristāli, šķautņaini vai apaļi norobežoti. Vidēja dziļuma iezīem raksturīgi lieli minerālu kristālu saaugumi, tāpēc šos iežus sauc par *pegmatītiem*.

Pegmatīti parasti sastāv no lieliem kvarca un ortoklaza saaugumiem ar balto vizlu. Pegmatītu kristālu diametrs var sasniegt 10 m, taču atrasti pat tonnu smagi kvarca kristāli. Dažreiz minerālu caur-augumi ir mazi vai pat mikroskopiski. Šādu struktūru sauc par *mikropegmatītu struktūru*. Katrai dziļumiežu grupai atbilst attiecīga

sastāva pegmatīti. Visizplatītākie ir *granītpegmatīti*. Ar pegmatītu laukumiem bieži ir saistītas rūdu, reto elementu, dārgakmeņu un vizlu atradnes. Sastopami Vidusurālos, Hibīnos un Aizbaikālā. Pegmatītus izmanto porcelāna un fajansa izgatavošanā. Lielos muskovīta kristālus lieto elektrotehnikā kā izolācijas materiālu. Pegmatītu dzīslas satur arī retos elementus — fluoru, boru un fosforu saturošus minerālus: berilu, turmalīnu, korundu, anerītu, spodumenu, kolumbitu, monacītu, apatītu u. c. Latvijā pegmatītus sastop laukakmeņu veidā.

● Izlijumieži

Sarkanaīs Baltijas jūras kvarcporfīrs. Granīta un sienīta tipa izlijumiežus, kam ir amorfa vai slēptkristāliska pamatmasa ar sekundāri izveidotiem minerāliem tajā, sauc par *porfīriem*. Porfīrus, kuros ieslēgti kvarca graudi, sauc par *kvarcporfīriem*. Baltijas jūras kvarcporfīram ir sarkana vai ķieģeļsarkana slēptkristāliska pamatmasa, kurā ieslēgti dažus milimetrus lieli sarkani laukšpata vai pelēki, zilganbalti kvarca graudi. Latvijas rietumu daļā laukakmeņi bieži sastāv no šī kvarcporfīra. Nozīmīgi ir vadlaukakmeņi, to pamatatradne ir Baltijas jūras dibenā uz dienvidiem no Ālandu salām.

Brūnais Baltijas jūras kvarcporfīrs. Brūnā vai sarkanbrūnā pamatmasā ir līdz 5 mm lieli noapaļoti kvarca, laukšpata un halcedona graudu ieslēgumi. Ja ieslēgumi ir lielāki, ar zaļganu ragmāņa vai plagioklazu apmali un sastopami arī tumšo bāzisko minerālu ieslēgumi, tad šādu kvarcporfīru sauc par Ālandu kvarcporfīru. Brūnie Baltijas jūras kvarcporfīri Latvijā parasti sastopami nelielu laukakmeņu veidā. To pamatatradnes atrodas uz dienvidiem no Ālandu salām un Botnijas jūras līča dibenā. Izmanto tāpat kā granītus.

Andezīti ir diorīta magmas kainotipa izlijumieži. Skābos andezītus sauc par *dacītiem*. Andezītiem ir arī pārejas formas uz bazaltiem un liparītiem. Bez mikroskopa palīdzības tos nevar atšķirt no bazaltiem. Latvijā andezīti kā laukakmeņi sastopami reti.

Bazalti ir gabro magmas izlijumieži (analogi) ar slēptkristālisku vai sīkkristālisku struktūru. Tie sastāv no augīta, plagioklaziem, olivīna, magnetīta un vulkāniskā stikla. Bazalti ir izplatītākie vulkāniskie izlijumieži pasaulē, sastopami seno un darbīgo vulkānu rajonos. Bazalta lava tur pārklājusi lielas Zemes virsas platības un dažviet sasniedz ievērojamu biezumu. Starp Jeņiseju un Ļenu tā klāj vairāk nekā 500 000 km² platību, bet Indijā Dekāna plato masīvā aizņem 550 000 km² un sasniedz 3 km biezumu. No bazaltiem iegūst dažādus kausējumus, kuri ir izturīgi pret mehānisku un skābju iedarbību, tāpēc no tiem izgatavo ķīmiskos traukus, flīzes, izolatorus u. c. Latvijā bazalti kā laukakmeņi sastopami reti.

Melafīri ir bāziskie izlijumieži ar porfīrisku struktūru. No melafīriem izplatītākie ir *uralītporfīri* ar slēptkristālisku vai sīkkristālisku zaļganmelnu vai zaļganu pamatmasu, kurā ieslēgti līdz 10 mm lieli augīta kristāli; var būt arī zaļgana plagioklaza un biotīta ieslēgumi. Pamatmasa sastāv no augīta, ragmāņa, plagioklaza, biotīta, magne-

tīta un citiem minerāliem. Latvijā melafīri sastopami kā laukakmeņi. Izmanto tāpat kā bazaltu.

Mandelieži bieži sastopami starp porfīriskiem bāziskajiem izlijumiem. Tajos poras sekundāri aizpildītas ar kalcīta, prenīta, haledona minerāliem, veidojot ieapaļas, mandelēm līdzīgas formas. Latvijā mandelieži sastopami kā vadlaukakmeņi, to pamatatradne ir uz ziemeļiem no Gotlandes salas.

Diabāzi ir bāziskie izlijumi, ar ofīrisku struktūru. Starp zaļgani pelēkiem augīti un ragmāņa kristāliem atrodas gaišas plagioklaza kristāla adatas, kuras veido starainu rakstu, pēc kā šos iežus var viegli noteikt.

Nogulumiežu klasifikācija

Nogulumieži no magmatiskiem un metamorfiem iežiem atšķiras ar mazāk kristālisku graudainu struktūru, kā arī ar sagulumu un dažreiz arī ar sastāvu. To veidošanās procesā ir 4 stadijas: dēdēšanas, sedimentu veidošanās, diaģenēzes un kataģenēzes stadija. Nogulumieži galvenokārt rodas, eksogēno spēku ietekmē sadēdot citiem iežiem. Sedimentu veidošanās stadijā liela daļa sadēdējušo nogulumiežu pārvietojas no kalniem uz ielejām.

Nogulumiežus, kuri veidojušies iežu dēdēšanas rezultātā un no sauszemes pārtransportējušies uz ūdens baseiniem, sauc par *terigēniem nogulumiežiem*. Šie ieži parasti ir kārtaini.

Terigēnie nogulumi ķīmisko, ģeoloģisko un citu eksogēno spēku ietekmē sablīvējas, sacementējas. Tā, piemēram, smiltis pārvēršas par smilšakmeņiem, kaļķakmeņi — par dolomītiem utt. Šīs nogulumiežu pārvērtības ģeoloģijā sauc par *diaģenēzi*.

Dažreiz diaģenēzei seko *kataģenēze*, kurā iežu intensīvas sablīvēšanās, temperatūras, augstāk esošu iežu spiediena un pazemes ūdeņu ietekmē mainās terigēno nogulumu sastāvs un uzbūve.

Nogulumiežu veidošanās procesā izveidojas 3 iežu grupas:

○ drupu ieži jeb mehāniskie ieži (klastolīti), kuri veidojas, iežiem sadrūpot, fiziski sadēdot un nosēžoties;

○ mālu ieži, kuri veidojas galvenokārt no primāriem minerāliem, tiem ķīmiski sadēdot;

○ ķīmiskās un biokīmiskās izcelsmes ieži, kuri rodas galvenokārt ūdens baseinos, ķīmiski pārveidojoties un izgulsnējoties izšķīdušiem sāļu sadēdēšanas produktiem, kā arī veidojas organismu dzīvības procesu norisēs.

● Drupu ieži

Drupu ieži veidojas galvenokārt primāro iežu fiziskās dēdēšanas procesā — sadrūpot un sasmalcinoties. Tie sastāv no iežu drupatām un minerālu lauskām, kuras nosēšanas laikā sašķirojas pēc graudu lieluma un masas. Sīkāk drupu iežus iedala pēc dominējošo frakciju lieluma (7. tab.). Vienīgi ledāja nogulumus izdala atsevišķā grupā, jo tiem mehāniskā šķirošanās nav notikusi vai bijusi ļoti vāja.

Drupu iežu klasifikācija

Granulometriskās grupas	Dominējošo frakciju lielums, mm	Ieža nosaukums	
		irdenie ieži	cementētie ieži
Rupjgraudainie ieži (psefīti)	>100	Akmeņu blāķi (šķautņaini)	Konglomerāti (sastāvdaļas noapaļotas)
	100—10	Oļi, šķembas (šķautņaini)	Brekčijas (sastāvdaļas šķautņainas)
	10—1	Grants	
Vidēji graudainie ieži (psamīti)	1—0,1	Zvirgzdi (šķautņaini)	Smilšakmeņi
		Smiltis	
Puteklainie ieži (aleirīti)	0,1—0,01	Less, aleirīti jeb putekli	Aleirolīti
Mālu ieži (pelīti)	<0,01	Māli	Aleiropelīti
Morēnu ieži	Dažādu frakciju maisījums	Mālsmits, smilšmāla un māla morēnas	Morēnu konglomerāti

Drupu ieži var būt irdeni un cementējušies. Cementu var veidot dažādi ķīmiski savienojumi (kaļķi, dolomītu, dzelzs, mālus saturoši u. c.). Ja cementējušies noapaļoti rupjgraudaini iežu gabali, ieži sauc par *konglomerātu*, ja šķautņaini, — par *brekčiju*.

Drupu iežu mineralogiskais sastāvs ir ļoti mainīgs, un to praktiskā izmantošana ir atkarīga no iežu granulometriskā sastāva, t. i., frakciju lieluma (oļi, šķembas, grants, smiltis).

Aplūkosim iežu granulometriskās grupas.

Rupjgraudainie ieži veidoti no atsevišķu minerālu vai iežu gabaliem, kuru diametrs lielāks par 1 mm. Atkarībā no graudu formas un lieluma tos iedala vairākās grupās.

○ *Laukameņi* — noapaļotas formas ieži un iežu gabali, kuru izmēri lielāki par 100 mm.

○ *Blāķu iežiem* ir raksturīga šķautņaina forma.

○ *Oļu ieži* sastāv no noapaļotiem iežu gabaliem, kuru diametrs ir no 10 līdz 100 mm.

○ Arī *šķembām* ir raksturīga šķautņaina forma.

○ *Granti* veido galvenokārt noapaļotas formas drupu materiāls, kura daļiņu diametrs ir no 1 līdz 10 mm.

○ *Zvirgzdi* ir iežu sastāvdaļas, kuru lielums ir no 1 līdz 10 mm un kurām pārsvarā ir šķautņaina forma.

Rupjgraudainos iežus izmanto būvpatatnēm, kā arī šķembu betona, šūnbetona, paneļu, bloku, podestu, kārneņu ražošanai. Grants ir augšņu cilmiežis ar labu ūdenscaurlaidību, bet tai ir maza nozīme, jo grants aizņem mazāk par 1% no Latvijas teritorijas.

Vidēji graudaino iežu diametrs ir no 0,1 līdz 1 mm. Tie ir dabā izplatītie smiltis ieži, kuru nosaukums veidots pēc dominējošā minerāla. Latvijā izplatītākās ir *kvarca smiltis* ar labu ūdens caurlaidību. Izplatītākie biežākie smilšu slāņi Latvijā ir devona smilšu nogulumi.

Zemes virspusē atrodas kvartāra smiltis, ledāja kušanas ūdeņu, ezeru, jūras un vēja radītie nogulumi. Tie veido augšnes cilmieži, kurš aizņem 23% no Latvijas teritorijas. Smiltis ieži ir galvenais izejmateriāls stikla, keramikas un būvmateriālu rūpniecībā. Kvartāra kāpu smiltis tiek izmantotas mākslīgā akmens siporeksa izgatavošanā, kā arī ļoti plaši silikātķieģeļu gatavošanā.

Putekļainie ieži vairāk nekā 50% satur frakciju, kuras sastāvdaļu lielums ir no 0,01 līdz 0,1 mm. Šī frakcija tiek iedalīta *rupjos putekļos* (0,05—0,1 mm) un *sīkos putekļos* (0,01—0,05 mm). Ja aleiriti ir savstarpēji cementēti, tad tos sauc par *aleirolītiem*. Putekļu iežus, kuros daudz smilšaino daļiņu un kuri īpašību ziņā ir līdzīgi smiltīm, sauc par *smilšainiem putekļiem*. Putekļu iežus, kuros ir daudz mālaino daļiņu, sauc par mālainiem putekļiem. Pēc fizikālajām īpašībām tie līdzīgi lesa iežiem, kuri ir galvenie melnzemes augšņu cilmieži. Uz putekļu iežiem ir izveidojušās arī Latvijas auglīgākās velēnu karbonātu augšnes.

Bez labi šķirotiem drupu iežiem (grants, smiltīm, putekļiem, māliem) plaši izplatīti ir jauktie ieži. Sevišķi bieži sastopami mālu un smiltis sajaukumi. Šiem iežiem ir stipri atšķirīgas fizikālās īpašības: porozitāte, ūdens kapacitāte, ūdens caurlaidība u. c.

● Mālu ieži

Zemes garozā izplatītākie nogulumieži ir māli — sekundāro mālu minerālu un sasmalcināto smalko drupu iežu maisījums. Sekundārie mālu minerāli radušies, primāriem minerāliem sadēdēšanas garozā sintezējoties un kristalizējoties. Lielākai daļai no tiem ir kristāliska uzbūve un ļoti sīka sasmalcinātība — daļiņu lielums nepārsniedz 0,005 mm. Māli parasti ir poliminerālu veidā, monominerālu māli ir reti sastopami. Latvijas kvartāra māli parasti sastāv no 3 komponentu asociācijas (hidrovizla, kaolinīts, hlorīts), retāk sastopamas 4 un 5 komponentu mālu minerālu asociācijas, kuru sastāvā ietilpst arī montmorilonīts, vermikulīts un jaukta slāņa minerāli.

Pēc piejaukumiem mālus klasificē šādi:

- smilšaini māli,
- putekļaini māli,
- dzelžaini māli.

Ja mālos ir daudz smilšu un putekļu frakciju, tos sauc par *liesiem māliem* (pirkstos paberžot jūt asumu). Ja mālos ir 10—25% karbonātu, tos sauc par *merģelājiem māliem*, bet, ja karbonātu saturs ir no 25 līdz 50%, — par *merģelmāliem*. Mālu iežu raksturīgākās fizikālās īpašības jāņem vērā iežu noteikšanā un izmantošanā. Sausā stāvoklī māli ir zemjaini, mitrā — plastiski. Māliem izžūstot, to tilpums samazinās, bet forma saglabājas. Māli ir ūdensnecaurlaidīgi ieži. Svarīgs ir arī mālu ģeoloģiskais vecums, jo vienāda vecuma māliem parasti ir līdzīgas īpašības. Latvijas teritorijā sastopamos mālus iedala 2 grupās:

- pamatiežu mālos un
- kvartārajos mālos.

Pie pamatiežu māliem pieder kembrija, devona, karbona, triasa un juras māli.

Kvartārie māli ir izveidojušies ledus un pēcledus laikmetā, un pēc izcelšanās tos iedala šādi:

- Baltijas jūras transgresijas nogulsņētie māli,
- pieledāja ezera māli (slokšņu māli),
- iekšledāju ezeru māli un
- morēnu māli.

Baltijas jūras transgresijās nogulsņētie māli atrodas piekrastes līdzenumā, ko veidojušas daudzās Baltijas jūras attīstības stadijās notikušās transgresijas un regresijas. Lielākās šo mālu atradnes ir Zemgales līdzenumā pie Kalnciema, Ventspils apkārtnē un uz dienvidiem no Liepājas ezera. Ar termogrāfisko un rentgenodifraktometrisko metodi noteikts, ka mālu frakcija satur galvenokārt hidrovislas. Kvartāra māli nogulsņējušies piekrastes ūdenstilpēs no materiāla, ko ienesuši no sauszemes ieklūstošie duļķainie ūdeņi. Dažos mālu slāņos ir vāji izteikta kārtaina struktūra. Šie māli bieži satur sakņu atliekas, saldūdens gliemju čaulas; tas liecina par recenta ezera nogulumiem. Kalnciema atradnē Baltijas ledus ezera māli uzgulst slokšņu māliem.

Kalnciema māli tiek izmantoti ķieģelrūpniecībā, kā arī no ķieģeļu šķembām un dolomīta tiek ražots augstvērtīgs siltumizolācijas materiāls — minerālvate. Bez tam tiek izgatavotas vēl raksturīgas zaļgandzeltenas viļņotas vai plakanas stikla plasta plāksnes un paklāji.

Pieledāja ezera māli. Izteikta slāņojuma jeb slokšņojuma dēļ tos sauc arī par *slokšņu māliem*. Māli ir brūnā, gaiši brūnā, dzeltenbrūnā vai pelēkbrūnā krāsā. Tie satur 15—30% karbonātu, tāpēc pieder pie mergelājiem slokšņu māliem. Dominējošie minerāli tajos ir hidrovislas un kaolinīts. Dažu paveidu māli satur 40—50% putekļu frakciju un 5—6% Fe_2O_3 .

Pieledāja ezera māli veidojušies leduslaikmeta beigu posmā ledāja malas tuvumā. Tie radušies plašās ūdenstilpēs, kas aizņēma reljefa iepaklas. Šos ezerus vienu no otra atdalīja reljefa paaugstinājumi, kā arī neizkusušā ledus masas. Ūdeņiem pārraujot šo barjeru un ledājiem pilnīgi nokūstot, ūdeņi no baseiniem ar augstāku līmeni noplūda uz baseiniem ar zemāku līmeni. Šādas noplūšanas rezultātā radusies Abavaš senleja un citas. Vietās, kur atradās lielle pieledāja kušanas ūdeņu ezeri, sastopamas bezakmens mālu iegulas. Šo baseinu mālu sloksnē ir divas kārtas — vasaras kārta, kas ir gaišāka, biezāka, sastāv no smilšmāla vai smilšaini puteklaina māla, un ziemas kārta, kura ir tumšāka, plānāka, sastāvoša no treknāka māla. Latvijā ir vietas, kur slokšņu mālu kārtas biezums sasniedz pat 16 m, un tās sastāv no 1—2 mm biezām sloksnēm.

Pieledāja ezeru māli ir uzgulsnējušies morēnu iežiem, un to biežums atkarīgs no morēnu reljefa. Šajā baseinā smalkākās struktūras māli izgulsņējušies baseina centrālajā daļā, bet tā perifērijā mālos pieaug putekļu un rupjāko daļiņu daudzums. Pazīstamākās ir Libertu, Spartaka un Progresas māla atradnes. Šo atradņu māli ir

vidēji plastiski, ar ķīmiski diezgan nemainīgu sastāvu. Tos izmanto ķieģeļu gatavošanai, portlandcimenta un keramikas rūpniecībā.

Piededāja ezeru māli sastopami arī Ventas ielejā, Rietumkurzemes augstienes nogāzē. Pazīstamākās ir Cieceres, Priekškalna, Ugāles un citas atradnes. Lieli mālu baseini ir Ziemeļlatvijas un Lubānas līdzenumā, kur daži atrodas teritorijās ar mazliet viļņotu reljefu, tāpēc tur mālu īpašības tuvas ledāja ezera mālu īpašībām.

Iekšledāja ezeru māli parasti ir bez slokšņojuma, brūni vai pelēkzilgani. To fizikālās un ķīmiskās īpašības dažādās atradnēs ir atšķirīgas. Parasti dziļākajās atradņu kārtās pieaug putekļu daļiņu saturs un CO_2 saturs ir no 0 līdz 12%. No minerāliem, kas lielāki par 0,05 mm, visvairāk ir kvarca (60—76%) un laukšpatu (13—19%), bet 0,05—0,005 mm frakcijā — daudz kalcīta, savukārt no mālu minerāliem — hidrovizlas un kaolinīta.

Iekšledāja ezeru māli sastopami galvenokārt republikas augstienēs. Tie veidojušies ledāja kušanas ūdeņu baseinos. Pēc mālu saguluma šos minerālus sauc par *segmāliem*. Raksturīga ir Gaiziņkalna bezakmens mālu iegula. Kalna virsotnē tās biezums sasniedz 28 m. Māli ir slāņaini, tajos mālu kārtas mijas ar putekļainas smiltis kārtām. Pauguru nogāzēs tie kļūst plānāki, izķīlējas un pāriet rupjgraudainā smilti un granti. Saguluma apstākļi liecina, ka liela daļa segmālu izveidojušies noslēgtos iekšledāja kušanas ūdens baseinos, ko ieslēdz krastos aprimušais ledus. Ledājam nokūstot, baseina nogulumu caurkumos pārklāja morēnu izciļņus, daļa no tiem noslīdēja un pie pauguru malām izveidoja noslīdeņus.

Iekšledāja ezeru māli sastopami Vidzemē, Latgales, Alūksnes, nedaudz arī Rietumkurzemes, Austrumkurzemes un citās augstienēs. Segmālu atradnes nav lielas, bet tās sastop daudzās vietās. Pazīstamas ir Tumužu, Saldus un Krustpils atradnes, kurām ir liela praktiska nozīme. Krustpils mālu atradnes māli atšķiras no citiem kvartāra māliem un vairāk līdzīgi devona māliem. Šie māli ir ļoti plastiski, ar mazu karbonātu saturu virsējos slāņos (CO_2 — 2%), viegli kūstoši. Tos izmanto keramzīta un keramikas rūpniecībā.

Keramikas rūpniecībā nepieciešami māli ar noteiktu ķīmisko sastāvu. Keramikas rūpniecās Rīgā, Jelgavā, Tukumā, Cēsīs un Jēkabpilī mākslas keramikas izstrādājumu (māla trauku, mākslas priekšmetu, krāsns podiņu) ražošanai izmanto jaunākos kvartāra mālus. Arhitektūras izstrādājumu (fasādes ķieģeļu, jumta kārniņu) ražošanai izmanto devona mālus. Glazētām plāksnēm, jumta kārniņiem un dārza keramikai noderīgi karbonātiem bagātie slokšņu māli. Ķieģeļrūpniecības izstrādājumu (ķieģeļu, celtniecības bloku un drenu cauruļu) ražošanai izmanto dažāda vecuma un sastāva viegli kūstošus mālus. Drenu caurules gatavo no bezkarbonātu devona vai kvartārajiem māliem, kuros karbonātu daudzums nepārsniedz 7%. Klinkeru rūpniecībā izgatavo kanalizācijas caurules, klonus un urnas. Būvniecībā nozīmīgi ir šūnainās keramikas izstrādājumu veidi: keramzīts, agloporīts un putu kerolīts, šūnainā keramika u. c. Keramzīts ir mākslīgi izgatavots būvmateriāls, ko iegūst rotējošās krāsnīs 1000—1200°C temperatūrā no viegli kūstoša māla. Iegūst keramzīta oļus,

šķembas un smiltis, ko izmanto kā vieglo pildmateriālu vieglā keramzīta betona ražošanā (saliekamo betona bloku tilpummasa ir 800—1800 kg/m³). Viegļās keramzīta konstrukcijas rūpnīcās ražo keramzīta ārsienu paneļus un siltumizolācijas materiālu.

Agloporīts ir no apdedzināta māla un ogles piedevām maksļīgi izgatavots ugunsdrošs būvmateriāls (tilpummasa 500—1000 kg/m³). To izmanto kā pildvielu vieglā betona paneļu ražošanai un kā siltumizolācijas materiālu.

Māli kā augšņu cilmieži. Latvijas devona sistēmas māli ļoti nelielās platībās sastopami kā augšņu cilmieži, jo krāsainie devona māli zemes virspusē atsedzas tikai retās vietās. Pieleidāja slokšņu māli kā augšņu cilmieži sastopami galvenokārt Zemgales un Lubānas līdzenumā un republikas rietumdaļā. Ķīmiskā ziņā šie māli ir bagāti, jo tie satur daudz kalcija un magnija karbonātu, kāliju un citus ķīmiskos elementus, kas iegu ķīmiskās un bioloģiskās dēdēšanas gaitā pārvēršas un kļūst augiem uzņemami. Ar augu augšanas un auglības faktoriem (barības vielām, ūdeni, siltumu un gaisu) bagātas ir putekļaino slokšņu mālu augsnes. To nodrošina šo augšņu fizikālās īpašības: mehāniskais sastāvs, ūdenscaurlaidība un kapilārās īpašības. Uz šiem māliem ir izveidojušās auglīgās velēnu karbonātu un velēnu gleju augsnes. Iekšledāja baseinu treknie segmāli republikas augstienēs kā augšņu cilmieži sastopami nelielās platībās. Augsnes fizikālās īpašības (ūdenscaurlaidība, kapilaritāte, siltuma un gaisa apmaiņas spēja) ir sliktākas nekā slokšņu māliem.

Morēnu māli ir nešķīrotie ieži, kuros bez māliem, putekļiem un smiltīm ir arī dažāda lieluma oļi un laukakmeņi. Pēc sastāva izšķir māla, smilšmāla, mālsmilts, retāk — smilts morēnas. Latvijā kvartāra periodā ledājs ir periodiski gan uzvirzījies, gan atkāpies, veidojot vismaz 4 raksturīgas fāzes ar attiecīgām morēnām. Raksturīgākā ir pēdējā apledojuma Baltijas svītas augšējā morēna, kas ir rūsgana vai sarkani brūna un satur karbonātus (25%).

Starp atsevišķu apledojumu morēnu nogulumiem ir starpledus laikmeta (interglaciālie) nogulumi: grants, smilts, māli, kūdra u. c.

Pēdējā apledojuma nogulsnētā morēna Latvijā ir galvenais augšņu reljefa veidotājs un cilmiezis. Kā augšņu cilmiezis tas neveido vienlaidus segu. Līdzenumos un augstienēs plašus rajonus aizņem ledāja kušanas ūdeņu nogulumi un morēnu pārsedz fluvioiglaciālie un limnoglaciālie nogulumi. Latvijas morēnas ir bagātas ar karbonātiem (10—35%), un tās sauc par mēģelainajām morēnām.

Morēnas bieži sastāv gandrīz tikai no tā iežu materiāla, kas netālā apkārtne veido subkvartāro virsmu. Šādu morēnu sauc par lokālmorēnu. Tāpēc dažās vietās, kur subkvartārās virsmas iežos ir maz karbonātu, arī morēna var būt ar karbonātiem nabaga (Vidzemes ziemeļdaļā).

Baltijas svītas morēnu izskats, sastāvs un raksturs dažādos republikas rajonos ir stipri atšķirīgs. Izplatītākais augsnes cilmiezis ir smilšmāla morēna. Pēc mehāniskā sastāva tas ir viegls un vidējs, retāk smags smilšmāls, kurā ir apmēram 20—40% māla daļiņu (<0,01 mm).

Gandrīz visi Latvijā sastopamie minerālaugšņu tipi ir izveidojušies uz morēnas un to pārskalošanās materiālu iežu iрдnēm. Šo augšņu fizikālās īpašības, gaisa un ūdens režīms, kā arī minerālo barības vielu saturs ir atkarīgs no morēnu cilmieža mehāniskā, ķīmiskā un mineralogiskā sastāva. Morēnās no augiem nepieciešamajām minerālajām barības vielām visvairāk ir kālija, kalcija un magnija. Kāliju satur laukšpatu, vizlu un mālu grupas minerāli. Kalciju un magniju satur kalcīts un dolomīti. Pēc K. Bamberga datiem, izplatītājās morēnās 37—60% aizņem smalkās smiltis (0,25—0,10 mm) un rupjo putekļu (0,10—0,01 mm) frakcija, 9—31% — smalko putekļu (0,01—0,002 mm) frakcija un 11—30% — mālu frakcija (<0,002 mm).

● Ķīmiskās un bioķīmiskās izcelsmes ieži

Ķīmiskās izcelsmes nogulumieži veidojas galvenokārt ūdens bāseinos, sāļiem ķīmiski izgulsnējoties no izšķīdušiem iežu dēdēšanas produktiem. Ķīmiskās izcelsmes nogulumi dažreiz ir ģenētiski saistīti ar bioloģiskās izcelsmes nogulumiem, kuri rodas augu un dzīvnieku dzīvības procesos, kā arī no bojā gājušiem organismiem.

Bioķīmiskās izcelsmes nogulumieži parasti sastāv no organismu atliekām, kuras var noteikt makroskopiski vai mikroskopiski. Kā ķīmiskās, tā bioķīmiskās izcelsmes nogulumieži parasti sastāv no viena dominējošā minerāla, pēc kura tad arī tos klasificē. Bioķīmiskās izcelsmes nogulumiežu nosaukumam var pievienot dominējošā organisma nosaukumu (korāļu kaļķakmens). Taču ir arī tādi ieži, kuri veidojušies tikai ķīmiskā ceļā (sulfāti) vai arī tikai bioķīmiskā ceļā (kaustobiolīti); sk. 8. tabulu.

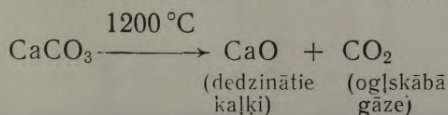
Kaļķakmeņi. *Devona kaļķakmeņi* ir gaiši pelēki vai iesarkani, bieži — dolomitizēti. Daži starpslāņi bagātīgi satur pārakmeņojumus. Tie veidojušies augšdevona jūrā.

Devona kaļķakmeņus sastop Ziemeļaustrumu Latgalē, kur tie atsedzas Kiras un Vjadas krastos.

Perma kaļķakmeņi (Cehšteina jeb Kursas kaļķakmeņi) ir pelēki balti vai iedzelteni, ar raksturīgu ķīmisko sastāvu.

Perma kaļķakmeņi sastopami urbemos Latvijas dienvidrietumu daļā no Auces līdz Baltijas jūrai. Uz dienvidiem plašākā joslā to slāņi turpinās Lietuvā. Tuvu zemes virspusei permas kaļķakmeņi atrodas Saldus tuvumā, pie Nīgrandes un uz dienvidiem no Auces. Latvijā perma kaļķakmeņi ir viens no svarīgākajiem derīgajiem izrakteņiem. Tos iegūst Kūmas, Nīgrandes un citās atradnēs (14. att.).

Perma kaļķakmeņus plaši izmanto silikātkieģeļu (smilškaļķu) ražošanā. Bolderājas, Daugavpils, Rēzeknes un Liepājas silikātkieģeļu rūpnīcas ar dedzināmo kaļķi apgādā Sātiņu rūpnīca. Kaļķakmeni apdedzinot, notiek šāda reakcija:



Latvijā izplatītāko ķīmiskās un biokīmiskās izcelsmes nogulumiežu klasifikācijas shēma

Iežu apakšgrupas	Dominējošie minerāli (vai biokīmiskie savienojumi)	Tekstūra	Citas raksturīgas pazīmes	Iežu nosaukumi	
				ķīmiskās izcelsmes ieži	biokīmiskās izcelsmes ieži
Karbonāti	Kalcīts	Viendabīga, slāņaina	Strauji reaģē ar 10% HCl	Kaļķakmens	Glīmežu, kaļķakmeņi, fuzulīnu, koraļļu, globigerīnu u. c. kaļķakmeņi
	Kalcīts	Poraina, kavernoza, slāņaina	Strauji reaģē ar 10% HCl	Šunkakmens	—
	Kalcīts	Viendabīga, slāņaina	Strauji reaģē ar 10% HCl	Saldūdens kaļķis	—
	Kalcīts, mālu minerāli	Blīva, slāņaina	Strauji reaģē ar 10% HCl, uz virsmas veidojot mālainus nosēdumus	Mergelis	—
	Dolomīts	Viendabīga, slāņaina, kavernoza	Lēni reaģē ar 10% HCl	Dolomīts	Dolomīti (platišizmu, briozoju)
	Dolomīts	Viendabīga, slāņaina	Lēni reaģē ar 10% HCl, irdens, pulverveida	Dolomītmilti	—
	Dolomīts, mālu minerāli	Viendabīga, slāņaina	Reaģē ar 10% HCl, uz virsmas veidojot mālainus nosēdumus	Dolomītmergelis	—

Sulfāti	Ģipsis	Viendabīga, slāņaina	Balts, viegli ieskrāpējams ar nagu	Graudainais, kārtainais, šķiedru ģipsakmens	—
Ferīti	Getīts	Viendabīga, poraina	Uz rūsgani tumšbrūnas virsmas rūsai līdzīgi okera piejaukumi	Limonīts	—
	Getīts	Poraina, slāņaina	Dzeltenis, pulverveidīgs	Okers	—
	Vivianīts	Viendabīga	Pelēks, irdens, oksidējoties nokrāsojas zila, zaļgani pelēkā krāsā	Vivianīts	—
Kaustobiolīti	Ogļūdeņraži, mālu minerāli, kalcīts	Viendabīga, slāņaina	Pelēkbrūns, dzeltenī pelēks, ar algu atliekām. Liesma dumaina ar bituma smaku	—	Degakmens (degslānekļis)
	Ogļūdeņraž-ogleklis	Viendabīga, poraina	Viegls, ar augu atliekām	—	Kūdra (grīšļu, sfagnu u. c.)
	Ogļūdeņraž-ogleklis	Viendabīga, slāņaina	Brūngans, melns, spīdums matēts, raksturīga brūna svītra	—	Brūnogles
	Ogļūdeņraži, mālu minerāli	Viendabīga	Brūngans, melns, iedzeltens: ūdenī nokrāso brūnu, sakalst raga cietumā	—	Sapropelis



14. Nigrandes kaļķakmens karjers.

Tās rezultātā iegūto ogļskābo gāzi, attiecīgi apstrādājot, iegūst sauso ledu. Izejmateriāls dedzināto kaļķu ražošanai nedrīkst saturēt vairāk par 3% māla un smilts piejaukuma. Daudz perma kaļķakmeņu izmanto portlandcimenta ražošanai. Sakausējot kaļķakmeņus ar māliem, iegūst t. s. klinkeru, kuru samāļot ražo portlandcimentu. No cementa izgatavo arī gludā šīfera plātnes, viļņoto šīferi, cementa azbesta caurules un citus izstrādājumus. Perma kaļķakmeņus izmanto arī celtniecībā (apdedzinātos baltkaļķus lieto telpu balsināšanai), metalurģijā (kā kusni tērauda, čuguna, krāsaino metālu kausēšanā), ķīmiskajā rūpniecībā (kalcijs karbīda, sodas, kalcijs nitrāta ražošanai), stikla rūpniecībā (pudeļu stikla ražošanai), šūnbetona — siporeksa izgatavošanā.

Perma kaļķakmeni izmanto arī cukurbiešu sulas tīrīšanai cukurfabrikās. Kā atkritumu produkts rodas filtrkaļķi (defekāts), ko tālāk var lietot augšņu ielabošanai. Kaļķakmens izlietošana lauksaimniecībā apskatīta nodaļā par agrorūdām.

Latvijā sastopami arī *juras kaļķakmeņi*, kas veidojušies juras periodā kā seklas jūras piekrastes nogulumi. Tie ir brūnganpelēki. Juras kaļķakmeņiem raksturīgas oolītiskas pārakmeņojumiem bagātas kaļķa konkrēcijas. Kaļķakmeņi ir smilšaini. Sastopami Dienvidkurzemē, gar Lietuvas pierobežu. Atsedzas Ventas un tās pieteku Zaņas, Losas, Lētīzas, Šķērveles un Vadakstes krastos. Juras kaļķakmeņi parasti sastopami kopā ar juras melnajiem māliem.

Dolomīti. *Devona dolomīti* Latvijā ir izplatītākais un viens no mehāniski izturīgākajiem nogulumu pamatiežiem. Sastāv no minerāla dolomīta. Kā izomorfiem piemaisījumi parasti ir dzelzs un mangāna oksīdi. Tīrā veidā dolomīti ir reti sastopami, parasti tajos ir

mālu, kvarca, kalcīta, limonīta un ģipša minerālu, kā arī organisko vielu piejaukumi.

Dolomītus iedala pēc māla piejaukuma. Pēc sastāva un uzbūves tie ir ļoti nevienmērīgi gan horizontālā, gan arī vertikālā izplatības virzienā. Dolomītus bieži sastop dzīvnieku un augu atlieku nospiedumus, dažādas fosilijas. To izvietojums — nevienmērīgs. Dažreiz dolomīta sastāvā ir gandrīz tikai dzīvnieku čaulas (gliemežu dolomīts).

Dolomītu krāsa un struktūra atkarīga no piemaisījumiem. Tie var būt pelēki, iedzelteni, iesārti, ar blīvu, šūnainu vai kavernožu struktūru. Dolomīti veidojušies senajās jūrās un to ličos, izgulsnējoties tieši no ūdens vai arī kaļķakmens nogulumiem ķīmiski pārveidojoties — dolomitizējoties sāļo jūras ūdeņu ietekmē.

Latvijā izplatītākie ir Pļaviņu svītas dolomītu slāņi, kuros sastopami brahiopodu nospiedumi. Dolomītmergēļos ir daudz bruņzivju atlieku. Dolomītmergēļi veidojušies seklās jūras apstākļos. Pazīstamākās ir Katlakalna, Slokas, Rendas, Cēsu, Apes, Aiviekstes, Pļaviņu, Jēkabpils un Saulkalnes atradnes. Pļaviņu svītas dolomīti dažviet atsedza upju gultnēs, veidojot ūdenskritumus un krāces (Ventas rumba pie Kuldīgas, Rendas u. c.). Pļaviņu un Jēkabpils atradnēs sastopami normāldolomīti (CaCO_3 un MgCO_3 attiecība ir 1:1). Pazīstami ir Saulkalnes gliemežu dolomīti, kurus agrāk plaši lietoja par apdares un dekoratīvo materiālu. Pašlaik tos iegūst nelielajā Kārgaru karjerā pie Remīnes stacijas.

Karbons dolomīti sastopami Latvijas dienvidrietumu daļā. Slāņkopā ir tīri, pelēki dolomīti un dolomītmergēļi, kas atsedzas Ventas un tās pieteku krastos. Pazīstamākie ir Paplakas dolomīti, kuri bieži vien ir smilšaini. Tiem ir augsta izturības robeža. Tīrākos karbons dolomītu paveidus var lietot stikla rūpniecībā.

Dolomītu izmantošana. Dolomītus izmanto celtniecībā, metalurģijā, javas saistvielu, stikla, keramikas, termoizolācijas materiālu iegūšanai, ķīmiskajā rūpniecībā un papīrrūpniecībā, kā arī lauksaimniecībā. Celtniecībā dolomīti kā būvakmeņi lietoti jau sen. Daudzas senās celtnes, pilis un mūri, celti no dolomītiem, labi saglabājušies līdz mūsu dienām.

Gliemeždolomīts ir skaists apdares akmens. No tā veidota Rīgas pils, tilta margas pār kanālu Brīvības ielā. Kā apdares akmeni var lietot arī Iecavas, Apes un citus dolomītus. Līdz šim dolomītus plaši izmanto šķembām betonu izgatavošanā, kā arī ceļu segumiem. Lielāki dolomītu šķembu ieguves karjeri ir 5 atradnēs: Aiviekstē, Biržos, Dārzcimē, Jēkabpilī un Pirtniekos.

Dolomītus izmantojot saistvielu ražošanā, galvenā nozīme ir to ķīmiskajam sastāvam un mehāniskajai izturībai. Apdedzinot tīrus dolomītus (nešķīstošais atlikums $<5\%$) un pēc tam tos veldzējot, iegūst dolomītkaļķus (mūrkaļķus). Samitrinoties tie ātri saistās stingrā masā. No dolomītkaļķiem var gatavot arī labu apmetuma javu, jo tā ātri saistās un cietē. No mergēļainajiem dolomītiem ražo dolomitmiltus, ko izmanto lauksaimniecībā. Saistvielu ražošanai piemērots arī kavernožais, porainais dolomīts, kurš apdeg vienmērīgāk nekā

blīvie dolomīti. Dolomītkaļķa iegūšanai izpētītas vairākas atradnes, no kurām kaļķus iegūst Saulkalnes un Cēsu atradnēs.

Metalurģijā dolomītus izlieto kā ugunsizturīgu materiālu un kā kusni sārņu veidošanā. Stikla rūpniecībā dolomītus lieto stikla ķīmiskās un mehāniskās izturības palielināšanai un kristalizācijas samazināšanai. Cēsu dolomīti satur līdz 2% MgO un līdz 3% FeO. Tīrus dolomītus lieto arī glazūrām. Bez tam dolomīts ir izejmateriāls minerālvates ražošanai.

Ģipšakmeņi sastāv no minerāla ģipša ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). Pēc ģipša kristāliem izšķir vairākus ģipšakmens paveidus:

- rupjkristālisko špata (kārtaino) ģipšakmeni;
- smalkšķiedraino ģipšakmeni (sīkas šķiedras, zīda spīdums), to sauc arī par selenītu;
- graudaino ģipšakmeni.

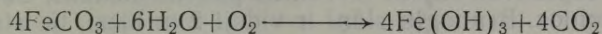
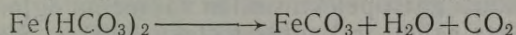
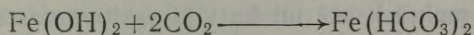
Ģipšakmeņi parasti ir pelēkbaltā, dažreiz arī iesārtā un iedzeltenā krāsā. Tajos nav minerāla anhidrīta (CaSO_4), bet nelielā daudzumā ir celestīns (SrSO_4). Latvijā izplatītākie ir kārtainie ģipšakmeņi ar šķiedru ģipša starpkārtām. Tie izveidojušies devona perioda lagūnās vai sālsezeros no ūdeņiem, kas piesātināti ar CaSO_4 . Karstā klimatā sāls šķīdumiem iztvaikojot, izgulsnējās galvenokārt anhidrīts. Tam piesaistot ūdeni (gruntsūdeni), palielinājās tilpums. Tā hidratizācijas rezultātā izveidojās kārtainie ģipši ar sekundārām šķiedru ģipša starpkārtām. Lagūnām bieži pielūda Mg saturošie jūras ūdeņi, tāpēc ģipšakmeņu nogulās sastop dolomīta un dolomītmerģeļa starpslāņus. Ģipša iežos parasti nosaka ģipša, māla un karbonātu daudzuma savstarpējās attiecības.

Latvijā biežākie ģipšakmens slāņi atrodas galvenokārt centrālajā daļā augšdevona nogulumos. Arī vidusdevona un perma sistēmas nogulumos sastopami nelieli ģipša slāņi un nelielas lēcas. Praktiski biežākie (vidēji 3—4 m) un labi izmantojamie ģipša slāņi ir Salaspils—Sauriešu—Nāves salas rajonā. Lielāka ģipšakmens lauztuve ir Sauriešos, kā arī Skaistkalnes apkārtnē. Ģipša izplatības rajoni ir arī Ķemeru, Baldonē un Bārbelē, kur no ģipšainiem iežiem izplūst sērūdeņu avoti (1—2 g CaSO_4 1 l ūdens). Ģipša kvalitāte ir atkarīga no tā ķīmiskā sastāva un piemaisījumu (karbonātu, mālu) daudzuma. Svarīga ir arī ģipša tekstūra, jo ģipsis var saturēt nederīgas māla un dolomītu kārtas.

Neapdedzinātos ģipšus, ja tie ir dolomitizēti, izmanto par būvākmeņiem. Ģipša plāksnes plaši lieto arī ēku iekšējai apdarei. Ēku ārējai apdarei to var izmantot tikai pēc apstrādes ar speciāliem šķīdumiem (BaCl_2 , Na_2S , F_2 u. c.). Piemēram, ar Sauriešu ģipšakmeni apdarināts Sanktpēterburgas metro un daži kinoteātri. Latvijas celtnēs vēl maz lieto ģipšakmeņu izstrādājumus. Nededzināto kārtaino ģipšakmeni plaši lieto kā portlandcimenta piedevu. Ja šķiedru ģipša kārtas biežākas par 5 cm, tās var izmantot medicīniskā ģipša izgatavošanā, kā arī minerālkrāsu rūpniecībā. Ja apdedzinātā ģipsī piemaisījumu ir mazāk par 8%, to izmanto saistvielu (būvģipša, veidņu ģipša, klonu ģipša u. c.) izgatavošanai. Augstas stiprības ģipsi izlieto porainu siltumizolējošo materiālu izgatavošanai, akustiskiem

izstrādājumiem un metālu precīzas liešanas formām. Apdedzināto ģipsi ražo Rīgas un Salaspils—Sauriešu rūpnīcas. Rīgā no sautētā jeb tehnoloģiskā ģipša ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), kas karsēts 120—170 °C temperatūrā, izgatavo būvniecībā nepieciešamās rigipsa plāksnes, bet Sauriešos no velmētā ģipša — smiltsšķiedru paneļus, ģipšbetona šķērssienu plāksnes. No ģipšakmens atkritumiem var ražot saistvielu — ģipša romāncementu.

Limonīti sastāv galvenokārt no minerāla getīta, lepidokrokīta u.c. Limonītu veidi ir purva rūda, ezeru rūda un okers.* Pēc sastāva limonīti var būt blīvi, poraini, lodišveida, ķekaraini, konkrēciju veidā un miltveida (okers). Tīra limonīta krāsa ir brūna, bet piemaisījumi tam piedod dzeltenbrūnu, dzeltenu, sarkanbrūnu, zilgani brūnu vai zilgani melnu krāsu. Piemaisījumi var būt māli, smiltis, karbonātu ieži; mangāna hidroksīdi, kā arī organiskās vielas. Latvijā limonīti galvenokārt veidojušies pēcdedus laikmetā no dzelzi saturošiem bikarbonātu ūdeņiem, kas izplūst avotu veidā.



Izdaloties CO_2 , izgulsnējas ogļskābais kaļķis un pēc tam limonīti. Limonīti veidojas arī no skābiem, ar organiskajām vielām bagātiem ūdeņiem. Dzelzs savienojumi ar ūdeņiem pārvietojas sola veidā, un, nonākot saskarē ar gaisu un cietiem ūdeņiem zemos purvos vai citur, dzelzs un citu baktēriju iedarbības rezultātā izgulsnējas limonīti.

Latvijā limonītu iegulas sastop galvenokārt tur, kur no vidusdevona smilšakmeņiem izplūst dzelzi saturoši ūdeņi, kā arī zemo purvu rajonos.

Daudz limonītu, kas ienesti no upēm, ir arī Baltijas jūras līča dūņās. Republikas teritorijā zināmas vairāk nekā 200 nelielas limonītu atradnes. Parasti tās atrodas pļavās vai purvos zem 30 cm biezas virskārtas. Atradņu platības nemēdz pārsniegt 20 ha, bet krājumi — dažus tūkstošus kubikmetru. Lielākās atradnes ir Sārnatē purvs, Ulmane, Irlava, Jaunpils, Valgunde, Pļaviņas, Ābeli, Staicele u. c. Irdeno limonītu, ko sauc par okeru vai krāsu zemi, izmanto galvenokārt minerālo krāsu rūpniecībā. Okers biežāk sastopams miltveida masā, un tā lielākie krājumi ir Rēzeknes, Daugavpils, Limbažu un Valmieras rajonā. Krāsu zemes atradnes pēc nokrāsas var iedalīt brūnās, sarkanbrūnās un dzeltenās. Okeru oksidējoši vai reducējoši apdedzinot vai krāsu samaisot, var iegūt arī spilgti sarkanu, melnu krāsu u. c. Krāsu zemi izmanto ne tikai Rīgas krāsu rūpnīcās, bet arī minerālkrāsu kombināti Rūjienā, Apē un citur.

Kaustobiolīti, kas radušies, uzkrājoties un pārveidojoties augu un dzīvnieku atliekām, ir bioķīmiskas izcelsmes degoši ieži. Kaustobiolītiem pieder ar organiskām vielām bagāti minerāli un ieži, kuri

* Limonītu iežiem nepieder rūsakmens jeb ortšteins.

radušies, biokīmisko procesu ceļā pārveidojoties augu un dzīvnieku organismiem. Pēc veidošanās tos iedala 2 grupās:

○ mīgrējošie — nafta, asfalts, ozokerīts u. c.,

○ ogļu apakšgrupa — dažādas ogles, kūdra, sapropelis, degslānekļi un minerāls dzintars.

Oglekļa oglēs ir vairāk par 50%, kūdrā — 50—60%, degslānekļos — 25—50%.

Nafta ir eļļains šķidrums, parasti brūnā līdz melnā krāsā, ar specifisku smaku. Sastāv no metāna, parafīna un citu šķidru un gāzveida ogļūdeņražu maisījuma ar nelielu organisko vielu, sēra, slāpekļa un skābekļa piemaisījumu saturu.

Latvijā naftu pirmoreiz atklāja Kurzemē 1963. gadā. Kā rāda vairāk nekā 50 dziļurbumi, tā sastopama kembrija sistēmas smilšakmeņos un ordovika sistēmas kaļķakmeņos. Latvijas naftā ir vairāk nekā 50% gaišo frakciju, no kurām 21% ir benzīna frakcijas. Naftas krājumi nav lieli.

Brūnogleš parasti ir melnā krāsā un Latvijā sastopamas nelielu slāņu vai lēcu veidā starp gaiši pelēku smilšu vai melnu ogļainu mālu nogulumiem. Izplatības rajoni ir Ventas pieteku Lētižas, Šķērveles un Losas baseinos. Brūnogļu slāņi ir vidēji 2 m biezi, tie atrodas zem 2—12 m bieziem kvartāriem nogulumiem.

Kurzemes brūnogles ir zemas kvalitātes, jo satur daudz pirīta, tās ir irdenas, ar lielu pelnu saturu un zemu siltumspēju.

Brūnoglēs bieži sastop lignīta gabalus, kas radušies, humificējoties koksnei un saglabājot tās struktūru. Tajās ir daudz kailsēkļu ksilitu gabalu, atrod arī ciedru, priežu, balteglu, ginku putekšņus, kā arī paparžu un staipekņu sporas. Floras ieslēgumi liecina, ka šīs brūnogles pieder juras periodam. Kurzemes brūnogles veidojušās grimstošās piekrastes upju gultnēs un grīvās no sanestiem nogulumiem un augu atliekām. Tāpēc brūnogļu iegulām parasti ir izstieptas upes gultnes forma. Lielā mēruma dēļ Kurzemes brūnogles pirms izmantošanas jāžāvē. Bez tam no lielajiem pirīta ieslēgumiem, brūnoglēm degot, rodas sērskābe, līdz ar to tiek saēstas krāsnis un dūmvadi. Pirīta gabalu masa sasniedz pat 40—50 kg. Šos gabalus atdalot, var uzlabot brūnogļu kvalitāti; pirītu izmanto sērskābes iegūšanai.

Atsevišķi izdalīti un plašāk aplūkoti ķīmiskie un biokīmiskie iezīmes ir agronomiskās rūdas. Bez agronomiskajām rūdām vairs nav iedomājamā lauksaimniecība, jo tās ir kaļķošanas materiāli, organiskais mēslojums, kālija un fosfora mēslojums, mikroelementu avots, kas nepieciešams augu labākai augšanai un lielāku lauksaimniecisko ražu iegūšanai.

AGRONOMISKĀS RŪDAS

Par agronomiskajām rūdām (agrorūdām) sauc derīgos izrakteņus, ko izmanto minerālmēsļu ražošanai, kā arī izrakteņus, kuri izmaina augsnes ķīmiskās, fizikālās, hidrofizikālās un citas īpašības. Agronomiskās rūdas satur augu barības elementus P, K, N, Ca, Mg,

S, kuri uzlabo augsnes struktūru, tās ūdens, gaisa un siltuma režīmu. Svarīga nozīme ir arī mikroelementiem Mn, Fe, Cu, B, Mo, Co, Zn u. c., kuru daudzums augsnē niecīgs, bet tie stipri ietekmē augu attīstību un augsnes bioloģiskos procesus. Mikroelementu saturs augos ir mazāks par $10^{-3}\%$. Mikroelementu agrorūdas ir bordatolīts, hidroboracīts, piroluzīts, sfalerīts u. c. Nozīmīgākās agrorūdas ir fosfātus un kālija sāļus saturošās rūdas — apatīts, fosforīti, silvīnīts, karnalīts u. c. Latvijā vienīgā fosforu saturošā agrorūda ir vivianīts, bet kā kālija rūdu iespējams izmantot zaļos devona sistēmas mālus, kuri satur 4—7% K_2O .

Lauksaimniecībā sāk plaši izmantot arī organiskās izcelsmes agrorūdas: kūdru, sapropeli, kaļķaino sapropeli. Latvijā galvenās agrorūdas ir kaļķošanas materiāli: kaļķakmeņi, malti dolomīti (dolomītmilti), saldūdens kaļķi un kaļķainais sapropelis. Lai apmierinātu lauksaimniecības vajadzības pēc agrorūdām, jāveic rūdu atradņu meklēšana un esošo pilnīga izmantošana, kā arī ekosistēmas nodrošināšana. Hidromelioratoriem, agronomiem, mežsaimniekiem, zemes ierīkotājiem un ekonomistiem jāpazīst agrorūdas, jāzina to atradnes sava darba rajonā.

Latvijas agronomisko rūdu raksturojums

Vivianīts — $Fe_3(PO_4)_2 \cdot 8H_2O$ ir zema vai graudaina masa. Svaigs tikko izrakts vivianīts ir gaiši pelēks vai iedzeltens. Izžūstot tas gaisā oksidējas un kļūst zils. Stāvot gaisā, tas iegūst pelēki zilu vai pelēki zaļganu krāsu un pārvēršas trīsvērtīgās dzelzs hidroksīdā un fosfātā. Dabiskais minerāls satur arī FeO, P_2O_5 un 29% H_2O . Latvijas vivianītā ir ap 10—23% P_2O_5 . Kūdra satur 2—10% vivianīta. Dažreiz arī purvu rūda satur nelielu daudzumu vivianīta (piemēram, Olaines plavās). Vivianīts Latvijā veidojies pēcledus laikmetā radušos purvos, dzelzi saturošiem ūdeņiem iedarbojoties uz grišļu—koku kūdru. Tāpēc tas parasti sastopams kūdrās konkrēciju, nelielu lēcu vai pat starpslāņu veidā. Vivianīta iegulas atrastas Tomē (Buku plaviņā), Valtaiķos (Pūņu plaviņā) u. c. Dažādu iegulu ķīmiskais sastāvs ir atšķirīgs. Izžāvētu un sasmalcinātu vivianītu lieto kā fosfora mēslojumu, tas ir efektīvs skābās mālsmits un purvainās augsnes, bet vivianīta kūdra — skābās smilts augsnes. Viena hektāra mēslošanai nepieciešami 4—8 cnt vivianīta vai 10—30 tonnas vivianīta kūdras. Baltkrievijā un Maskavas apgabālā, kur ir vivianīta atradnes, to izmanto zilās krāsas ražošanai.

Kaļķošanas materiāli. Latvijas teritorija ir bagāta ar karbonātu iežiem, kurus satur devona un permās sistēmas kaļķakmeņi un dolomīti, kā arī kvartāra sistēmas nogulumi — saldūdens kaļķi. Latvijā skābo augšņu kaļķošanai galvenokārt lieto malto dolomītu (dolomīta milti), kas iegūts no dolomīta šķembu pārpalikuma. Augšņu kaļķošanai var lietot arī maltus kaļķakmeņus, dažreiz — saldūdens kaļķus, samaltu ģipsi vai ģipšakmens lauztuvju atkritumus. Jāatzīmē, ka Vidusāzijas dienvidu rajonos ģipsi plaši lieto sāļaino augšņu

ielabošanai. Lai samazinātu augšņu skābumu, Latvijā ir izstrādāta un ieviesta kaļķošanas sistēma, kura nosaka kaļķošanas materiāla (CaCO_3) vajadzīgās devas optimālas augsnes reakcijas sasniegšanai dažādiem augiem.

Ar ESM ir izstrādāti 6 kaļķošanas varianti atbilstoši kaļķojamā objekta augsnes veidam, mehāniskajam sastāvam, augsnes reakcijai (pH). Katrā variantā ir norādīta augsnes optimālās reakcijas sasniegšanai nepieciešamā CaCO_3 deva, transporta izdevumi, izklīdes izmaksas u. c. Līdz ar to ir izstrādāti augšņu kaļķošanas projekti, kuri ieprogrammēti datu bankās. Šo projektu praktiskā realizācija jāveic melioratoriem. Tas dod iespēju racionāli izmantot kaļķošanas materiālus un panākt optimālo augsnes reakciju katrā saimniecības kaļķošanas nogabalā.

Saldūdens kaļķi ir Latvijā bieži sastopams agronomiskais izrakteņis. Tie ietilpst visos saldūdens kalcija karbonāta nogulumu veidos — ezerkaļķos, avotkaļķos un pļavu kaļķos. Kaļķu sastāvā var būt dažādi piemaisījumi: smiltis un māli, organiskās vielas, dzelzs savienojumi, magnija karbonāti, fosfāti, sulfāti u. c. 9. tabulā parādīts saldūdens kaļķu iedalījums pēc piemaisījumiem.

9. tabula

Saldūdens kaļķu sastāvs, %
(pēc prof. K. Bamberga)

Saldūdens kaļķu veids	CaCO_3	Māls, smiltis	Fe_2O_3	Trūdvielas	Organiskās dūņas	SO_3
Tīri ezerkaļķi un avotkaļķi	>90	<5	<1	<5	<5	<1
Ezerkaļķi un avotkaļķi	75—90	Mālaini, smilšaini 5—20	Rūsaini 1—10	Trūdaini 5—20	Dūņaini 5—20	Ģipšaini >1
Ezerkaļķi un avotkaļķi	50—75	Mergelāini 20—50	Okeraini 10—30	Kūdraini 20—50	Sapropelāini 20—50	

Saldūdens kaļķa baltās krāsas maiņu nosaka dažādie piemaisījumi, dzelzs savienojumi rada brūnu vai iesārtu krāsu, organiskās vielas — pelēku nokrāsu.

Pēc struktūras saldūdens kaļķus iedala miltveida, graudainos, gabalainos, mēreni saistītos un stipri saistītos (šūnakmens). Lauksaimniecībā izmantojami ir miltveida kaļķi, kuri radušies stāvošos ezeros, un graudaini, kuri veidojušies neliela tecējuma ūdeņos. Saldūdens kaļķi savu nosaukumu ieguvuši no tā, ka tie veidojušies saldūdeņos. Pēc ledāja izkušanas Latvijas teritorijas zemākajās vietās bija izveidojies daudz dažāda lieluma un dziļuma ezeru. Ezeros vai to ličos veidojas ezerkaļķi, ja ir ciets ūdens vai ieplūst cieti gruntsūdeņi. Tas notiek, augsnei izskalojoties vai nokrišņu ūdeņiem plūstot

cauri ar kalcija karbonātiem vai sulfātiem bagātiem iežiem (morēnu, kaļķakmeni, ģipsi, ģipšainu dolomītu u. c.). No šādiem iežiem ūdens izskalo galvenokārt kalcija bikarbonātu $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Saldūdens kaļķu nogulsnešanās notiek no bikarbonātu ūdeņiem, ja tajos samazinās CO_2 daudzums, ko izraisa daļēji spiediena samazināšanās, temperatūras paaugstināšanās, kā arī augiem asimilējot CO_2 . Ezeros, ūdens augiem asimilējot CO_2 , izgulsnējas CaCO_3 un veido ezerkaļķus. Parasti kopā ar ezerkaļķiem izgulsnējas planktons, citi ūdens augi un dzīvnieciņi — veidojas organiskās dūņas. Ja to ir vairāk par 50%, tad ezerkaļķus sauc par kaļķainiem sapropeliem. Tūlīt pēc ledāja atkāpšanās sāka izgulsnēties māli un smiltis. Vēlāk, atkarībā no ūdens režīma, augu valsts un citiem faktoriem, izgulsnējas pelnaini sapropela un kaļķaini mergēla nogulumi. Boreāla klimata fāzē, kad bija ļoti sauss un silts, ezerkaļķa nogulumi nogulsnešās visintensīvāk. Atlantiskā klimata fāzē pirms 5000 gadiem klimata optimumā veidojās dūņaini vai sapropelaini ezerkaļķi. Tagad Latvijas ezeru ūdeņos ļoti reti veidojas ezerkaļķa nogulumi (Nabes ezerā, jo upju ūdeņi ir samērā mīksti — ar mazu $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ saturu). Latvijā ir zināmas vairāk nekā 1200 dažāda lieluma saldūdens kaļķu atradnes, no kurām lielākā daļa ir ezerkaļķu nogulumi. Saldūdens kaļķu slāņu biezums ir atkarīgs no atradnes tipa un var sasniegt 12 m, bet vidēji tas ir 2 m. Parasti zem 1,5 m bieža kūdras slāņa atrodas 1,5 m biezs kaļķakmens slānis.

Izšķir 2 ezerkaļķu atradņu morfoloģiskos tipus:

- seklo ezeru baseinu atradnes un
- dziļo ezeru baseinu atradnes.

Seklo ezeru baseinu atradnēm parasti ir lielāka platība, bet nogulumu biezums nepārsniedz 1 m. Šajos ezeros parasti ir lēzens vai viegli viļņots gultnes reljefs (Birznieku, Bērzpils, Lubānas atradnes). Dziļākos ezeros saldūdens kaļķa nogulumi veidojušies piekrastē vai to liča joslās un slāņa biezums ir lielāks. Tādas ir Salenieku, Laudonas, Zentenes, Salacas atradnes (15. att.). Ezerkaļķus parasti sedz vidēji 2 m biezs kūdras slānis, kas ir labi sadalījis un satur 4—5% CaO . Ja kūdras kārtā ir plāna, to ieteicams izbagarēt kopā ar ezerkaļķiem un izmantot kūdras un kaļķa komposta izgatavošanai. Komposta sastāvā vismaz ceturtdaļai jābūt ezerkaļķiem.

Kūdra ir melna, brūna vai dzeltenbrūna organiskā masa, kura sastāv galvenokārt no augu atliekām. Augu paliekas var būt nesadalījušās, pussadalījušās un pilnīgi sadalījušās. Ja masa ir pilnīgi sadalījusies, smalkās dispersās daļas var saskatīt tikai elektronmikroskopā. Kūdra veidojas sarežģītu biogēnisku procesu rezultātā. Lai izprastu kūdras rašanos, jāapskata purvu veidošanās. Latvijā purvi veidojušies dažādās pēcledušlaikmeta klimata fāzēs,

- lēni aizaugot mazām un lielām ūdenstilpēm un
- pārpurvojoties sauszemei.

Ūdenstilpju aizaugšana un pārpurvošanās raksturīga stāvošām vai lēni tekošām ūdenstilpēm, kurām ir lēzeni krasti un dibens pakāpeniski padziļinās uz ūdenstilpju vidu. Šādas ūdenstilpes radušās, ledājam kūstot un saplūstot reljefa zemākajās vietās. Latvijā tās



15. Ļaudonas saldūdens kaļķu atradne.

parasti sastopamas vietās, kur pamatmorēnu līdzenumi pāriet morēnu paugurainēs. Ezeram aizaugot un pārpurvojoties, veidojies Velna purvs pie Usmas ezera, Lukstu purvs pie Burtnieku ezera u. c. Šāda ūdenstilpju aizaugšana un pārpurvošanās bieži novērojama arī jūras piekrastē sakarā ar krasta maiņām dažādās Baltijas jūras fāzēs. Piemēram, Litorinas jūras fāzē veidojušies jūras krasti norobežoja piekrasti, kuras centrālajā daļā izveidojās sekli lagūnu vai liču reliktie ezeri un vēlāk — purvi (Nidas purvs pie Papes ezera, purvi ap Babītes ezeru u. c.). Ūdenstilpes aizaugšana sākas no krasta vai piekrastes joslas. Atkarībā no ūdenstilpes dziļuma tajā izšķir vairākas augu joslas. Seklākajās piekrastes vietās aug grīšļi un citi mitraudži, aiz grīšļu joslas saaug meldri, tad ūdensrozes, starp kurām sastopamas arī peldošās glīvenes. Pēc tam seko glīveņu josla ar zemūdens augiem. Ūdenī, kas dziļāks par 6 m, ir makrofītu un mikrofitu josla. Makrofītu joslā sastop glīvenes un raglapes, bet mikrofitu joslā — zilaļģes un kramaļģes. Bez tam ir arī peldošie augi: ūdens ziedi, elši u. c. Katru gadu atmirušās augu daļas nogrimst ūdenstilpes dibenā, kur anaerobos un pusanaerobos apstākļos nepilnīgi sadalās un veido kūdru. Pie krasta rodas grīšļu kūdra, tālāk no krasta — meldru kūdra, ūdensrožu un glīveņu joslā — sapropeļainā kūdra, makrofītu joslā — sapropeļainā kūdra un sapropelis, mikrofitu joslā — sapropelis (16. att. a). Piekrastes augi pakāpeniski sāk augt uz izveidotajiem nogulumiem, līdz ar to pārvietodamies tuvāk ūdenstilpju centram. Ezers kļūst seklāks, pamazām aizaug, un tā vietā rodas zāļu purvs.

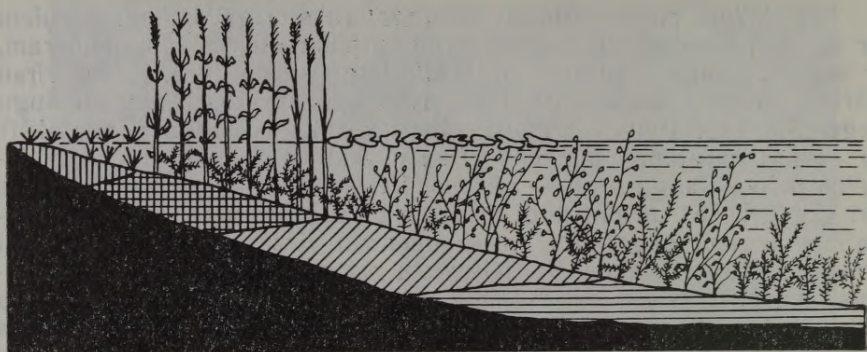
Ūdenstilpju pārpurvošanās pāraugot raksturīga dziļiem ūdeņiem ar stāviem krastiem un lielāku dziļumu piekrastē, kā tas, piemēram, ir morēnu paugurainu un subglaciālo vagu ūdenstilpēs. Ūdens virsu pārklāj peldoša augu sega, kas savienojas ar krastā augošo augu segu. Šie augi (purvu cūkauši, purvu vārnkājas, trejlapu puplakši) ar savām garajām, pa ūdens virsu ejošām stīgām un saknītēm izveido peldošu augu segu — *slikšņu*. Uz šīs slikšņas ar laiku ieviešas arī grišļi, kosas un citi augi. Slikšņa pieaug biezumā, jo uz atmirušajiem augiem aug jauni un pakāpeniski virzās uz ezera vidu. Šī procesa ātrumu ietekmē barības vielu režīms. Slikšņas slāņa apakšpusē iegrimst arvien dziļāk, daļa no tās atraujas un nosēžas ezera dibenā. Ar laiku ūdens slānis starp peldošo slikšņas slāni un ezera dibenu kļūst plānāks. Šo parādību sauc par ūdenstilpju *pāraugšanu* (16. att. b). Jāatzīmē, ka ne vienmēr ūdenstilpju aizaugšana un pāraugšana notiek pēc aprakstītajām shēmām. Ir ūdenstilpes, kur dažas augu joslas iztrūkst un dažas ir pat vairākus kilometrus garas. Visi Latvijas ezeri vairāk vai mazāk pakļauti pārpurvošanās procesiem, kas notiek, tiem aizaugot vai pāraugot.

Citādi noris *sauszemes pārpurvošanās*, ko izraisa pārmērīgs augšnes mitrums, jo gadā nokrišņu daudzums pārsniedz iztvaikošanu, kā arī paaugstināts gaisa mitrums un liela mākoņainība.

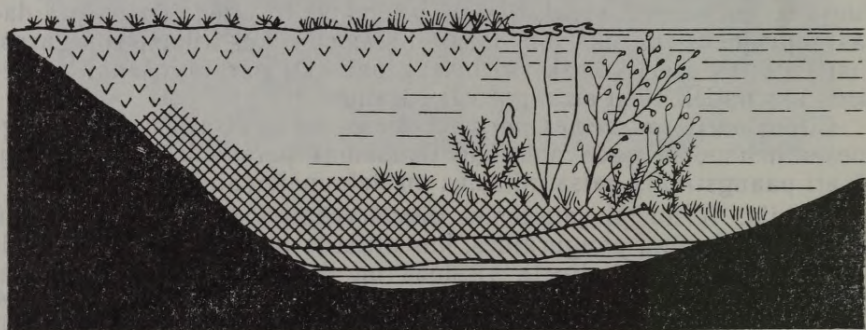
Latvijas teritorijā sauszemes pārpurvošanos (16. att. c) izraisa arī reljefs. Morēnu paugurainēs, kur attīstīts upju tikls ar labi izveidotu kritumu, ir palielināta virsmas un daļēji gruntsūdens notece. Tāpēc augstienēs, izņemot starppauguru ieplakas, nenotiek sauszemes pārpurvošanās. Zemienēs, kur upēs mazs kritums un liels virsūdens pieplūdums, noris augšņu pārpurvošanās un purvu veidošanās. Galvenie pārpurvošanās faktori ir

- zemes virspusē sakrājušies atmosfēras nokrišņi, īpaši reljefa pazeminājumos un līdzenumos, kur nav noteces;
- zemes virspusē izplūstošie vai tai tuvie gruntsūdeņi, kas sastopami zemienēs un upju ielejās;
- zemes virspusē iznākušie vai nelielā dziļumā esošie ūdensnecaur laidīgie ieži.

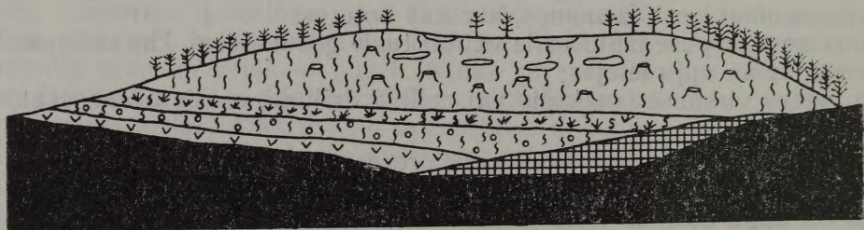
Minerālaugšņu pārpurvošanās process parasti dažādi notiek mežos, izcirtumos, izdegumos un pļavās. Tur pārlieka mitruma apstākļos un augu barības vielu trūkuma dēļ sāk augt purva augi. Sākumā parādās dažādi grišļi, doņi, cīesas, ložņusmilgas, vārnkājas, baltās sūnas, pēc tam dzegužlini un beidzot dažādas sfagnu sūnas. Atkarībā no barības vielu režīma aug dažādi augi. Katru gadu rudenī mitruma pārpilnībā uzkrājas atmirstošie kūdras veidotājaugi, no kuriem sarežģītos biokīmiskos procesos veidojas dažāda botāniska sastāva kūdra. Ja gaisa skābeklis pieplūst nepietiekoši, vispirms veidojas nepilnīgi sadalītu augu atlieku slānis, kurā tikai vasaras sausajā periodā darbojas aerobās baktērijas, bet vēlāk — pārlieku liela mitruma apstākļos — tikai fakultatīvi aerobās un anaerobās baktērijas. Tā rezultātā, kūdrai lēni sadaloties, veidojas dažādi starpprodukti — taukskābe, etiķskābe, pienskābe, kas nomāc mikroorganismu darbību, un organiskās vielas netiek mineralizētas. Tādējādi arvien



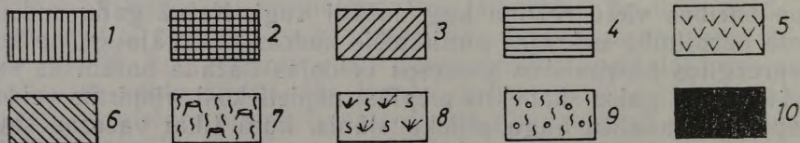
a



b



c



16. Purvu veidošanās:

a — ezeru aizaugšana, b — ezeru pāraugšana, c — sauszemes pārpurvošanās:
 1 — grišļu kūdra, 2 — niedru un meldru kūdra, 3 — sapropela kūdra, 4 — sapropelis,
 5 — peldoša kūdra, 6 — dūnaina kūdra, 7 — celmaina sfagnu kūdra, 8 — spilvu kūdra,
 9 — peldoša sfagnu kūdra, 10 — māls.

vairāk organisko vielu uzkrājas kūdras veidā. Izveidotās kūdras slāņa biezums atkarīgs no klimata un daudziem citiem faktoriem, tas svārstās no dažiem centimetriem līdz vairākiem metriem. Piemēram, Daugavpils rajonā Tīteļu purvs ir 12,2 m dziļš. Latvijas sūnu purvu vidējais dziļums ir no 3 līdz 8 m, bet zāļu purvu — no 2 līdz 5 m. Latvijā lielākie kūdras pieaugumi radušies mitrajās pēcdeduslaikmeta klimata fāzēs. Tā vidējais sūnu kūdras pieaugums mitrajā subatlantiskajā klimata fāzē, kura turpinās arī pašreiz, ir 1,12 mm gadā un sadalīšanās pakāpe — vidēji 12%.

Pēcdeduslaikmeta fiziski ģeogrāfiskajos un bioloģiskajos apstākļos purvi evolucionē, izejot vairākas attīstības stadijas. Pilns purva evolūcijas cikls ir no zāļu purva uz pārejas purvu līdz sūnu (augstā) purva stadijai. Smilts augsnēs, kas nabadzīgas ar barības vielām, zāļu purva augi neieviešas, var sākt augt sfagnu sūnas un veidot augstos purvus. Pēc kūdras botāniskā sastāva, minerālā ūdens režīma un ģeomorfoloģiskajām formām Latvijā izšķir vairākus galvenos ģeomorfoloģisko purvu tipus (17. att.).

Zāļu jeb zemie purvi attīstās, ja augi barojas no minerālvielām bagātiem gruntsūdeņiem, plūstošiem virsūdeņiem vai izplūstošiem avotūdeņiem. Siem ūdeņiem ir neitrāla reakcija, tie satur Ca un Mg bikarbonātus, kā arī neredz kalciju un citus augiem nepieciešamos barības elementus. Šādos ūdeņos kūdra labāk sadalās un tajā esošās barības vielas, īpaši slāpekļis uzkrājas. Attīstās minerālvielu ziņā prasīgie jeb eitrofilie augi: dažādi zālaugi, galvenokārt grīšļaugi, bet no kokaugiem — melnalkšņi, bērzi, kārklī, nosusinātos purvos arī egles. Pēc dominējošiem augiem un izveidotās kūdras izšķir šādus purvus: pļavu, alkšņu, niedru, grīšļu—ciņu, grīšļu, hipnu—grīšļu un mežu.

Palielinoties zāļu kūdras slāņa biezumam, arvien mazāka kļūst minerālvielām bagāto ūdeņu ietekme, samazinās augu barības vielu daudzums. Bez tam, samazinoties cieto gruntsūdeņu ietekmei, kūdra kļūst skābāka un rodas nelabvēlīgi apstākļi stiebrzāļu attīstībai. Barības vielu trūkums izraisa izmaiņas purvu augu cenožē — izzūd grīšļi, niedres, vārnkājas un sāk augt mazāk prasīgie mezotrofilie augi: šeihcerijas, sfagni, vaivariņi, andromedas, no kokiem — purva priede un bērzs. Līdz ar mezotrofilajiem augiem purvā parādās arī oligotrofilie augi. Šo purva attīstības stadiju sauc par pārejas purva fāzi.

Pārejas purvā barības vielām bagāto gruntsūdeņu pieplūde ir apgrūtināta un augi pāriet uz barošanu no atmosfēras nokrišņiem. Aug priedes, bērzi, kārklī un citi koki. Pēc dominējošās kūdras un augiem izšķir grīšļu—sfagnu un hipnu—sfagnu purvus.

Sūnu jeb augstā purva attīstības stadijā barības vielu trūkuma dēļ sāk dominēt oligotrofilie augi, no kuriem galvenā ir sfagnu sūna. Reizēm turpina augt arī spilves, dzērvenes, vaivariņi, rasenes, zīlenes, purva priedes (18. att.). Ar laiku koki iznīkst un izveidojas sfagnu purvs ar īpatnēju izliektu virsmu, kas var pacelties pat 7 m virs purva malām. Sūnu purvu virsējam slānim nepieklūst gruntsūdens, un purva augi barojas galvenokārt tikai no atmosfēras

	<i>Barošanās tips</i>	<i>Ūdens režīms</i>
A 	<i>Centrāli oligotrofs</i>	<i>Nokrišņu ūdeņi</i>
B 	<i>Oligotrofs</i>	<i>Nokrišņu ūdeņi (daļēji gruntsūdeņi)</i>
C 	<i>Mezotrofs</i>	<i>Gruntsūdeņi un nokrišņu ūdeņi</i>
D 	<i>Eitrofs</i>	<i>Gruntsūdeņi</i>
E 	<i>Eitrofs</i>	<i>Gruntsūdeņi</i>

1

2

3

4

5

17. Raksturīgākie purvu geomorfoloģiskie tipi:

A — augstais sūnu purvs, *B* — zemais zāļu purvs, *C* — pārejas purvs, *D* — zemais zāļu purvs, *E* — nogāžu-krauju zāļu purvs; 1 — zāļu kūdra, 2 — sfagnu kūdra, 3 — pārejas kūdra, 4 — sapropelis, 5 — saldūdens kaļķi.

nokrišņos esošajām barības vielām. Pēc dominējošiem augiem un izveidotās kūdras izšķir spilvu—sfagnu un sfagnu purvus. Tomēr ne vienmēr purvu attīstība norisinās pēc aprakstītās shēmas. Atkarībā no reljefa, barības vielu režīma un citiem faktoriem purvs var veidoties arī citādi.

Latvijas teritorija ir ar purviem bagāta. Visvairāk purvu ir Austrumlatvijas zemienē, īpaši Aiviekstes un Dubnas baseinā. Šeit atrodas vislielākais Latvijas purvs — Teiču purvs (18 670 ha), kas ir aizsargājams dabas objekts, kā arī vēl citi purvi (Salas, Bērzpils, Stružānu), kuru platība pārsniedz 5000 ha. Lieli purvu masīvi atro-

das Sedas upes baseinā un trīsstūrī starp Rīgu, Jelgavu un Tukumu — Piejūras zemienē (Cenas, Tīreļu, Ķemeru, Kaigu u. c.). Maz purvu ir Vidzemes, Latgales un īpaši Kurzemes augstienēs.

Purvus pēc kūdras dziļuma iedala seklos purvos, ja kūdras kārtā ir 1 m bieza, vidēji dziļos purvos, ja kūdras kārtā ir līdz 2 m, un dziļajos purvos, ja kūdras kārtā biezāka par 2 m. Purvus, kuros kūdras slānis nenosusinātā stāvoklī ir biezāks par 0,7 m, sauc par *kūdras atradnēm*. Par purva augsnēm pieņemts nosaukt pārmitru zemi, kura pārsegta ar kūdras slāni, kas nenosusinātā stāvoklī ir biezāks par 30 cm, bet nosusinātā stāvoklī biezāks par 20 cm. Purvu augšnes ir ģenētiski saistītas ar visu kūdras slāni, un to veidošanās galvenokārt atkarīga no virsūdeņu un gruntsūdeņu minerālvielu sastāva.

Kūdras sastāvs ir stipri atkarīgs no tās sadalīšanās pakāpes, tas nosaka daudzas kūdras īpašības. Jo kūdra vairāk sadalījusies, jo tajā lielāks pelnu un augu barības vielu saturs. Kūdras ķīmiskais sastāvs ir ļoti dažāds un galvenokārt atkarīgs no kūdras botāniskā sastāva. Kūdra satur tos pašus ķīmiskos elementus, kas ietilpst augos, no kuriem kūdra veidojusies. Praksē parasti izšķir sūnu un zāļu kūdru. Latvijas kūdras ķīmiskais sastāvs ir daļēji raksturots 10. tabulā.

Zāļu un sūnu kūdru ķīmiskais sastāvs un fizikālās īpašības ir stipri atšķirīgas.

Zāļu kūdrā ir 10—14% pelnu, dažreiz — pat 30% un 10—20% sausas. Aktivā reakcija vāji skāba vai neitrāla (pH 4,8—6,8), virs ezerkaļķiem tā sasniedz pat pH 7. Kūdra parasti labi sadalījusies, ar augstu slāpekļa saturu — no 2,6 līdz 3,5%, CaO — no 3,2 līdz 4,3, virs ezerkaļķiem sasniedzot pat 5%, MgO — no 2,8 līdz 3,8% un



18. Sūnu purvs (augstais purvs).

Latvijas kūdras ķīmiskais sastāvs, %
(pēc P. Nomaļa un K. Bamberga)

Kūdras veids	Organiskās vielas	Pelni	N	CaO	MgO	P ₂ O ₅	K ₂ O	Nepiesātinājums (millekvivalentos)
Sfagnu (11 purvos)	97,8	2,16	0,93	0,35	0,11	0,06	0,07	80—160
Sfagnu spilvu (10 purvos)	96,8	3,19	1,20	0,43	0,10	0,07	0,06	60—150
Grišļu un grišļu-hipnu (17 purvos)	89,2	10,34	2,63	3,31	0,28	0,22	0,12	50—130
Koku un grišļu (26 purvos)	87,3	13,89	2,78	4,33	0,38	0,18	0,11	30—100
Niedru-grišļu (8 purvos)	86,1	14,03	2,57	3,86	—	0,16	0,14	40—90
Kūdra virs ezerkaļķiem (8 purvos)	87,1	12,30	2,80	4,41	—	0,14	—	18—41

K₂O — no 0,11 līdz 0,12%. Kūdrā ir arī nedaudz P₂O₅ (0,14—0,22%), Fe₂O₃ (0,1—4,0%), kas atkarīgs galvenokārt no cirkulējošiem ūdeņiem, kā arī Al₂O₃ (0,1—0,5%). Daļa minerālvielu, arī mikroelementi, no kūdrām pāriet gruntsūdeņos un aizplūst uz ezeriem, upēm, tāpēc mikroelementu saturs kūdrā var būt ļoti dažāds. Pēc G. Mežala datiem, zaļu kūdrā necīgā daudzumā ir arī cinks (4—6 mg/kg), varš (1,85—5,5 mg/kg), to saturs gan var stipri mainīties un dažreiz sasniegt pat 15 mg/kg. Necīgā daudzumā zaļu kūdrā ir arī molibdēns (1,2—2,4 mg/kg), bors (0,3—0,9 mg/kg) un kobalts (0,10—0,30 mg/kg). Zaļu kūdrai ir liela ūdensietilpība (80—90%). Tās tilpummasa pieaug līdz ar sadalīšanās pakāpi. Kūdras porozitāte, kapilaritāte, mitrums atkarīgs no sadalīšanās pakāpes un dispersitātes. Kūdras hidroloģiskās īpašības (ūdens atdevi, caurlaidību, ietilpību) nosaka ūdens veidi.

Sūnu kūdra ir maz vai vidēji sadalījusies ar ļoti skābu reakciju (pH_{KCl} 2,6—3,2, pH_{H₂O} 3—4). Tajā ir maz slāpekļa (0,9—1,2%), CaO (0,35—0,43%), necīgs MgO saturs (ap 0,10%) un ļoti maz P₂O₅ (0,06—0,07%). Sūnu kūdra dabiskā stāvoklī satur 75—95% ūdens un tikai 5—10% sausas. Pēc prof. P. Nomaļa datiem, 1 m³ sūnu kūdras satur vidēji 70 kg sausas, turpreti zaļu kūdra — 135 kg sausas. Siltumspēja kūdrai ir 12 570—230 457 J.

Kūdras izmantošana. Latvijā lielākās kūdras atradnes tiek izstrādātas lauksaimniecības un rūpniecības vajadzībām. Pašreiz 90% no iegūtās kūdras izmanto lauksaimniecībā. Kūdras lieto mēslošanai, lai palielinātu trūdvielu daudzumu augsnē. Tirā veidā lieto zaļu kūdras, kurai ir vāji neitrāla reakcija un bagātīgs pelnu elementu saturs. Kaut arī zaļu kūdrā ir vairāk slāpekļa nekā kūtsmēslos, augi pirmajā gadā spēj izmantot tikai 0,5—1,5% no tajā esošā slāpekļa, jo kūdrā ir maz mikroorganismu un tā lēni mineralizējas. Vērtīgākas ir kūdras, kas satur kalcija karbonātu vai fosforu

vivianītu. Augstvērtīgs paņēmieni organiskā mēslojuma iegūšanā ir kūdras kompostēšana. Kompostējamo kūdru pēc ieguves veida iedala *kompostfrēzkūdrā* un *kompostkūdrā*, kura iegūta ar buldozeru pēc virskārtas paņēmiena. Abām kūdrām sadalīšanās pakāpei jābūt lielākai par 20%, un mitrums nedrīkst pārsniegt 60%. Pagatavojot kūdras kompostu, svarīgi ir palielināt kūdras bioloģisko aktivitāti. Tāpēc kompostam jāpievieno kaļķi, fosformilti, minerālmēsli, dažādi bioloģiski aktīvi mēsli un ķīmiskas vielas. Komposti var būt dažādi: kūdras-pakaišu-kūtsmēsli, kūdras-vircas, kūdras-fekāliju, kūdras-kaļķa un kūdras-pelnu komposts, kā arī kūdras-amonjaka mēsli un amonizēta kūdra. Maz sadalījušos skābo sfagnu kūdru lauksaimniecībā izmanto par pakaišiem. Sadalīšanās pakāpe nedrīkst pārsniegt 50%. Pakaišu kūdru iegūst ar frēzpaņēmieniem, savācot lielas stīpas — karavānas. Kūdras pakaiši labi uzsūc vircu, saista gāzes — amonjaku NH_3 , sērūdeņradi H_2S . Kūtīs, kur kūdras pakaiši tiek lietoti pietiekoši, ir tīrs gaiss un mājlopi mazāk slimo.

Zāļu purvus pēc efektīvas nosusināšanas un vispusīgas augsnes iekultivēšanas, kā arī racionāli izmantojot un lietojot optimālu agrotehniku, var pārvērst augstvērtīgās lauksaimnieciski izmantojamās augsnes.

Latvijas rūpniecība kūdru vēl izmanto kurināmā un izolācijas materiālu ražošanā. Pēc iegūšanas veida izšķir

- mašīnkūdru — izrok ar mašīnām un ar spiednēm izveido ķieģeļus;

- hidrokūdru — izskalo ar hidromonitoriem un masu pārsūknē uz žāvēšanas laukiem;

- frēzkūdru — iegūst virsējo kūdras slāni, to ar mašīnām uzirdina un safrēzē, tādējādi iegūstot kūdras smalkni;

- griezto kūdru — ar speciālām lāpstām izrok ķieģeļveida gabalus, kurus žāvē uz lauka.

Izžāvēto frēzkūdru saspiežot virzuļveida spiedēs, iegūst kurināmo — kūdras briketes. Tās ražo Olaines, Baložu, Stružānu un citas kūdras rūpnīcas. Kūdru izmanto arī termiskā un ķīmiskā pārstrādē elektriskās enerģijas, koksa, deggāzes, darvas, šķidro degvielu, spirta, fenolu, parafina, vaska un citu produktu ieguvei.

Sapropelis dabiskā stāvoklī ir miksts organominerāls ezera nogulums ar recekļainu struktūru. Krāsa atkarībā no ķīmiskā sastāva un minerāļpiejaukumiem var būt melna, tumši brūna, zaļgana, dzeltena vai pat iesārta. Smilts piejaukums sapropelīm piedod pelēku krāsu, māli — dzeltenu un kaļķi — baltu. Izkaltis tas ir raga cietumā ar spīdīgu griezuma virsmu. Atšķirībā no labi sadalījušās kūdras sapropelis nekrāso ūdeni brūnu un tajā ir palielināts slāpekļa, ūdeņraža un sēra saturs. Ja neorganisko vielu sapropelī ir vairāk nekā 50%, to sauc par *daudzpelnaino sapropeli* jeb *sapropeloidu*. Izšķir mālainu, smilšainu un kaļķainu sapropeli. Sapropelus klasificē pēc to ķīmiskā sastāva (11. tab.).

Pēcleduslaikmetā ezera sākuma stadijā veidojās mineralizētie sapropeli, jo ūdensaugu daudzums bija neliels, bet minerālvielas bagāti tika ienestas no upēm, strautiem un krasta. Biezāki daudzpel-

Sapropela nogulumu klasifikācija
(pēc B. Vimbas, K. Bambergā)

Iežu nosaukums	Ķīmiskais sastāvs			
	organiskās vielas, %	pelni, %	CaCO ₃ , %	māli, smiltis, Fe ₂ O ₃ , Al ₂ O ₃ , %
<i>Sapropeli</i> (organiskās vielas — >50%)				
mazpelaini	>70	<30	<10	<30
daudzpelaini	50—70	30—50	<10	>20
kalķaini	50—90	<30	10—30	<40
kalķa	50—70	30—50	20—50	<20
<i>Mineralizēti sapropeli</i> (organiskās vielas — 20—50%)				
mālaini,				
smilšaini	20—50	50—80	<10	>40
kalķaini	20—50	50—80	10—30	>20
kalķa	20—50	50—80	30—50	>20
<i>Sapropelaini ezerkalķi</i> (>50% CaCO ₃)	10—50	50—90	50—90	<40
<i>Dūņas</i> (ezeru, dīķu)	<20	>80	<20	60—95
<i>Sapropelaina kūdra</i>	>85	<15	<10	

nainie sapropeli veidojās ezeros, kur ieplūda ar minerālvielām bagāti ūdeņi (Babītes ezers u. c.). Tiešie sapropeli veidojās galvenokārt eitrofiskos — ar barības vielām bagātos ezeros no atmirstošiem ezera planktona augiem un dzīvniekiem, tiem ilgstoši atrodoties anaerobos apstākļos. Eitrofiskos ezeros siltos klimata apstākļos savairojas daudz planktona organismu: foraminīferas, radiolārijas, diatomejas, aļģes, baktērijas, dažādas vēžveidīgo sugas u. c. Sapropela veidošanā piedalās arī bentosa augi un dzīvnieki: amēbas, infuzorijas, gliemji u. c.

Rudeņos, planktonam atmirstot, tas kopā ar ezera ūdenī suspendētajām minerālvielām nogulsņējas sapropela virskārtas slānī, kurā ar baktēriju, augu un dzīvnieku līdzdalību norisinās sarežģīti bioloģiski procesi. Hidrolizējas olbaltumvielas, pektīnvielas, kondensējas aminoskābes aldehīdcukuri un norisinās citi procesi, kuru rezultātā izveidojas receklaina koloidāla masa — sapropelis. Dabiski valgs sapropelis satur 90—97% ūdens, pelnu saturs kopsausnā — 5—80%. Sapropela organiskā masa sastāv galvenokārt no ogļūdeņražiem un olbaltumvielām, kā arī lignīna, eļļām, taukiem, vaskiem, sveķiem un citām vielām. Tā satur arī makroelementus un mikroelementus. Pēc N. Brakša un B. Vimbas datiem, organiskā masa satur 30,8—59,2% oglekļa, 6,6—7,4% ūdeņraža, 4,7—5,4% slāpekļa, 0,6—1,5% sēra, 27,9—35,2% skābekļa.

Latvijā sapropela krājumi ir ap 3 miljardiem kubikmetru. Bagāti ar sapropeliem ir arī Sanktpēterburgas, Ivanovas, Čelabinskas, Kaļiņingradas apgabali, Baltkrievija un Lietuva. Sapropeli bieži ir izplatīti purvos zem kūdras. Latvijā katrā trešā kūdras atradnē ir sapropela nogulumu, kuru biezums svārstās no viena līdz vairākiem metriem. Krievijā konstatētais lielākais sapropela kārtas biezums ir 40 m (Somino ezerā), bet purvos — 6 m.

Sapropela izmantošana. Sapropeli var izmantot granu-lētā veidā kā organominerālmēslojumu, jo tas satur augiem nepieciešamās barības vielas un mikroelementus Mo, Co, Cu, B, Mn, J, Zn, kā arī makroelementus N, P, K, Ca, S. Bez tam sapropelis satur arī vitamīnus, fermentus un aminoskābes. Lopkopībā to izmanto kā piedevu mājdzīvnieku un putnu ēdināšanā, tādējādi palielinot dzīvnieku produktivitāti, uzlabojot vielmaiņu un samazinot saslīmšanu.

Sapropeli iegūst ar ekskavatoru tipa mašīnām un dīzeļelektriskajiem zemessūcējiem. Sapropeli izmanto arī ķīmiskajā rūpniecībā, celtniecības materiālu izgatavošanā un medicīnā. Sapropela sausajā pārtvaicē jeb puskoksēšanas procesā 500—550 °C temperatūrā iegūst pīrmdarvu, puskoksu, deggāzes, darvas ūdeņus, benzīnu, eļļas. Pārdestilējot darvu un darvas ūdeņus, iegūst parafīnu, fenolu, piridīna bāzes, metilspirtu, acetonu un citus produktus. Sapropeli hidrolizējot un biokīmiski pārstrādājot, iegūst lopbarības raugu. Sapropeli var izmantot arī kā saistvielu būvplākšņu izgatavošanā no koksnes skaidām un kūdras. Izgatavo kūdras-sapropela betonu. Medicīnā sapropeli var izmantot ekzēmu un apdegumu ārstēšanā, kā ārstniecības dūņas dažādu slimību ārstēšanā (Ķemeros, Baldonē).

Metamorfo iežu klasifikācija

Metamorfie ieži veidojušies no magmatiskajiem vai nogulumiežiem, tiem pārveidojoties augstas temperatūras, spiediena, kā arī ķīmiski aktīvu šķīdumu vai gāzu iedarbības rezultātā. Šis pārvērtības notiek cietā stāvoklī, un šo procesu sauc par metamorfismu. Metamorfie ieži, kas radušies no magmatiskajiem iežiem, ir pilnkristāliski (var būt tāds pats mineralogiskais sastāvs kā magmatiskajiem iežiem), bet tiem ir atšķirīga tekstūra. Visbiežāk sastopamie tekstūru tipi ir blīvslāniskā, joslainā un krokotā.

Metamorfie ieži, kas radušies no nogulumiežiem, ir labāk izkristalizējušies un nesatur pārkmeņojumus. Metamorfisma procesos iežos var izmainīties mineralogiskais un ķīmiskais sastāvs.

Metamorfismā galvenie faktori ir augsta temperatūra un spiediens, kā arī Zemes garozā cirkulējoši sakarsēti gāzveida magmas izdalījumi un sakarsēti mineralizēti šķīdumi. Izšķir vairākus metamorfisma tipus: kontakta metamorfismu, dinamometamorfismu un reģionālo metamorfismu.

Kontakta metamorfisms. Galvenie iežu pārveidotājfaktori ir augsta temperatūra, gāzes, tvaiki un šķīdumi, kas izdalās no tuvumā esošās magmas un saskaras ar apkārtējiem iežiem. Ir 2 kontakta

metamorfisma veidi: kontakttermālais un kontaktmetasomatiskais metamorfisms.

Kontakttermālā metamorfisma procesā ieži izmainās, galvenokārt ilgstoši iedarbojoties augstai temperatūrai. Intrūzijai tuvākie mālu slāņi pārvēršas par filītu (dabisko šiferi), tālākie — par māla slānekļiem, bet kaļķakmeņi vai citi karbonātiešie ieži šajā procesā pārvēršas par marmoru.

Kontaktmetasomatiskā metamorfisma procesā notiek ķīmiskās aizvietošanas reakcijas, kur ieži izmainās atkarībā no tā, vai vielas pieplūst vai tiek aiznestas prom. Izšķir pneimatolītisko un hidroterminālo metamorfismu.

Pneimatolītiskais metamorfisms ir saistīts ar gāzu, tvaiku un to viegli gaistošo komponentu (F , Cl , H_2O , H_2S , K_2S , Na_2O) iedarbību uz iežiem. Šīm gāzveida vielām iedarbojoties uz magmatiskajiem iežiem un kaļķakmeņiem, izveidojas tipiski ieži skārņi, kuriem svarīga nozīme kā vara, dzelzs, alvas, volframa un polimetālu rūdām.

Hidroterminālā metamorfisma procesā ieži izmainās karstu (līdz $400^{\circ}C$), mineralizētu šķīdumu iedarbības rezultātā. Tie ierosina hidratācijas, hlorizācijas, serpentinizācijas un citus procesus. Šķīdumi parasti cirkulē pa iežu plaisām, ar to arī izskaidrojama rūdu hidroterminālo dzīslu rašanās, kurām ir liela rūpnieciska nozīme sulfīdu un citu derīgo izrakteņu veidošanā.

Dinamometamorfisms. Tas noris kalnu veidošanās procesos, galvenokārt iežu lūzumu un plaisu zonās paaugstināta spiediena iedarbības rezultātā. Ja process notiek arī augstā temperatūrā, rodas jauni minerāli: plagioklazi pārvēršas sericītā, dzelzs un magnija silikāti — hlorītā un talkā.

Reģionālais metamorfisms. Šis metamorfisma veids saistīts ar procesiem, kad vienlaicīgi iedarbojas visi iepriekš minētie metamorfisma faktori, bez tam tas notiek plašā Zemes garozas teritorijā. Ieži ir pakļauti lielām izmaiņām, tāpēc šādu metamorfismu sauc par reģionālo.

Izplatītāko metamorfo iežu raksturojums

Gneisu sastāvā galvenie minerāli ir laukšpati, kvarcs un vizlas. Pēc dominējošās vizlas izšķir muskovīta, biotīta un divvizlu gneisus. Parasti tie ir ar joslainu tekstūru. Gneisi Latvijā sastopami laukakmeņos kopā ar granītu.

Smalkgraudainie gneisi (leptīti) ir gneisiem līdzīgi sīkkristāliski ieži, kuri sastāv galvenokārt no laukšpatu grupas minerāliem: satur arī vizlas, kvarcu un ragmānu. Smalkgraudainajiem gneisiem pastāv pārejas pakāpes uz gneisiem, vizlas slānekļiem un kvarcītiem. Latvijā sastopami laukakmeņu veidā.

Migmatīti sastāv no granīta kārtām un stipri izlocītām slāniskām gneisa kārtām. Tie ir magmatisko un metamorfo iežu sakopojums. Latvijā bieži sastopami kā laukakmeņi; parasti pēc izmēriem tie ir paši lielākie.

Migmatītus izmanto ēku apdarei (Ministru Padomes ēka Rīgā).

Vizlu slānekļu sastāvā dominējošie minerāli ir vizlas. Pēc dominējošās vizlas izdala muskovīta, biotīta un divvizlu slānekļus. Ir arī pārejas veids uz gneisiem. Vizlu minerāli parasti pirmie ķīmiski sadēd, un slānekļu virsma kļūst sudrabota (no biotīta) vai zeltaina (no muskovīta). Daudzi laukakmeņi no vizlu slānekļiem morēnās ir sadēdējuši un pārvērtušies par mālu minerāliem, laukšpatiem un kvarcu. Vizlu slānekļiem ir maza izturība, tāpēc tos būvniecībā nelieto.

Māla slānekļi sastāv no mālu minerāliem un nedaudz kvarca. Krāsa tumši pelēka vai melna. Atšķirībā no māliem neatmiešķējas ūdenī. Latvijā retumis sastopami kā nelieli laukakmeņi. Kā augšņu cilmiežus nelielās platībās atrod Karēlijā, Urālū un Kaukāza kalnos.

Siferi (filīti) ir nākamā mālu slānekļu metamorfozes stadija. Atšķiras ar pilnkristālisku struktūru un slāniskumu. Sastāv no sīki slāņotiem mālu minerāliem. Siferiem raksturīgs zīda spīdums, ko rada sīkās vizlu plāksnītes. Satur arī kvarcu un laukšpatus. Latvijā sastopami reti, nelielu laukakmeņu veidā. Celtniecībā var lietot kā jumta segumu.

Kvarcīti sastāv no kvarca graudiņiem, kuri sacementējušies vai tā sakusuši ar SiO_2 , ka nav izšķīramas šo minerālu graudu robežas. Krāsa parasti sarkani pelēka, violeta vai dzeltena, lūzuma virsma spīdīga. Latvijā bieži sastopami nelielu laukakmeņu veidā. Visvairāk ir sarkano kvarcītu. Kvarcīti ir ļoti cieti, un tie ir labs materiāls ceļu būvei, ēku apdarei. No tiem var izgatavot ugunsizturīgus ķieģeļus (dīnasa) un pret skābēm izturīgus materiālus.

Marmori sastāv no minerāla kalcīta, retāk — no dolomīta. Ir dažādā krāsā, reaģē ar 10% HCl , viegli ieskrāpējami ar nazi. Latvijā laukakmeņu veidā sastopami ļoti reti. Celtniecībā izmanto ēku iekšējai un ārējai apdarei (Maskavas metro, Kongresu pils), pieminēkliem un citām dekoratīvām arhitektūras formām.

Maltu marmoru var lietot kā kaļķošanas materiālu skābām augsnēm. Lielākās marmora atradnes ir Dienvidurālos, Kaukāzā un Sajānu kalnos.

Ragmāņa slānekļi ir tumši zaļgani vai melni, cieti, slāniski ieži. Sastāv no ragamāņa. Latvijā sastopami laukakmeņu veidā. Izmanto celtniecībā.

ZEMES ĢEOLOĢISKAIS VECUMS UN ĢEOHRONOĢISKĀ SKALA

IEŽU VECUMA NOTEIKŠANAS METODES

Iežu absolūtā vecuma noteikšanai lieto radiometriskās, termoluminiscences un paleomagnētiskās metodes, bet relatīvo vecumu nosaka ar paleontoloģiskajām metodēm.

Paleontoloģiskās metodes būtība ir seno organismu atlieku vai to atstāto dzīvības procesu pēdu izpēte iežos, kurā noskaidro seno

ģeoloģisko periodu augu un dzīvnieku vēsturisko attīstību atkarībā no to apdzīvotās vides ekoloģiskiem apstākļiem. Šo metodi 19. gadsimta sākumā ieteica V. Smits un tālāk pilnveidoja Z. Kivjē, A. Bonjarss u. c.

Paleontoloģiskā metode ir labi piemērota nogulumiežu relatīvā vecuma noteikšanai, jo katrs šo iežu komplekss satur dažādu daudzumu faunas un floras palieku. Pēc to noteikšanas var spriest, kuri slāņi veidojušies agrāk, kuri vēlāk, kuri vienlaicīgi. Organisma paliekas saglabājas pilnīgi vai arī mineralizējas. Cietās skeleta daļas — kauli, gliemežnīcas, zvīņas, zobi — parasti saglabājas pārakmeņotā stāvoklī, bet mikstie audi noārdās. Seno ģeoloģisko periodu un organismu darbības pēdas sauc par *fosilijām*. To sugu un ģinšu pārstāvji, kuri dzīvojuši vairākos ģeoloģiskos periodos, ģeoloģisko periodu un epochu noteikšanai neder. Iežu slāņu un slāņkopu vecuma noteikšanai der tikai tās sugas, kuras raksturīgas noteiktam ģeoloģiskam periodam, epochai vai laikmetam un vēlāk nav sastopamas. Tās sauc par *vadfosilijām* (vadformām). Visbiežāk vadfosilijas sastopamas kā pārakmeņojumi, bet var būt arī kā pēdu nospiedumi iežos, kukaiņu ieslēgumi dzintarā utt. Lietojot paleontoloģisko metodi, stingri jāievēro, ka iežu vecuma noteikšanai var salīdzināt tikai līdzīgu faunu vai floru, kura eksistējusi noteiktos fiziski ģeogrāfiskos apstākļos. Lai varētu izmantot paleontoloģisko metodi, ir jāzina faunas un floras sistemātiskais iedalījums. Organiskās pasaules sistemātikā ir šādas taksonomiskās jeb klasifikācijas vienības: tips, klase, kārta (augiem rinda), dzimta, ģints, suga. Dzīvnieku organismus iedala 10 tipos: viēnšūņos, sūkļos, zarndobumaiņos, tārpos, adataiņos, sūņos, pleckājos, mikstmiešos, posmkājos, hordaiņos. Augu valsti pēc I. Davitašvili iedala 9 tipos — kārtiņņiekos, nematofitos, sūnās, psilofitos, staipekņaugos, posmstiebraiņos, paparžaugos, kailsēkļos un segsēkļos. Iežu slāņu relatīva ģeoloģiskā vecuma noteikšanā svarīgākais materiāls ir vadfosilijas.

Radiometriskās metodes izmanto iežu absolūtā vecuma noteikšanai. Tā aprēķināšana pamatojas uz radioaktīvo vielu pussadalīšanās un pussabrukšanas periodu noteikšanu, kā arī stabilo elementu vai izotopu daudzuma noteikšanu. Radioaktīvie izotopi ir kā atomu pulksteņi, kuri sāk darboties no minerālu kristalizēšanās brīža.

Radiometriskās metodes deva iespēju noteikt iežu absolūto vecumu, t. i., noteikt, kad ieži izveidojušies. Radioaktīvo elementu (urāna, torija) sabrukšanas ilgums noder laika mērīšanai, jo katram radioaktīvam elementam ir savs noteikts pussabrukšanas periods, kas nav atkarīgs no apstākļiem, kādos atrodas elements. Radioaktīvie elementi ar laiku pārvēršas citos noteiktos stabilos elementos un izotopos. No minerālu izotopiem neviens vēl pilnīgi nav izzudis, vienīgi tie izotopi, kas ātri sadalās (transurāns u. c.).

Viena no radiometriskajām iežu vecuma noteikšanas metodēm ir urāna metode. Radioaktīvajam urānam ^{238}U (atommasa 238) pakāpeniski sabrukot, tas pārvēršas polonijā ^{210}P un pēc tam svīnā ^{206}Pb . Svinam, kas radies, sabrukot urānam, ir parastā svīna ^{207}Pb ķīmiskās īpašības, bet citāda atommasa (206). Tas dod iespēju at-

šķirt un noteikt svinu, kas radies no urāna. Nosakot šī svina daudzumu iežu slānī, var aprēķināt slāņa vecumu pēc šādas formulas:

$$\frac{\text{RaD}}{^{206}\text{Pb}} = \frac{^{238}\text{U}}{\lambda \text{ RaD} (\ln ^{238}\text{U} - 1)} t,$$

kur RaD — svina izotops, kura atommasa 210 (^{210}Pb),
 λ — radioaktīvo elementu sabrukšanas konstante,
 $\ln$ — naturālais logaritms,
 t — minerālu vecums.

Zemes garozas vecumu, lietojot urāna—svina metodi, pirmais noteica angļu ģeologs A. Holms; tā izveidojusies pirms 3,5 miljardiem gadu. Vēl ir torija—svina, rubidija—stroncija un kālija—argona metode. Krievijā plaši lieto kālija—argona metodi, ko izstrādājis akadēmiķis E. Gerlings. Metodes pamatā ir argona ^{40}Ar un kālija izotopa ^{40}K daudzumu attiecības. Sadaloties kālija minerāliem, apmēram 12% kālija atomu pārvēršas argonā, bet pārējie 88% kālija atomu tālāk pārvēršas kalcija izotopā.

Pēcleduslaikmeta iežu absolūtā vecuma noteikšanā precīzākā ir radiooglekļa metode, ko izstrādājis amerikāņu zinātnieks J. Libijs. Metode pamatojas uz parādību, ka atmosfēras augšējos slāņos kosmiskās radiācijas apstākļos, neitroniem iedarbojoties uz izplatītāko ^{14}N atomu, tas iegūst papildu neitronu un pārvēršas par ^{15}N , kas sabrukot pārvēršas par ^{14}C un izstaro 1 protonu. Radioaktīvais ogleklis oksidējas līdz CO_2 , ko saista augi. Augos veidojas radioaktīvais ogleklis ^{14}C . Tā koncentrēšanās nenotiek, jo dzīves laikā starp augiem notiek nepārtraukta CO_2 apmaiņa, kas ir līdzsvarā ar pastāvīgo ^{12}C . Kamēr augs dzīvo, tikmēr katrs oglekļa grams satur vienādu skaitu ^{14}C atomu. Augiem atmirstot, CO_2 uzņemšana izbeidzas un sākas radioaktīvā oglekļa sabrukšana ar pussabrukšanas periodu 5730 ± 40 gadi. Pēc nākamajiem 5730 gadiem paliek puse no šīs puses utt.

Ar radioaktīvā oglekļa metodi var noteikt iežu vecumu līdz 56 000 gadiem, tad ^{14}C daudzums ir tik mazs, ka mērījumi nav precīzi. Visjaunākā tehnika ļauj noteikt koksnes, ogļu, kūdras un citu ar oglekli bagātu materiālu vecumu līdz 100 000 gadiem. Grams mūsdienu koksnes kopējā oglekļa scintilatorā izraisa caurmērā 15 impulsus minūtē. Ja grams fosilās koksnes scintilatorā izraisa 7,5 impulsus, tad šīs koksnes vecums ir 5730 gadi. Impulsu skaita samazināšanās par vienu impulsu minūtē atbilst 764 gadiem. Ar radioaktīvā oglekļa metodi Latvijā noteikts vairāku leduslaikmeta, starpleduslaikmeta, leduslaikmeta beigu posma un pēcleduslaikmeta nogulu, kā arī arheoloģisko objektu vecums. Tā, piemēram, Lejasciema apakšhorizonta aleirītu augu atlieku vecums ir 34 000 gadu.

ZEMES ĢEOLOĢISKĀS VĒSTURES IEDALĪJUMS

Pašreiz Zemes izveidošanās un attīstības vēsturē izšķir divus lielus posmus — pirmsģeoloģisko un ģeoloģisko.

Pirmsģeoloģiskais posms aptver laiku no Zemes rašanās līdz tās attīstībai par planētu (pirms 8—10 miljardiem gadu).

Zemes vēstures shēma

Eoni	Apakšoni	Eras	Robežu ģeoloģiskais vecums, miljoni gadu
Fanerozojs		Kainozojs	67 ± 3
		Mezozojs	240 ± 10
		Paleozojs	570
Proterozojs	Vēlais proterozojs (Rifejs)	Vends	650—680 ± 20
		Vēlais rifejs	1050 ± 50
		Vidējais rifejs	1400 ± 50
		Agrais rifejs	1650 ± 50
	(Afēbijs)	Vēlais afēbijs	1900 ± 100
		Agrais afēbijs	2600 ± 100
Arhajs		Vēlais arhajs	3000 ± 150
		Agrais arhajs	3500 ± 150
Katarhajs			4500—5000

Pēc tam sāka izveidoties Zemes atmosfēra, hidrosfēra un garoza (pirms 4,5—5 miljardiem gadu). Pirmsģeoloģisko vēsturi nevar noteikt ar ģeoloģiskām metodēm, pastāv hipotēzes par Zemes kā kosmiskā ķermeņa attīstību Saules sistēmā. Šo attīstības posmu sauc par kosmisko jeb planetāro attīstību.

Ģeoloģiskā vēsture sākas no tā laika, kad radās Zemes cietā garoza, kad izveidojās pirmie minerāli un ieži. Zemes ģeoloģiskajā vēsturē izdala lielākus laika posmus jeb *eonus* (katarhajs, arhajs, proterozojs un fanerozojs), kurus atdala īsāki laika posmi jeb *ēras*, kad notika intensīvi vulkāniskie procesi un magmas intrūziju veidošanās Zemes garozas dziļākos horizontos, kā arī paaugstināta tektoniska aktivitāte, kas izpaužas kā Zemes garozas kustības. Magmas konvekcijas strāvas izraisīja kontinentu pārvietošanos, ko var restaurēt pēc paleomagnētiskiem pētījumiem.

Izšķir 11 ģeoloģiskās ēras: agrais arhajs, vēlais arhajs, agrais afēbijs, vēlais afēbijs, vidējais un vēlais rifejs, tad seko vends, paleozojs, mezozojs un kainozojs (12. tab.). Visām ērām ir raksturīgi dažādi ģeoloģiskie notikumi, izveidojas dažādi iežu kompleksi. Sākot ar vēlo arhaju, attīstījušās pirmās fosilijas — aļģes un baktērijas. Agrā afēbija ērā organismi sākuši diferencēties un iedzīvoties apkārtējā vidē, tāpēc tā atšķiras ar dažādām attīstības pakāpēm. Mūsdienās ir

aptuveni zināms, kādi dzīvnieki un augi dzīvoja dažādu ēru fiziski ģeogrāfiskos apstākļos. Pēc vadfosiliju organismiem nosaka ēras.

Ēras tālāk dala periodos, epohās un laikmetos (13. tab.). Iežu kompleksu, kas veidojies ēras laikā, sauc par grupu. Grupu dala sistēmās un stāvos, piemēram, paleozoja ērā veidojās paleozoja iežu grupa, devona periodā izveidojušies devona sistēmas ieži. Katru ģeoloģisko periodu apzīmē ar pieņemtiem burtiem un krāsū. Ģeoloģisko periodu nosaukumi veidoti pēc atklājēju ieteikuma vai vietas nosaukuma, kurā pirmo reizi ieži atklāti un izpētīti, piemēram, perma perioda nosaukums izvēlēts tāpēc, ka perma ieži kā atsevišķa sistēma vispirms izdalīti Permas guberņā, juras periods nosaukts pēc Juras kalniem utt. Zemes attīstības vēsture parādīta stratigrāfiskajā fanerozoja shēmā (sk. 13. tab.), kurā redzama Zemes garozas un tās atsevišķo apgabalu iežu stratigrāfiskā secība un vēsturiskie attīstības posmi.

Stratigrāfiskās shēmas iedala trīs kategorijās: vispārējās, reģionālās un vietējās shēmas. *Vispārējās stratigrāfiskās shēmas* iedalī-

13. tabula

Fanerozoja ģeohronoloģiskā skala

Eras	Periodi		Robežu ģeoloģiskais vecums, miljoni gadu	Epohas	Ievērojamākie notikumi
Kainozojs KZ	Kainozojs Q		1,8	Q	Cilvēka parādīšanās
	Neogēns N 20	pliocēns	5±1	N ₂	Primātu uzplaukums
		miocēns	22,5±1	N ₁	
	Paleogēns P	oligocēns	37,5±1	P ₃	Zirgu uzplaukums
		eocēns	53,5±3	P ₂	Parādās pirmie primāti un zirgi
	43	paleocēns	65±3	P ₁	Zīdītāju maksimums
Mezozojs MZ	Krits K 70	135±5	K ₂ K ₁	Attīstās dažādi segsēkli Izplatās arī čūskveida zauri. Parādās zīdītāji. Jūrās veidojas krīts	
	Jura J 55	190±5	J ₃ J ₂ J ₁	Zauru uzplaukums Parādās pirmie segsēkli	
	Triass T 40	230±10	T ₃ T ₂ T ₁	Pirmie zauri, jūras galv- kāji	

Eras	Periodi	Robežu ģeoloģiskais vecums, miljoni gadu	Epohas	Ievērojamākie notikumi
Paleozojs PZ	Perms P 55	285 ± 15	P ₂ P ₁	Izplatās pārejas formas no abiniekiem uz rāpuļiem, jūras koraļļi, pleckāji. Izplatās kailsēkļu meži
	Karbons C 65	350 ± 10	C ₃ C ₂ C ₁	Abinieku uzplaukums Sporaugu meži. Parādās posmkāji
	Devons D 50	400 ± 10	D ₃ D ₂ D ₁	Bruņu zivju uzplaukums
	Silūrs S 35	435 ± 15	S ₂ S ₁	Rifu veidojošo zarndobumaiņu uzplaukums
	Ordoviks O 45	490 ± 15	O ₃ O ₂ O ₁	Brahiopodu un galvkāju molusku uzplaukums. Parādās pirmie sauszemes augi
	Kembrijs Є 80	570 ± 20	Є ₃ Є ₂ Є ₁	Trilobītu uzplaukums

jums (grupa, sistēma, nodaļa, stāvs) pamatots uz visas Zemes garozas ģeoloģijas vēstures periodizāciju, shēmā uzrādīti visi izplatītie iezī. *Reģionālās stratigrāfiskās shēmas* (virshorizonts, horizonts, apakšhorizonts, zona) apvieno vienāda vecuma vietējos rajonus neatkarīgi no to iedalījuma, litoloģiskā sastāva, uzbūves, un tās parāda atsevišķās teritorijas ģeoloģiskos attīstības posmus. Vietējās stratigrāfiskās shēmas (sērija, svīta, apakšsvīta, slānkopa, slāņi) parāda atsevišķu strukturāli faciālo rajonu ģeoloģisko uzbūvi pēc to litoloģiskā sastāva un paleontoloģiskā materiāla. PSRS stratigrāfiskā starpresoru komiteja 1978. gadā pieņēma un apstiprināja reģionālās un vietējās shēmas, pēc kurām ģeoloģiskās sistēmas sadalītas svītās, apakšsvītās, slānkopās un slāņos.

Lielas organismiskās pasaules atšķirības novērojamas ērās, mazākas — periodos un vēl mazākas — epohās un laikmetos. Īpaši apskata organismu grupas, kurām svarīga nozīme Zemes ģeoloģiskās vēstures iedalījumā. Piemēram, paleozoja ēras kembrija, ordovika un silūra perioda raksturīgākie organismi ir vēžveidīgie trilobīti. Lielos daudzumos tālaika nogulumu iezos sastopamas arī bezmugurkaulnieku fosilijas, pleckāju moluski (brahiopodi), sūkļi u. c., no kuriem

izdala raksturīgas vadformas. Vēlākos paleozoja ēras periodos — devonā, karbonā un permā — strauji attīstās galvkāju moluski goniatīti, kurus perma periodā nomaina moluski ceratīti.

Mezozoja ēras dzīvnieku un augu pasaule stipri atšķiras no paleozoja pasaules. Parādās jaunas galvkāju grupas — belemnīti un amonīti —, kas ēras beigās izmirst. Raksturīga ir straujā reptiļu attīstība uz sauszemes, jūrās un gaisā. Mezozoja ēras beigās tie strauji izzūd un to vietu kainozoja ērā ieņem zīdītāji un putni. Paleogēnā parādās cilvēkveidīgie pērtiķi, no kuriem kvartārajā periodā attīstās cilvēks. Tātad organiskā pasaule veidojusies sarežģītā un ilgā evolūcijas gaitā no vienkāršas organismiem līdz vissarežģītākajam organismam — cilvēkam.

ZEMES GAROZAS GALVENIE VEIDOŠANĀS ETAPI

Zemes ģeohronoloģiskā skala ir sastādīta daudzu gadu pētījumu rezultātā, tomēr joprojām ir daudz neskaidrību un strīdu par stratigrāfiskajām robežām. Tās tiek apspriestas stratigrāfiskos simpozijos, kur notikušās Zemes garozas izmaiņas tikušas sakārtotas hronoloģiskā secībā. Pielietojot radiometriskās un citas modernās pētījumu metodes, bija iespējams precīzāk sadalīt Zemes vēsturi laika posmos un noteikt katras ģeoloģiskās epohas vecumu. Nosakot dažādo Zemes garozas iežu veidošanās vecumu, radās iespēja izsekot gan dažāda vecuma iežus pa metalogēnām epohām, gan nogulumiežu izplatību jūrās, kam bija praktiska nozīme derīgo izrakteņu atradņu atklāšanā. Ir zināms, ka pirmās dzīvības zīmes uz Zemes parādījušās pirms 3,5 miljardiem gadu (baktērijas un aļģes), bet Zemes ģeoloģisko vecumu vērtē ap 4,5—5 miljardiem gadu.

Ir noteikts, ka epohas ar intensīvajām Zemes garozas kustībām, kuras pavadīja intrūzijas un vulkāniskie procesi, bija īslaicīgas, bet tās atdalīja ilgākas un samērā mierīgas attīstības epohas ar vājākiem magmatiski intruzīvajiem procesiem. Intensīvākās magmatisma epohas izpaužas ar stipru tektonisko aktivitāti un spēcīgām horizontālām un vertikālām Zemes garozas kustībām. Pēc pētījumu datiem (galvenokārt pēc magmas intrūzijām), Zemes vēsturē ir noteikti un izdalīti tektoniski magmatiskie cikli — epohas. Par pirmajām epohām ir maz datu un pieņem, ka, notiekot mantijas degazācijai un stiprai vulkāniskai darbībai, sākusi veidoties hidrosfēra. Sajos izvirdumos veidojās lieli bazaltu izlijumi, kas pārklāja lielas platības, tāpat kā uz Mēness izveidotās bazaltu «jūras», kuras saglabājušās līdz mūsu dienām. Tā veidojās pirmatnējā Zemes garoza, kas saturēja arī granītus un gneissus. Pieņem, ka pirms 3,5 miljardiem gadu, kad beidzās katarhejs, bija ļoti intensīva vulkāniskā darbība ar bāziskās un ultrabāziskās lavas izlijumiem. Izplūda arī gāzes, un veidojās pirmatnējā atmosfēra (ūdens tvaiki, CO₂, CO, CH₄, N, NH₃, H₂S, HCl, HF un inertās gāzes). Šajā pirmajā tektoniski magmatiskajā epohā — *Belozeras epohā* (14. tab.), sākoties arhajam, un nākamajā *Kolas (Transvālas) epohā* pirms 3 miljardiem gadu norisa granitizācijas procesi, kā arī veidojās pirmie nogulumiežu baseini.

Sajās epohās veidojās stipri metamorfizēti smilšaini un mālaini slānekļi un pārveidoti karbonātu ieži. Par hidrosfēras izveidošanos liecina pirmie nogulumieži, kas var veidoties tikai jūrās. *Kenoranas (Laurentijas) epohā* vēlā arhaja ēras beigās formējās nākamās stabilākās Zemes struktūras elementi — kontinentālu platformu kodoli, kuri pieauga un nostabilizējās. Kenoranas un nākamajā *Angolas, Jaunkarēlijas, Baltijas (Eburnejas), Bularenas (Laksfordas) un Karēlijas epohās* veidojās senās kontinentālās platformas kā Austrumeiropas, Sibīrijas, Ķīnas, Indostānas, Tarimas, Āfrikas—arābu, Ziemeļamerikas, Dienvidamerikas, Austrumaustālījas. Šajā laikā pirms 2,7 līdz 1,67 miljardiem gadu izveidojās Zemes garozas granitugneisu slānis un izgulsnējās karbonātu nogulumieži. Izplūda granītu intrūzija vairāku tūkstošu kvadrātkilometru lielās platībās, un veidojās arī vecākie nogulumieži uz Baltijas, Podolijas, Aldanas, Kanādas, Gvinejas, Brazīlijas, Arābu vairogiem. Pieņem, ka proterozoja beigās pastāvēja milzīgs kontinents Lielā zeme (*Megageja*), ko ielēdza lielais Pasaules okeāns. Sākot ar Karēlijas epohu (pirms 1,67 milj. g.), senās platformas un it sevišķi vairogē kļuva par stabilām Zemes garozas struktūrvienībām. Ar laiku platformas perifērijās izveidojās nelieli lūzumi, kuri vietām sadalīja Zemes garozu. Dziļos lūzumos veidojās *rīfti* — zonas ar vulkāniskiem procesiem un bieziem nogulumiežiem, kuras daži zinātnieki nosauca par *protoģeosinklinālēm*. Šīs stipri kustīgās dziļās izstieptās joslas jeb *aulakogēni* sadala platformas. Piemēram, tāds bija Katangas aulakogens Āfrikas platformā, kas ir vairāk nekā 500 km garš un 10 km plats vai Dņeparas—Doneckas aulakogēns Austrumeiropas platformā. Nākamajos tektoniski magmatiskos ciklos platformas turpināja izveidoties, pateicoties šīm kustīgajām joslām, veicinot dažāda virziena bloku pārvietošanos ar atšķirīgu ātrumu.

Ģeoloģiskajā vēsturē pirms 1 miljarda gadu sākās pakāpeniska magmatisko procesu samazināšanās.

Gotas (Kibaras) epoha raksturīga ar to, ka platformas lielākajā daļā norisa iežu granitizācija un metamorfisms. Kustīgajās iežu joslās vidējā un vēlajā rīfējā turpinājās granitizācijas procesi un paplašinājās platformas.

Katangas epohā pirms 0,65 miljardiem gadu, kā arī *Salairas (vēlā Baikāla) epohā* tektoniski magmatiskie procesi bija dažādi un dažviet intensīvi veidojās kalni un pārvietojās lielās Zemes garozas plātnes. Rezultātā Salairas epohā platformas sabīdījās un izveidojās lielais Gondvanas superkontinents, kurš ietvēra Āfrikas, Austrālijas, Dienvidamerikas, Indostānas un Antarktīdas platformas vienā kontinentā, bet ziemeļu puslodē pastāvēja Austrumeiropas, Ziemeļamerikas, Sibīrijas un Ķīnas platformas.

Kaledonijas epohai (pirms 0,41 miljarda gadu) raksturīgs pastiprināts tektonisms un magmatisms, kas radīja ziemeļu puslodē jaunu superkontinentu Laurāziju, kurā apvienojās Ziemeļamerikas, Austrumeiropas, Sibīrijas un Ķīnas platformas, ko no Gondvanas atdalīja okeāns «Tetis» (senā lielā Vidusjūra). Atšķirībā no agrākiem etapiem fanerozojā tektoniski magmatiskās epohas sadala vēl fāzēs. Tas ir

iespējams sakarā ar iežu saglabāšanos un iespēju tos sīki izpētīt. Fāzes ir vēl isākas par epohām. Tām raksturīgas lielas tektoniskās kustības, kuras noris kā ģeokrātiskas (epeiroģenētiskas) kustības ar platformu sadalīšanos, virs jūrām paceltu kontinentu izveidošanos un daudzām jūras transgresijām — uzplūdiem un regresijām. Kaledonijas epohas tektoniski magmatiskos procesos veidojās kalnu-kroku grēdas: Ziemeļamerikā — Apalači, Centrālā Āzijā — Altajs, Sajāni, Mongolijas kalni Austrumausturālijā — Tasmānija, kā arī Antarktīdas kalni.

Hercīnas epohas sākumā savienojās Gondvana ar Laurāziju un, tāpat kā pirms 1 miljarda gadu, superkontinentu apskaloja viens okeāns. Intensīvos kalnu veidošanās procesos izveidojās lielās kalnu grēdas, ko sauc par hercinīdām. Tās izplatītas senajās platformu perifēriju joslās. Pie tām Āzijā pieder Tibetas, Tjanšana, Altaja, Urāla, Hindukuša, Karakoruma, Eiropā — Ziemeļeiropas, Ziemeļamerikā — Apalaču, Kordiljeru, Ziemeļrietumāfrikas un Austrālijas kalnu grēdas. Šīs epohas tektonisko procesu rezultātā veidojās vesela rinda epihercīno plātņu un jaunas platformas — Rietumeiropas, Skitu, Rietumsibīrijas un citas.

Kimerijas epohā izplūda dažādu sastāvu intrūzijas dažādās joslās un veidojās kalni: triasa, juras un krīta periodā Ziemeļu puslodē veidojās atkal Laurāzijas kontinents, bet Dienvidu puslodē sadalījās Gondvana un Tetis okeāns, izveidojot Dienvidatlantijas un Indijas okeānus. Kalnu veidošanās norisa galvenokārt Laurāzijas perifērijas joslās, kur veidojās Krīmas un Verhojanskas kalni.

14. tabula

Zemes vēstures tektoniski-magmatiskās epohas

Epohas numurs	Tektoniski-magmatiskās epohas	Parādīšanās, norises laiks (miljardos gadu)
20	Alpu	0,05
19	Kimerijas	0,09
18	Hercīnas	0,26
17	Kaledonijas	0,41
16	Salairas (vēlā Baikāla)	0,52
15	Katangas (Jaunbaikālas)	0,65
14	Delijas	0,86
13	 ?	0,93
12	Grenvilas	1,09
11	 ?	1,21
10	Gotas (Kībaras)	1,36
9	 ?	1,49
8	Karēlijas (Hudzona)	1,67
7	Buearenas (Laksfordas)	1,83
6	Baltijas (Eburnejas)	1,98
5	Jaunkarēlijas	2,23
4	Angolas	2,44
3	Kenoranas (Laurentijas)	2,70
2	Kolas (Transvālas)	3,05
1	Belozeras	3,50

Alpu epochā, kas sākās krīta perioda beigās, izplūda ne tikai skābās intrūzijas, bet arī neitrālās un bāziskās, un kustīgajās joslās izveidojās tagadējie okeāni un kontinenti, tālāk attīstījās tādas lielas kalnu grēdas kā Alpi, Himalaji, Andi un Kordiljeri.

DINAMISKĀ ĢEOLOĢIJA

Planēta Zeme atrodas dinamiskā kustībā, tās uzbūve un reljefs nepārtraukti mainās un pārveidojas visdažādāko faktoru ietekmē. Ģeoloģiskos procesus, kas rada milzīgas izmaiņas un pārveido Zemi, pēta *dinamiskā ģeoloģija*.

Ģeoloģisko procesu galvenie virzītājspēki ir Zemes iekšējā enerģija un Saules enerģija. Šo procesu raksturs un rezultāti ir atšķirīgi. Visus ģeoloģiskos procesus pēc galvenajiem enerģijas avotiem iedala divās lielās grupās:

- endogēnie jeb iekšējie procesi — izraisa Zemes iekšējā enerģija un
- eksogēnie jeb ārējie procesi — galvenie enerģijas avoti ir Saules enerģija un smaguma spēks.

ENDOĢĒNIE ĢEOLOĢISKIE PROCESI

Endogēnajos ģeoloģiskajos procesos ieži tiek pārveidoti, daļa pārvietojas uz citiem rajoniem, kā arī veidojas jauni ieži. Tajos ir radušās un turpina rasties pēc lieluma un formas visdažādākās reljefa formas un to kompleksi, kurus tālāk pārveido ārējie eksogēnie spēki. Tāpēc pašreizējais reljefs ir izveidojies iekšējo un ārējo spēku mijiedarbības rezultātā. Endogēnie procesi norisinās galvenokārt zemeslodes iekšienē. Procesus, kas veido un pārveido galvenos Zemes garozas struktūras elementus, — platformas un ģeosinklināles — sauc par tektoniskiem procesiem. Šajos procesos izšķir lēnās *epeirogēnās* un spēcīgās *orogēnās kustības*. Endogēnos ģeoloģiskos procesos ietilpst arī magmatisms, metamorfisms, zemestrīces un vulkānisms. Šie procesi aptver lielas Zemes virsas teritorijas un noris visā zemeslodē. Tie veidojas gravitācijas, magnētisko, rotācijas, ķīmisko faktoru ietekmē. Vulkānisms un zemestrīces rodas sekundāri kā iekšējo procesu sekas, bet cilvēkiem tieši ar tiem visvairāk jārēķinās.

Svarīga ir ģeoloģisko procesu pētījumu praktiskā nozīme, jo derīgie izrakteņi koncentrējās atsevišķos rajonos, kuri veidojušies noteiktu ģeoloģisko procesu dažādu ciklu rezultātā. Katrā endogēnā ģeoloģiskā procesā ir arī sava ģeogrāfiskā likumsakarība, un plātnes tektonika dod iespēju noskaidrot derīgo izrakteņu formēšanos un noteikt to izplatības areālus. Tektoniskos procesos ieži no jūras vai citu baseinu dziļumiem tiek pacelti augstu Zemes virspusē vai nonāk vairākus kilometrus dziļumā. Ja tajos ir derīgie izrakteņi, šos iežus var sākt izmantot. Ģeoloģiskie procesi bieži ir citu procesu sekas vai mijiedarbība. Tāpēc, pētot kāda endogēna procesa (zemestrīču, vulkānisma) izraisītās sekas, ir nepieciešams noskaidrot un mēģināt noteikt šo procesu būtību un attīstības iespējas nākotnē.

Iežu struktūra un deformācija

Zemes garoza atrodas pastāvīgā, parasti lēnā kustībā, bet dažkārt kustības var būt straujas. Sakarā ar Zemes garozas plātņu kustībām, kā arī smaguma spēka iespaidā rodas nepartraukts iežu spriegums, kas dažviet izraisa iežu deformāciju.

○ *Mehāniskais spriegums* ir spēks, kas darbojas uz laukuma vienību.

○ *Deformācija* ir iežu slāņu formas un izmēru maiņa ārējo spēku ietekmē. Deformācijas lielumu izsaka ar materiāla formas un izmēru maiņām, kas radušās stiepes un spiedes rezultātā. Spriegumu kompensē iežu cietība un izturība.

○ Viegla *cietību* nosaka sākuma pretestība iežu deformācijai.

○ Iežu spēju pretoties sagraušanai nosaka *izturības robeža*. Materiāla *izturību pret spiedi* nosaka ar spēku, kas, darbojoties uz ķermeņa laukuma vienību, to sagrauj. *Izturību pret stiepi* nosaka ar spēku, kas ir nepieciešams, lai ķermeni pārrautu. Tā izplatītākā sīkkrīstāliskā granīta ieža izturība pret spiedi ir 2500—3500 kgf/cm², to parasti mēra paskālos (Pa), un tas ir 250—350 MPa. Granīta pretestība pret stiepi, kuras rezultātā tiktu sagrauta struktūra, ir neliela — tikai 180—200 kgf/cm² jeb 18—20 MPa.

Šķīdri ķermeņi no cietajiem atšķiras ar to, ka tajos nav pretestības pret jebkuru spiedienu vai spriegumu. Viskozai magmai nav izturības, un katrs ciets ķermenis tajā iegrimst, līdzīgi kā akmens iegrimst asfalta masā. Cieti ķermeņi nepadodas spiedienam, kamēr nav pārsniegta izturības robeža. To pārsniedzot, rodas plaisas, slide vai arī sākas deformācija. Iežu sadalīšanās vai slidēšana parādās pie noteikta sprieguma, kas atkarīgs no temperatūras, spiediena un citiem faktoriem. Visi cietās fāzes ķermeņi augstā temperatūrā ir mazāk izturīgi nekā zemā. Augstā temperatūrā Zemes dziļēs jau 5—10 km dziļumā pie diferencēta spiediena ieži sāk deformēties un noris plastiska tecēšana, līdzīgi kā tērauds velmējas plāksnēs. Bez tam iežu plastiskums pieaug, ja spiediens darbojas no visām pusēm. Spiediena un temperatūras ietekme uz Zemes garozas dziļākajiem iežiem ir atkarīga no to sastāva. Bez tam jāņem vērā, ka jebkura materiāla deformācija var būt elastīga, plastiska vai trausla. Ķermeņos elastības īpašības raksturo *elastības modulis*. Elastībai ir liela nozīme seismisko viļņu pārraidīšanai zemeslodes dziļumā. Pat tērauda bumba nedaudz elastīgi deformējas, un, ja spiediens nav pārāk liels, to noņemot, tērauds ieņem savu iepriekšējo formu. Turpretī, ja spiediens ir stiprs un strauji pieaugošs, tērauda bumba ātri sasniedz elastības robežu un tiek sagrauta — trausli samalcinās. Tā pati tērauda bumba (līdzīgi iežiem zemeslodes dziļumā) pastāvīga liela spiediena ietekmē kļūst plastiska. Sakari starp atomiem tiek izjaukti, tie sajaucas, un tā rezultātā viela kļūst plastiska. Kaut arī tecēšana ir ļoti lēna, deformācija vairs nav elastīga, bet kļūst plastiska. Iežiem piemīt gan elastīgas, gan arī plastiskas īpašības, un tajos novērojama sagrūšana, sadalīšanās un tecēšana. Zemes garozas virspusē ieži ir trausli, bet dziļumā pieaugoša spiediena, augstas temperatūras un citu faktoru ietekmē tie kļūst plastiski.

Tektoniskās kustības

Visā ģeoloģijas vēsturē apstiprinājies, ka Zemes garoza atrodas nepārtrauktā kustībā — ceļas, grimst vai izliecas un ieliecas. Šādas kustības sauc par *tektoniskām*. Tās var būt vērstas jebkurā virzienā, uz augšu vai leju, var būt savstarpēji paralēlas vai leņķī cita pret citu. Tektonisko kustību rezultātā veidojas Zemes virsas reljefa galvenās iezīmes — kalni un līdzenumi, jūras un sauszeme. Tektoniskie procesi ietekmējuši arī derīgo izrakteņu raksturu, atradņu veidošanos. Tektoniskās kustības, kas Zemes garozā noris nepārtraukti, parasti ir lēnas — 1—5 mm gadā, taču kalnu apgabalos tās var sasniegt 10—15 mm gadā. Tomēr ne visas tektoniskās kustības noris lēni. Zemestrīcēs slāņi pēkšņi var pārbīdīties pat līdz 7 m attālumā vai arī tikt pacelti 14 m augstumā (Alaskā pie Jakutijas līča). Par agrāk notikušām Zemes garozas tektoniskām kustībām spriež pēc iežu slāņu sagulumu izmaiņām, deformācijas īpatnībām un citām pazīmēm.

Izdala četrus galvenos tektonisko kustību tipus:

- *svārstību* jeb *epeirogēnās kustības*, kas izpaužas kā kontinentu daļu lēna, viļņveidīga celšanās un grimšana;
- *krokošanās* jeb *orogēnās kustības*, kas iežu slāņus saliec krokās, tādējādi radot ne tikai atsevišķus kalnus, bet arī milzīgas kalnu grēdas;

- *atdalīšanās* jeb *disjunktīvās kustības*, kuru ietekmē iežu slāņos rodas plaisas vai arī tie sadalās atsevišķos pa lūzumu virsmām pārbīdītos blokos;

- *talasogēnās kustības*, kuras veido okeāniskās garozas struktūru.

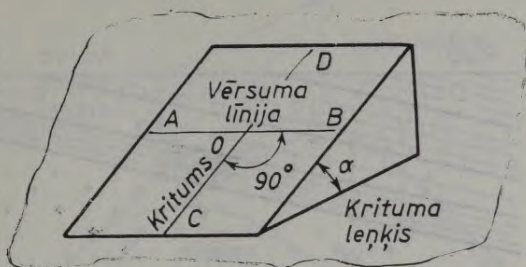
Tektoniskās kustības nepieciešams paredzēt, projektējot ilggadējai darbībai paredzētās celtnes (ostas, hidroelektrostacijas, aizsprostus, pilsētu kanalizācijas tīklu), kā arī plānojot meliorācijas sistēmu.

Tā kā okeāniskās Zemes garozas struktūras pētījumu ir nedaudz un talasogēno kustību raksturs maz izpētīts, sīkāk aplūkosim svārstību, krokošanās un atdalīšanās kustības.

● Epeirogēnās jeb svārstību kustības

Epeirogēnās kustības ir lēnas un mierīgas Zemes garozas kustības, kurās vienu laiku dominē teritorijas celšanās kustības, bet pēc tam dominējošas kļūst pretējā virziena kustības. Tās notiek lēni, nepārsniedzot 5 mm gadā. Svārstību kustības konstatē precīzos mērīšanas mērījumos. Šobrīd izmanto arī mākslīgo Zemes pavadoņu datus. Svārstību kustības izraisa nepārtrauktas jūras un sauszemes virsmas maiņas. Jūras uzplūšanu uz cietzemes sauc par *transgresiju* un jūras atkāpšanos no cietzemes — par *regresiju*. Zemes pacelšanās efektu relatīvi var noteikt pēc jūras krastu abrāzijas terašu atrašanās tālu cietzemē, kā arī ar tām saistīto krastu vaļņu, grotu, stabveida klinšu esamību. Uz šīm terasēm parasti sastopami oļi, gliemežu čaulas. Senie viena vecuma jūras krasti var atrasties vienā vietā augstāk, bet netālu zemāk, kas norāda krastu pacelšanās norises nevienādumu. Labs piemērs, kas raksturo jūras krastu terašu pacelšanos virs jūras līmeņa, Latvijā ir Baltijas ledus ezera krasta

līnija, kura atrodas vairākus desmitus metru virs jūras līmeņa; Kurzemes ziemeļdaļa pat sasniedz 50 m virs jūras līmeņa. Spilgts epeirogēno kustību piemērs ir senā Jupitera—Serapīda tempļa grimšana un celšanās Neapoles līča ūdeņos. Šī celtnē uzcelta 105 gadus pirms mūsu ēras netālu no Neapoles jūras krastā. Tempļa ko-

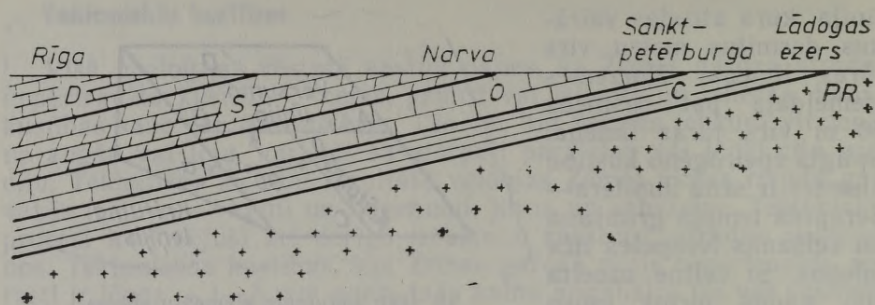


19. Iežu sagulumu elementu shēma.

lonnas, kas ir 6 m augstas, Romas impērijas laikā bija nogrimušas zem jūras ūdens, bet 16. gs. atkal pacēlās virs tā. 19. gs. sākumā atsākās celtnes grimšana, kas turpinās arī pašreiz par apmēram 20 mm gadā. Par Latvijas epeirogēnām jauntektonikas kustībām plašus pētījumus veicis Nikolajevs. Viņš noskaidrojis, ka Latvijā ceļas ne tikai piejūras rajoni, bet arī Vidzemes centrālā augstiene, par ko liecina dziļi iežos iegrāzušās upes un izveidojušās terases, kā arī milzīgās upju deltas. Bez vertikālām epeirogēnām kustībām var novērot Zemes garozas plātnes kustības, kas dažreiz izraisa horizontālas Zemes garozas kustības. Piemēram, Minhene ar plašu apkārtnes apgabalu horizontāli virzās uz rietumiem. Kustības ātrums ir 18 metri 100 gados. Pie epeirogēnām kustībām slāņu sagulums parasti netiek traucēts, bet dažreiz rodas slāņu deformācijas (dislokācijas).

Slāņu deformācija (dislokācija) apzīmē Zemes garozas slāņu traucējumus un pārbīdīšanos telpā tektonisko vai citu procesu rezultātā. Deformācijas iedala *kroku dislokācijās* un *pārrāvuma dislokācijās*. Kroku dislokācijas rodas no noteikta virziena jeb plikatīvajām kustībām, kad slāņi izliecas vai saliecas krokās. To rezultātā izmainās slāņu saguluma sākotnējā forma, bet saglabājas to viengabalainība.

Nogulumieži, kas pārklāj milzīgas platības, sākumā parasti ir nogulsņējušies horizontāli. Ja pamats, uz kura tie nogulsņējas, ir nelīdzens, slāņi sāk nedaudz izliekties, horizontālās iežu struktūras sāk deformēties. Kustību rezultātā radušos izliekto ģeoloģisko struktūru raksturo iežu saguluma elementi — *krituma virziens* un *vērsuma virziens* (19. att. a, b). Slāņa vērsumu raksturo horizontālā vienāda augstuma līniju plakne, kura perpendikulāra krituma virzienam. Leņķi starp vērsuma līniju un meridiānu sauc par *vērsuma azimutu*. Slāņa kritums sastāv no 2 elementiem: krituma virziena un krituma leņķa. Slāņa krituma virzienu (*c—d*) orientē perpendikulāri slāņu vērsumam. Krituma leņķis (α) ir leņķis starp horizontālo plakni un iežu virsmu perpendikulāri vērsumam. Slāņa vērsuma un krituma noteikšanai lieto kalnu kompasu. Uz nelīdzena pamata veidojas neliels slīpums vai viļņains sagulums uz vienu pusi. Iežu slāņa noliekumu vienā virzienā sauc par *monoklināli*. Monoklināles kritums līdzenuma rajonos parasti ir mazs, un to raksturo pakāpeniska dažāda vecuma iežu slāņa nomaīņa Zemes virsū, kā tas ir Baltijas

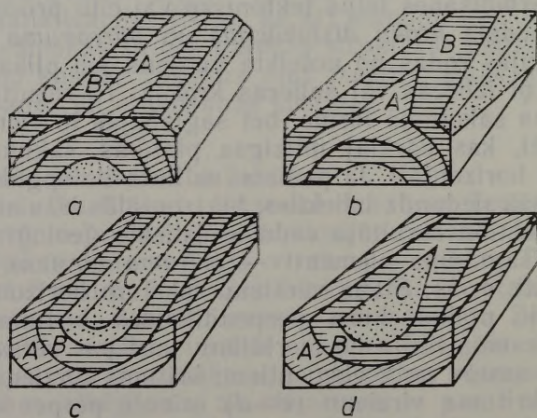


20. Baltijas monoklināle. Monoklināles iežu slāņu nomaiņa Zemes virsū (pēc A. Indāna).

monoklinālē no ziemeļiem uz dienvidiem (20. att.). Ja monoklināles slāņu nolieces slīpums atsevišķās vietās mainās, bet krituma virziens paliek tāds pats, veidojas īpatnējas kāpņveida struktūras, ko sauc par *īleksūrām*.

● Orogēnās jeb krokošanās kustības

Sarežģīto Zemes garozas kustību kompleksu, kura rezultātā veidojas atsevišķi kalni vai milzīgas kalnu grēdas, ko pavada magmas izplūdumi, magmatiskās intrūzijas, vulkānisms un zemestrīces, sauc par *orogēniem procesiem*. Oroģēno procesu gaitā Zemes garozas slā-

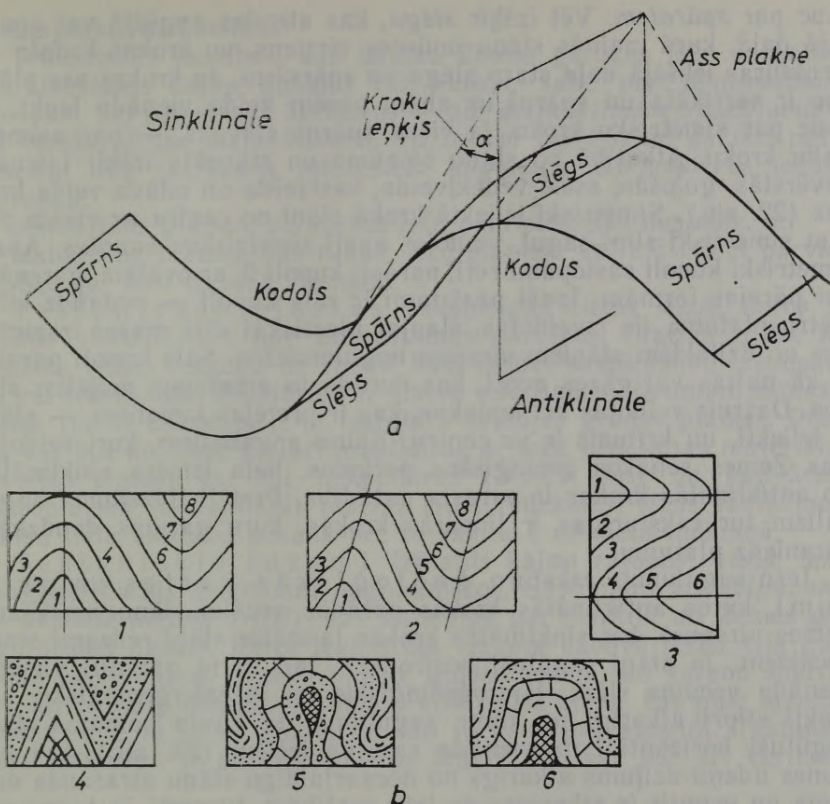


21. Sinklināles un antiklināles.

Shēmā parādīts slāņu relatīvais vecums un struktūra (vienkāršās krokas):

A — vecākais slānis, B — vidējais slānis, C — jaunākais slānis;

a — simetriskā antiklināle, b — antiklināle ar slīpu slāņu sagulumu, c — simetriska sinklināle, d — simetriska sinklināle ar slīpu slāņu sagulumu.



22. Krok uzbūves elementi (a) un veidi (b).

Kroku veidi:

1 — taisna, 2 — noliekta, 3 — guļoša, 4 — asa, 5 — vēdekļveida, 6 — kastveida.

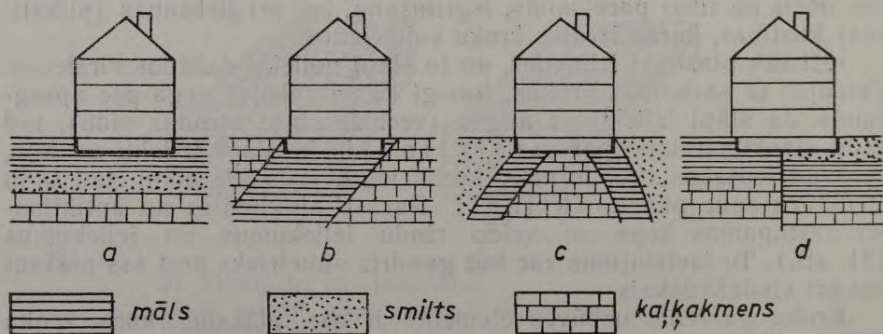
nos noris ne tikai pacelšanās, iegrīmšana, bet arī liekšanās (plikatīvās) kustības, kuras izraisa kroku veidošanos.

Ieži sāk plastiski izliekties, un to slāņi noliekti dažādos virzienos. Veidojas tā saucamās krokas, līdzīgi kā sakrokojas sega pēc apsegšanās. Ja slāņi izliekti uz augšu (vecākie slāņi atrodas vidū), tad šādu struktūru sauc par antiklināli, ja slāņi izliekti uz leju, veidojot ieplakas tipa formas, kurās iegul jaunākie slāņi, tad tādu struktūru sauc par sinklināli. Parasti sinklināles un antiklināles sastopamas kopā un veido rindu ieliekumus un izliekumus (21. att.). To izvietojums var būt gandrīz simetrisks pret ass plāksni vai arī visdažādākais.

Kroku galvenie uzbūves elementi ir ass plāksne, kura kroku šķērso vidū un daļa to uz pusēm. Līniju, kura šķērso ass plāksni ar virsējo iežu izliekto sagulumu plāksni, sauc par *krokas šarnīru*. Ja šarnīrs ir slīps, tad tādu kroku sauc par slīpu. Abas krokas puses

sauc par *spārniem*. Vēl izšķir *slēgu*, kas atrodas augšējā vai apakšējā daļā, kurā mainās slāņu nolieces virziens, un krokas kodolu — struktūras iekšējā daļa starp slēgu un spārniem. Ja krokas ass plāksne ir vertikāla un spārni uz abām pusēm veido vienādu leņķi, to sauc par simetrisku kroku, ja viens spārns stāvāks, — par asimetrisku kroku. Atkarībā no slāņu biezuma un stāvokļa izšķir taisnās, apvērstās, guļošās, asās, vēdekļveida, kastveida un citāda veida krokas (22. att.). Simetriski izliektā krokā slāņi no centra uz visām pusēm simetriski slīpi saguļ, veidojot apaļi simetriskus *kupolus*. Apaļi simetriski kupoli sastopami reti, parasti kupoli ir ar ovālām, garenām vai pārejas formām. Īpaši pazīstami ir sāls kupoli — nedaudz kilometru platumā tie izveidojas, slapjai plastiskai sāls masai izspiežoties no dziļākiem slāņiem virsējos nogulumiežos. Sāls kupoli parasti ir kā naftas vai gāzes avoti, kas norāda to atrašanās dziļākos slāņos. Dažreiz veidojas arī ieplakas, kas ir pretējas kupoliem, — slāņi ir ieliekti, un kritums ir uz centru. Kalnu apgabaliem, kuri veidojušies Zemes senākos ģeoloģiskos periodos, liela izmēra sinklinālās un antiklinālās krokas ir parasta parādība. Pretēji līdzenuma apgabaliem tur raksturīgas ir lineārās krokas, kuru garums daudzkārt pārsniedz platumu.

Iežu sagulumus raksturo ģeoloģiskās kartes un griezumā, kuros antiklinālās krokās parādās vecāko slāņu iznākšana Zemes virspusē, bet sinklinālās krokās jaunākie slāņi redzami starp vecākiem. Ja slāņi sagūlušies horizontāli, tad kartē parādīti virsējie vienāda vecuma slāņi. Hidroģeoloģiskie un inženierģeoloģiskie apstākļi stipri atkarīgi no slāņu saguluma. Ja būvju pamatos slāņi sagūlušies horizontāli uz vienāda sastāva iežiem (23. att.), tad pazemes ūdeņu dziļums atkarīgs no nēcaurlaidīgo slāņu atrašanās dziļuma un gruntis ir atkarīgas no iežu īpašībām, turpretī, ja būves pamats guļ uz slīpa saguluma, gruntis var būt ar atšķirīgām īpašībām, kas rada nevienmērīgu nosēšanos un būves deformēšanos. Iežu masīvs var atrasties arī uz slīpas mālu virsmas. Masīvam izmirstot, berze no celtnes svara samazinās un masīvā uz samitrinātās mālu virsmas var rasties noslīdeņi.



23. Būvpatatnes slāņu sagulumi:

a, b — labvēlīgi apstākļi, c — vidēji labvēlīgi apstākļi, d — nelabvēlīgi apstākļi.

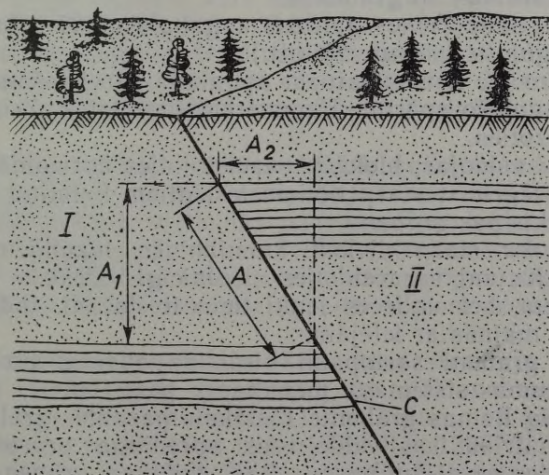
● Disjunktīvās kustības

Tektoniskās kustības, kas izraisa Zemes garozas iežu sašķelšanos atsevišķās daļās, gabalos vai blokos, sauc par *disjunktīvām kustībām*, bet pašus iežu šķēlumus — par *disjunktīviem traucējumiem* jeb vienkārši par *disjunktīviem*. To izmēri var būt no dažiem milimetriem līdz vairākiem tūkstošiem kilometru. Disjunktīvus iedala 2 grupās:

- tektoniskās plaisas, pa kurām iežu pārvietošanās nenotiek, un
- tektoniskie lūzumi, kas rodas, iežu slāņiem vai masīviem pārvietojoties gar iežu lūzuma virsmām.

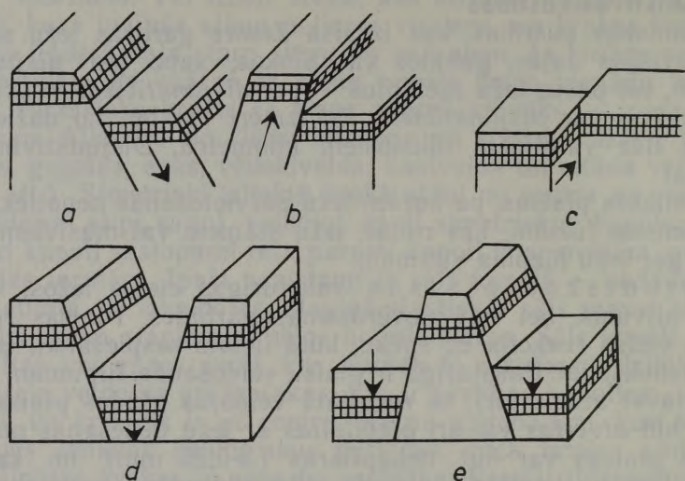
Tektoniskās plaisas raksturīgas cietos iežos, kuros ir dažāds blīvums, bet nav novērojamas pārbīdes. Plaisas rodas kā trauslās vielas reakcija uz spēku, kurš lietots saspiešanai, izstiepšanai vai izliekšanai. Raksturīga ir plaisu veidošanās, telpumam samazinoties (lavai atdzīstot), tā rezultātā veidojas gludas plaisas. Plaisas var būt *atvērtas* vai arī *aizpildītas* ar iežu dēdēšanas materiālu. Atvērtās plaisas var būt nekapilāras ($>0,25$ mm) un kapilāras. Mikroplaisas un kapilārās plaisas kļūst redzamas, iežus samitrinot. Plaisu tīkla biezumu nosaka pēc to skaita 1 m^2 lielā laukumā.

Tektoniskie lūzumi izplatīti kalnu rajonos visos iežu tipos, bet biežāk sastopami nogulumiežos. Sastopami arī *dziļlūzumi* jeb *abisālie lūzumi (rifti)*, kas iestiepjas pat mantijā un Zemes garozu sašķēļ blokos. Katra tektoniskā lūzuma uzbūvē izšķir trīs galvenās sastāvdaļas: lūzuma plaisu, guļošo spārnu un kareno spārnu (24. att.). Starp blokiem lūzuma plaisā rodas berze, kas pulē lūzuma virsmu, līdz tā kļūst gluda, un tad to sauc par spoguļi. Tektoniskiem lūzumiem ir dažāds nolieces leņķis. Tie var būt arī vertikāli



24. Tektonisko lūzumu un plaisu sastāvdaļas:

A — lūzuma amplitūda, A_1 — vertikālā amplitūda, A_2 — horizontālā amplitūda, C — lūzuma plaisa:
I — guļošais spārns, II — kareno spārns.



25. Tektonisko lūzumu struktūras veidi:

a — nomats, *b* — uzmats, *c* — pārbīdījums, *d* — grābens, *e* — horsts.

(85°—90°). Par *spārņiem* sauc iežu blokus, kas pārvietojušies gar plaisu uz augšu — karenaisspārns, vai uz leju — guļošais spārns. Pārvietošanās augstumu un attālumu raksturo *lūzuma amplitūda*. Asas un lielas bloku kustības izraisa pat zemestrīces. Atkarībā no bloku elementu novietojuma un kustībām izšķir nomatus, uzmatu, pārbīdījumus, horstus un grābenus.

Par *nomatu* sauc Zemes garozas apgabala pārvietošanos uz leju attiecībā pret guļošo spārnu (25. att.).

Par *uzmatu* sauc Zemes garozas apgabala pārvietošanos uz augšu attiecībā pret guļošo spārnu. Uzmati bieži veidojas, Zemes garozas blokiem saspiežoties.

Pārbīdījumi veidojas, blokiem pārvietojoties horizontālā virzienā.

Bloks, kas iegrims starp diviem ieslēgtiem kaimiņu bloka lūzumiem, tiek saukts par *grābenu*.

Paceltu bloku starp diviem kaimiņbloka lūzumiem sauc par *horstu*. Bloka lūzumi var veidoties vienlaicīgi vairākās vietās paralēli viens otram, bet nolieces leņķi tiem ir dažādi, tādējādi rodas pacēlumi, kuri mainās ar ielejām.

Horsti un grābeni sastopami visos apgabalos, kuros veidojas sarežģītas lūzuma sistēmas, piemēram, pazīstamais Svarcvaldes horsts ar netālo Reinas grābenu. Lielākais pasaules grābens ir riftu ieleja Austrumāfrikā, kas veidojusies spredinga procesa sākumā, plātnēm virzoties uz visām pusēm. Pats dziļākais grābens pasaulē ir Baikāla ezers (1713 m), kas ir sens plātnes sadalīšanās rezultāts. Vēl pazīstams pasaulē ir šaurais grābens — Nāves jūra, kura tāpat kā Sarkanā jūra izveidojusies, kad Arābu plātne atdalījās no Āfrikas plātnes un sāka virzīties ziemeļaustrumu virzienā.

Vulkānisms

Vulkānisms ir ģeoloģisko procesu kopums, kurā magma no mantijas augšējiem slāņiem vai robežjoslas ar garozu paceļas Zemes virspusē vai tuvu tai. Vulkāniskie procesi noris tur, kur ir aktīva magmas virzīšanās uz augšu pa iežu plaisām, kas parasti ir dziļi Zemes garozas lūzumi. Īpaši spēcīgi tie ir spredinga okeānu, kalnu un salu lokos, kur vulkānisms bieži parādās un pazūd. Vietu, kur izplūst lava Zemes virspusē, sauc par *vulkānu* un magmas izplūšanu uz Zemes virsas par *vulkānisku* jeb *efuzīvu* (*effusio*) procesu. Ja magma neizplūst virspusē, bet sastingst un izveido magmas masīvu dziļumā, tad šo procesu sauc par *intruzīvu* (latīņu *intrusus* — iegrūsts) procesu. Vulkāniskie procesi izveido vulkāniskos kalnus, lavu laukus un plato masīvus. Kaut arī vulkāniskie procesi noris sporādiski, tomēr pasaulē vienmēr kaut kur notiek vulkāniskā darbība. Vulkānisma procesos veidojas daudzas derīgo izrakteņu atradnes, ar vulkānu darbību saistītas milzīgas siltuma enerģijas rezerves, kas atrodas nelielā dziļumā.

● Vulkāniskie procesi

Vulkāniskie procesi ir ļoti dažādi un galvenokārt atkarīgi no lavas fizikāli ķīmiskajām īpašībām. Izšķir skābu, neitrālu, bāzisku un ultrabāzisku lavu. Vulkāni izsviež dažādu agregātstāvokļu materiālus — cietus, gāzveida un šķidrus.

Cietie izvirduma produkti. Skābā viskozā lava, kas bagāta ar gāzēm, ātri atdziestot, nespēj izdalīt gāzes. Magmai kristalizējoties, gāzu spiediens sasniedz kritisku lielumu, tas izraisa sprādzienu un rada šķidrās lavas fontānu, kurš izsviež arī dažāda lieluma cieta ieža gabalus. Cieto izvirduma materiālu iedala pēc sastāva un izmēriem; izšķir vulkāniskās bumbas, lapillus un vulkāniskos pelnus.

Vulkāniskās bumbas var būt no 5 cm līdz 30 m diametrā, to masa — pat vairāki desmiti tonnu, forma — dažāda (bumbierveida u. c.).

Lapilli (itāļu *lapillus* — akmentiņš) ir vulkāniskas izcelsmes sīki lavas gabaliņi līdz 5 cm diametrā, apaļas vai citas formas.

Vulkāniskie pelni ir vislielākā izvirduma produktu daļa. Simtiem, miljoniem kubikmetru pelnu var veidot vairākus metrus biezu slāni plašā apkārtnē. Vēlāk uz tiem izveidojas auglīgas augsnes, kas satur daudz kālija, mikroelementu un citu augiem nepieciešamo barības vielu.

Šķidrie izvirduma produkti. Skābā lava straumju veidā pa nogāzēm lēni virzās lejup ar ātrumu no 100 metriem līdz 5 km stundā. Bāziskās un ultrabāziskās lavas satur maz gāzu, tās viegli atsvabinās, lavas temperatūra ir no 1000° līdz 1300 °C. Tā plūst platā strauvē, un ātrums sasniedz 30 km stundā. Saplūstot ielejās izveido plašu lavas segu.

Gāzveida izvirduma produkti. Parasti tie ir ūdens tvaiki (75—90%) un citas gāzes — slāpekļis, skābeklis, ūdeņradis, sērūdeņradis, hlors, fluors, sērs, borskābe, amonjaks, metāns, argons. Tīrus gāzu

paraugus nevar iegūt, jo, izplūstot virs Zemes, tie momentāni reaģē ar atmosfēras gāzēm. Ja lava bagāta ar gāzēm un sāk atdzist, to sauc par *šļaku*. Atdziestot tā veido porainu iezi — pemzu jeb pumeku —, kura īpatnējais svars mazāks par 1,0.

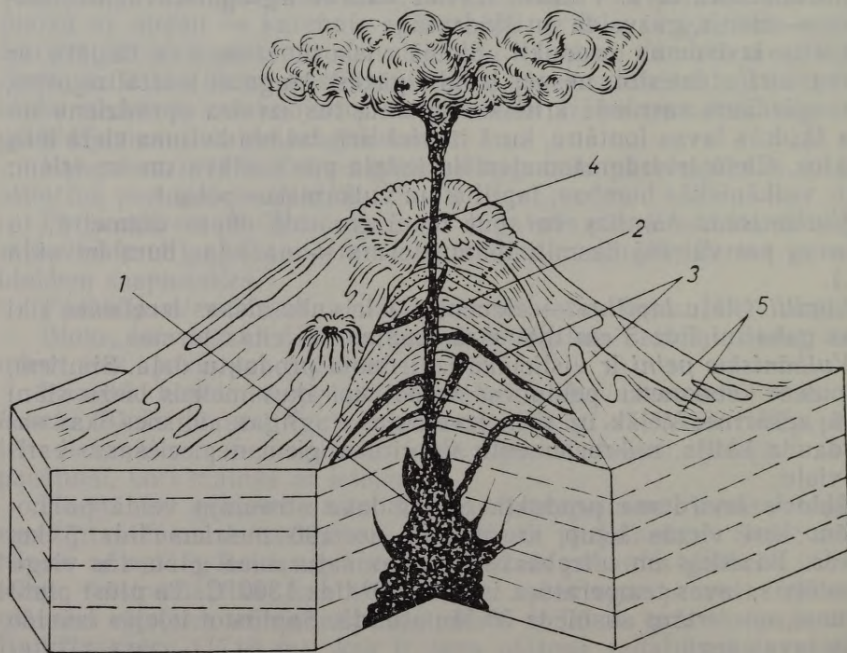
● Vulkānu klasifikācija

Izšķir centrālā tipa un plaisu tipa vulkānus.

Centrālā tipa vulkāni ir izplatītākais vulkānu veids, un to visraksturīgākā forma ir konusveida kalns ar centrālo kanālu, pa kuru magma izplūst Zemes virspusē, un krāteri — šī kanāla atveri (26. att.).

Krāteri parasti ir šķīvja veida vai cauruļveida. Caur tiem izplūst magma un sacietējot veido konusu. Krātera izmēri var būt no dažiem metriem līdz 2,5 km, krātera platums nav atkarīgs no vulkāna augstuma. Tā Kļuču Sopka ir 4750 m augsta ar krātera platumu 568 m, bet Vezuvs — tikai 1300 m augsts, bet tā krātera diametrs ir 675 m.

Vulkānu konusi ir veidoti no izvirduma produktiem — lavas pelniem, piroklastiskiem iežiem (veidojas no skābas lavas vulkānu izvirdumiem). Augstākais konuss ir Dienvidamerikā Akonkagua, tas ir 7 km augsts. Vulkānu attīstības gaitā veidojas arī citi, sekundāri elementi — parazītiskie krāteri, kalderi, bokkas u. c.



26. Vulkāna uzbūves shēma:

1 — lavas avots, 2 — centrālais kanāls, 3 — kanāla nozarojumi, 4 — krāteris, 5 — lavas notecējumi.

Parazītiskie krāteri rodas, ja lava atrod jaunu izeju vulkānu nogāzēs.

Bokkas (itāļu *bocca* — mute) ir šo vulkānu atveres nogāzēs, kur izplūst lava un citi vulkānisma produkti. Kalders (spāņu *caldera* — liels katls) ir liela ieplaka, kas radusies vulkāna virsotnes vietā. Termins cēlies no apraksta par tādu milzīgu padziļinājumu Kanāriju salās, kura platums ir vairāk par 5 km un kuru iekļauj 1 km augstas sienas. Kalderi radušies, vulkānu virsotnēm noārdoties sprādziena rezultātā vai iebrūkot konusā. Tagad šo terminu lieto vulkāniskos apgabalos, kur izveidojušās depresijas no vulkānu konusiem. Ja kalderos izveidojušies ezeri, tad tos sauc par *marres*. Kalderu dibenā var veidoties arī jauns konisks uzkalns un jauns krāteris.

Plaisu tipa vulkāni izplūst pa dziļām un garām (pat līdz 20 km) Zemes garozas plaisām, neveidojot raksturīgos konusus, bet gan plašus lavas pārklātus laukus.

Vulkānus iedala arī aktīvos un aprimušos.

Aprimušie vulkāni ir tie, kuri beiguši darboties jau aizvēsturiskā laikā, piemēram, Kazbeks, Elbruss. Iedalījums ir relatīvs, jo daži no tiem sāk darboties vai par to darbošanos stāsta teikas. Līdz mūsu ēras 79. gadam par aprimušu uzskatīja Vezuvu, kura izvirduma laikā gāja bojā Romas pilsēta Pompeja u. c. Pašreiz zināmi vairāk nekā 660 aktīvie vulkāni, no kuriem ap 13% ir zemūdens vulkāni. Ir vairāk par 4000 aprimušo vulkānu. Aprimuši vulkāni konstatēti Kolimā, Piejūras apgabalā, Baikālā un citur. Otra pazīstama vulkānu josla (ap 1/4) iet no Itālijas uz Turciju caur Vidusāziju uz Indonēziju. Trešā josla sastopama Atlantijas okeāna spreadinga joslā, kas ietver sevī Islandi, Azoru salas u. c. Daudzi aprimušie vulkāni ir okeānu gultnēs.

Aktīvie vulkāni ir tie, kuri darbojušies vēsturiski zināmā laikā. Divas trešdaļas šo vulkānu ir sastopami Klusā okeāna piekrastē un salu lokos vai kontinentu vidienē starp tektoniskajām plātnēm. Piemēram, tektoniskais Kamčatkas—Kuriļu loks, kurā ir apmēram 60 vulkāni.

Vulkānu aktīvajā darbībā izšķir trīs fāzes:

○ gāzu izplūšana; ja krāteris ir nosprostoies, notiek sprādziens un tiek izsviests vulkanoklastiskais materiāls;

○ lavas izplūšana;

○ pēc lavas izplūšanas vulkānu darbība turpinās vēl ilgi — notiek gāzu un tvaiku izdalīšanās caur krātera plaisām vai vulkāna nogāzēm, šo pēcdarbību sauc par vulkānisko parādību.

Atkarībā no lavas sastāva un izvirduma produktu veida izšķir šādus galvenos vulkānu tipus.

Havaju tipa vulkānam ir raksturīga bāziska lava, plaši krāteri, pa kuriem var ātri izplūst karsta šķidra lava, un plakani, parasti zemi konusi. Dažreiz konusi mēdz būt arī augsti, piemēram, Maunaloa aktīvajam vulkānam Havaju salās. Šīs Havaju tipa bazalta lavas biežā kārtā ir apklājušas milzīgas Zemes virsas platības. Lielākais ir Dekāna plato, kurā slāņa biezums sasniedz 3 km, tā platība ir 600 000 km², Ziemeļamerikā milzīgs ir Kolumbijas plato, Dienvid-

amerikā — Patagonijas bazalta plato, Sibīrijas centrālajā daļā starp Jeņiseju un Ļenu — Sibīrijas trapi (150 000 km²). Šāda tipa vulkāni pašreiz sastopami reti — vienīgi Islandē un Havaju salās.

Stromboli tipa vulkāniem izvirdumi notiek gandrīz nepārtraukti, tikai ar dažu minūšu starplaikiem. Lava ir bāziska un gāzēm bagāta. Tā virzās uz leju pa nogāzēm straujumu veidā. Šo vulkānu piemērs ir Liparu salu vulkāns Vidusjūrā.

Vulkāno tipa vulkāniem lava ir skābāka nekā iepriekšējam tipam, un izvirduma beigās tā noslēdz lavas kanālu. Izvirdums sākas ar zemestrīci. Gāzes kopā ar pelniem un sīku iežu materiālu tiek izsviestas lielā augstumā. Pie šī tipa vulkāniem pieder lielākā daļa aktīvo Kamčatkas vulkānu, kā arī Liparu salu vulkāni.

Etnas—Vezuva tipa vulkāni (Itālijā) ir vieni no izplatītākajiem. Lava ir skāba, bieza, tā tiek izsviesta ar sprādzieniem, kuri nepārtraukti turpinās. Šī tipa vulkāniem raksturīga stāva konusveida forma, uguns fontāni sasniedz pat 500 metru augstumu. Vulkānu nogāzēs bieži parādās parazītiskie vulkāni. Raksturīgi vulkāni ir lielākais Kamčatkas vulkāns Kļuču Sopka un arī lielākais Āfrikas vulkāns Kilimandžāro.

Pelē tipa vulkānu izvirdumiem raksturīgi smagi, ar smalku klasisko materiālu piesātināti gāzu un tvaiku mākoņi, kas ir smagi, tādēļ nepaceļas gaisā, bet ar lielu ātrumu virzās pa nogāzi uz leju. Tā dažās minūtēs 1902. gadā tika iznīcināta Sanpērsas pilsēta. Tipa nosaukums radies no Mazo Antiļu salu vulkāna Pelē.

Krakatau tipa vulkāniem lava neizdalās, bet gāzu izplūdumi notiek tik spēcīgi, ka vulkāni tiek saārdīti.

Visu tipu vulkāni pēc to aktīvās darbības izbeigšanās, kā arī atdzisusī lava tiek pakļauti dēdēšanas un erozijas procesiem. Vulkāniskie konusi tiek pakāpeniski sagrauti, un paliek tikai nelieli kalni, jūrās tos sagrauj viļņu darbība.

● Pēcvulkāniskās parādības

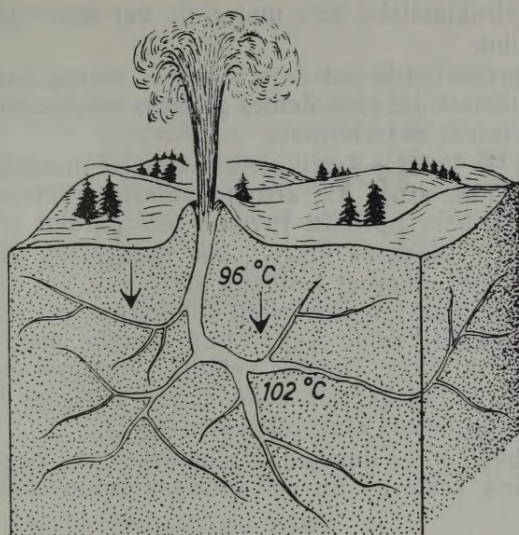
Pēc katastrofiskās aktīvās vulkāna izvirduma darbības vēl ilgi turpinās pēcvulkāniskās parādības. To izpausmes ir gāzu izdalīšanās, karstu avotu veidošanās vai karstas dubļu straumes.

Fumarolas ir karsto gāzu strūklas vai tvaika masu mierīgas izplūdes straumes, kas pa atverēm un plaisām izplūst no vulkāna krātera sienām. To temperatūra ir augstāka par 200 °C, un šīs gāzes satur galvenokārt hlora savienojumus.

Ja gāzu temperatūra ir 100—200 °C, gāzu strūklas un tvaiku masas sauc par *s o l f a t ā r ā m*. Tās pārsvarā sastāv no ūdens tvaikiem, sērūdeņraža un sēra dioksīda.

Ja gāzu temperatūra ir vēl zemāka, zem 100 °C, un tās sastāv no ūdens tvaikiem un oglekļa dioksīda, gāzes sauc par *m o f e t ā m*.

Geizeri ir fontanējoši karsta ūdens un tvaika avoti (27. att.). Izvirdums ilgst no vienas līdz dažiem desmitiem minūšu. Izplūstošā ūdens temperatūra ir 80—100 °C, bet pašā geizera kanālā tā ir augstāka un, pārvēršoties tvaikos, pat pārsniedz 100 °C. Izvirdumi sākas tikai tad, kad, ūdenim sakarstot līdz 100 °C, sasilst arī kanāla aug-



27. Geizers.

Tā kā ūdens cirkulācija dziļākās plaisās un kanālos ir ierobežota, galvenajā kanālā ūdens uzsilst un pārvēršas tvaikā ātrāk nekā augšējā daļā, tāpēc fontanē.

šējā daļa un ūdens pārvēršas par tvaikiem. Līdz ar to ūdens stabā svārs strauji samazinās, mazāks kļūst arī spiediens uz dziļāko pārkarsēto ūdens masu, un tvaika spiediens augstāk esošo ūdeni fontāna veidā izsviež virs Zemes. No ūdens atbrīvotajā kanālā ieplūst pazemes ūdeņi, bet atdzisušie ūdens tvaiki kondensējas un atgriežas atpakaļ ūdens veidā.

Geizera ūdens parasti satur kramskābes savienojumus un karbonātus, kas, ūdenim iztvaikojot, nogulsņējas ap geizeru un veido geizerītus — nogulas, kas sastāv galvenokārt no pelēka vai balta opāla.

Terminālie avoti ir silta vai karsta ūdens avoti, kas izplatīti daudzos vulkānisko izlijumu rajonos.

Dubļu straumes veidojas, vulkāniskajiem ūdeņiem un gāzēm pa iegu plaisām iznesot mālainus vai smilšainus dubļus, kas uzkrājas veido līdz 2 metrus augstus konusus. Līdzīgi veidojumi rodas, izplūstot naftas atradņu gāzēm un ūdeņiem, — tos sauc par pseido vulkāniem. Karstos ūdens tvaikus izmanto elektroenerģijas ieguvei. Šādas ģeotermālas elektrostacijas funkcionē Kamčatkā. To iegūtā elektrība ir 5 reizes lētāka, un elektrostacija nepiesārņo apkārtējo vidi. No šiem tvaikiem un ūdens var iegūt arī borskābi, smago ūdeni, varu, arsēnu, bāziskus sāļus. Ziemeļu rajonos siltos pazemes ūdeņus var izmantot dārzkopībā un kā siltuma enerģijas avotu, ierīkojot jaunus kūrortus. Tomēr jāņem vērā, ka vulkāniskie izvirdumi un

to izsviestais piroklastisko iežu materiāls var apdraudēt arī cilvēku un celtņu drošību.

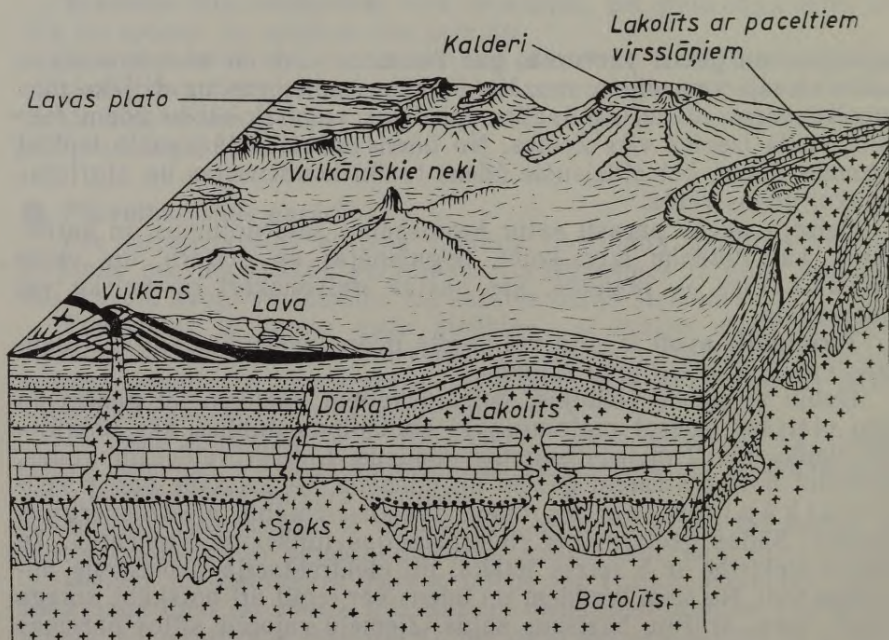
Intruzīvie procesi. Lielākā daļa magmas masas parasti neizplūst virspusē, bet atdziest dažādos Zemes garozas slāņos, dažādā dziļumā, radot dažādas intruziskas formas.

Batolīti ir lielākie sastingušie magmas masīvi, kam nav noteiktas formas (28. att.). Tie aizņem vairākus simtus kvadrātkilometru lielas platības. Batolītu tuvumā ieži parasti ir metamorfozi.

Lakolīti ir sēņveida masīvi, kas nerasniedz Zemes virspusi. Tie radušies, skābai magmai ieplūstot starp slāņiem un tos deformējot. Parasti magma sastingstot veido kukuļveida vai sēņveida ķermeņus. Atsegtie lakolīti veido kupolveida kalnus, piemēram, Ziemeļkaukāzā, Krimā un citur. Dzīslas veidojas, magmai ieplūstot Zemes garozas plaisās, kuras dažreiz denudācijas procesos ir atsegtas un izveido augstas un biezas klinšainas sienas.

Neki ir stabveida vai līnzveida vulkānisko iežu ķermeņi, kuri aizpildījuši vulkāna krāterus un pēc erozijas veido stabveida pacēlumus.

Daikas ir vertikālas vai slīpas formas vulkānisko iežu ķermeņi, ko no sāniem ierobežo paralēlas sienas. Daikas rodas, magmai iekļūstot zemes garozas plaisās.



28. Dažādu intruziju tipu un efuzīvo iežu attiecību blokdiagramma (pēc F. Janga).

Zemestrīces

Par zemestrīcēm sauc Zemes garozas ātras viļņveida seismiskas kustības, kās no Zemes dziļēm caur iežiem izplatās līdz Zemes virspusei, izraisot iežu sabrukšanu, pārbīdīšanos un citas parādības. Seismiskie viļņi izplatās uz visām pusēm, līdzīgi kā skaņu viļņi izplatās gaisā pēc sprādziena. To ātrums atkarīgs no iežu īpašībām, caur kuriem šie viļņi izplatās, bet to ilgums — no sākuma enerģijas. Daži seismiskie viļņi iet cauri visai zemeslodei, bet citi, vājākie, izbeidzas jau nelielā dziļumā. Seismisko viļņu izplatīšanos reģistrē un pēta ar seismogrāfiem speciālās seismiskās stacijās. Pirmais seismogrāfs bija izgatavots jau 2. gs. Ķīnā. Šobrīd pazīstami dažāda tipa seismogrāfi, kuru uzdevums ir fiksēt seismiskās kustības. Seismogrāfā svārsta elements ir cieši piesaistīts cietajiem iežiem un kustas kopā ar tiem. Jaunākie seismogrāfi ir lāzera tipa. Ar seismogrāfiem pasaulē gadā tiek reģistrēti miljoniem nelielu zemestrīču, jo katru minūti noris kāds satricinājums, bet stipru zemestrīču gadā ir apmēram 15—20.

Pēc satricinājuma intensitātes izšķir

- mikroseismiskās zemestrīces, kuras konstatē vienīgi ar instrumentiem;
- makroseismiskās zemestrīces, kuras sajūt arī cilvēks;
- megaseismiskās zemestrīces, kuras izraisa nogruvumus, noslīdēņus, kā arī ēku bojājumus.

Pēc izcelšanās izšķir trīs zemestrīču veidus:

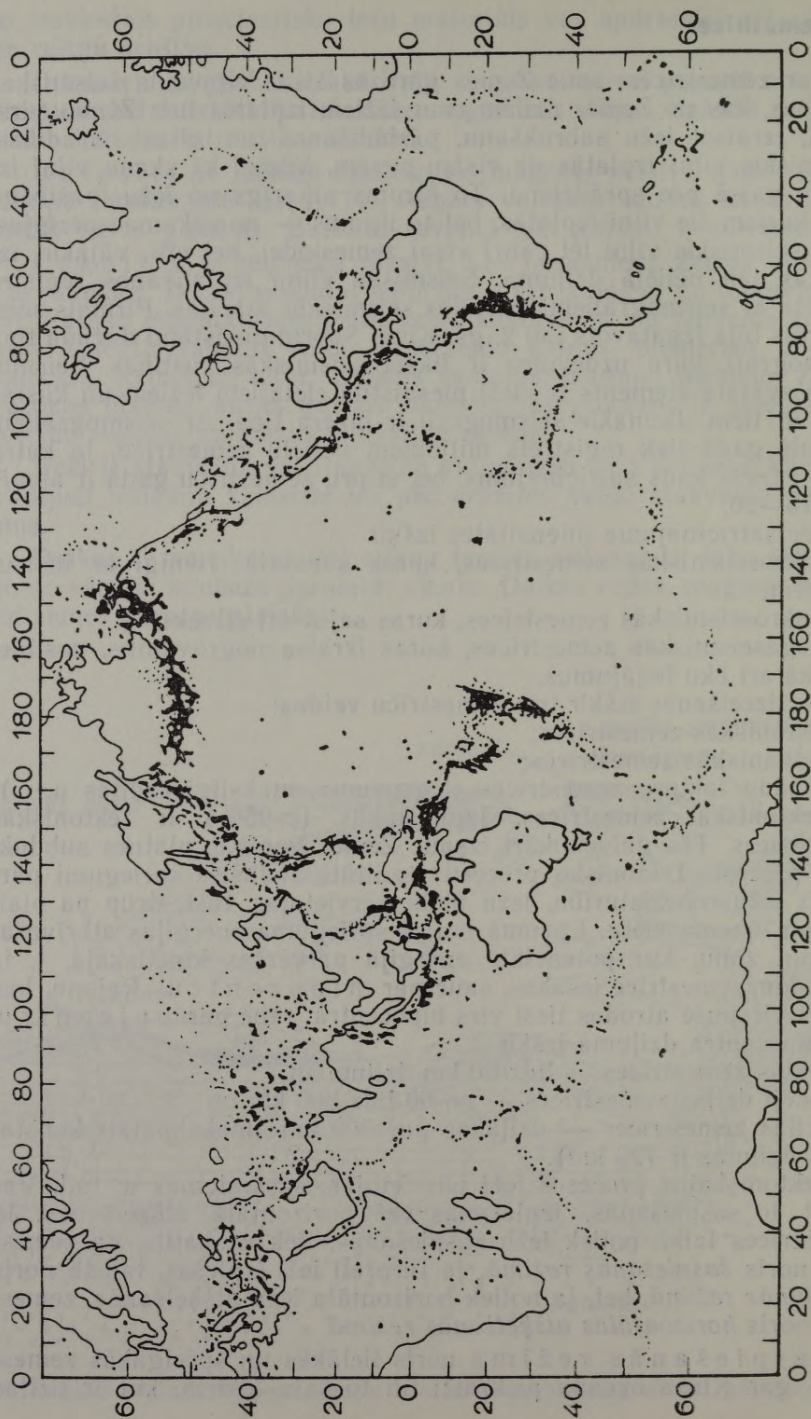
- tektoniskās zemestrīces;
- vulkāniskās zemestrīces;
- dažādu faktoru zemestrīces (iegruvuma, mākslīgi radītās u. c.).

Tektoniskās zemestrīces. Izplatītākās (>95%) ir tektoniskās zemestrīces. Tās galvenokārt izsauc Zemes garozas plātnes subdukcijas procesi. Tektonisko procesu rezultātā radušies spriegumi pārsniedz iežu robežizturību, iežu bloki pārvietojas, lūst, drūp pa plaišām un lūzuma vietu. Lūzumā notiek sprieguma enerģijas atbrīvošanās, un zonu, kur potenciālā enerģija pārvēršas kinētiskajā, t. i., vietu, kur zemestrīce iesākas, sauc par *hipocentru*. Rajonu, kas Zemes virspusē atrodas tieši virs hipocentra, sauc par *epicentru*. Pēc hipocentra dziļuma izšķir

- seklās zemestrīces — līdz 60 km dziļumam;
- vidēji dziļās zemestrīces — no 60 līdz 300 km un
- dziļās zemestrīces — dziļākas par 300 km (maksimālais konstatētais dziļums ir 720 km).

Tektoniskajos procesos ieži pārvietojas, sasmalcinās u. tml. Var notikt to saspiešanās, izplešanās vai horizontālā atšķelšanās. Ja zemestrīces laikā notiek iežu saspiešanās, tiek uzskatīts, ka zemestrīce noris *saspiešanās režīmā*, ja turpreti ieži izplešas, tad tā noris *izplešanās režīmā*, bet, ja notiek horizontāla iežu atšķelšanās, zemestrīce noris *horizontālās atšķelšanās režīmā*.

Saspiešanās režīmā noris lielākās un spēcīgākās zemestrīces gar Klusā okeāna piekrasti un to salu lokiem, kur ir dziļas



29. Zemeštriču izplatības joslas.
Zemes seismiskums periodā no 1960. līdz 1980. gadam.

iedobes. Daudzas zemestrīces noris dziļo lūzumu vietās. Šādi lūzumi slīpi iestiepjas dziļi kontinentos un okeānu salu lokos. Klusā okeāna joslā, kura stiepjas desmitiem tūkstošus kilometru (29. att.), noris 80—90% no visām zemestrīcēm. Klusā okeāna plātne un nedaudzas apakšplātnes kontinentu malās un to salu lokos lēni iegrimst subdukcijas zonā. Šāda kustība rada nepārtrauktus lūzumus ar nedziļām (līdz 60 km) zemestrīcēm, dažkārt izraisot arī dziļās zemestrīces.

Izplešanās režīmā noris apmēram 5% zemestrīču. Tās nav dziļas. Parasti šāda tipa zemestrīces notiek Atlantijas okeāna, Indijas okeāna austrumu un dienvidu daļas zemūdens kalnu joslās. Tās ir vietas, kur izplūst bazalta magma un periodiski sadala okeāna garozu, veidojot tā saucamo spreadinga procesu. Šādi procesi izsauca vulkāniskās parādības Islandē (Surtseijs, 1956. g.; Helegafeals, 1973. g.), ko pavadīja arī nelielas zemestrīces.

Horizontālās atšķelšanās režīmā svarīga ir seismisko pārrāvumu vai lūzumu transformēšana. Spreadinga procesā tie izplatās vidusokeāna kalnos, un laterāli veidojas nākošā jūras dibena josla. Seismisko lūzumu transformēšanās piemērs ir Kalifornijas Sanandrea lūzums. Ģeologiem ir zināms tūkstošiem lūzumu, bet tikai daži izraisa zemestrīces.

Vulkāniskās zemestrīces. Šīs zemestrīces saistītas ar vulkānu darbību, kad lava, laužoties caur iepriekšējo izvirdumu aizsērējušo kanālu, izraisījusi sprādzienu. Šādas zemestrīces ir spēcīgas, bet notiek nelielā platībā. Tā Krakatau izvirduma grūdieni izsauca daudzas, bet nelielas zemestrīces.

Dažādu faktoru zemestrīces. Visbiežāk novērojamas iegruvuma zemestrīces. Tās noris apgabalos, kur pazemes ūdeņi Zemes garozā izskalojuši lielus tukšumus. Iežiem iebrūkot, rodas satricinājumi, kas izsauc mikroseismiskās zemestrīces.

Zemestrīces var izsaukt arī mākslīgi. Par cēloni var būt pazemes kodolsprādzieni, kā arī ūdens iepildīšana lielās mākslīgās ūdenskrātuvēs, deltu veidošana, kad milzīgi palielinās spiediens uz iežu masīviem.

● Zemestrīču spēks, enerģija un intensitāte

Zemestrīču spēks atkarīgs galvenokārt no seismisko viļņu amplitūdas, bet intensitāti raksturo iedarbība, kādai Zemes virspusē tiek pakļauti cilvēki, ēkas un iežu virsējie slāņi. Vislielākais zemestrīču spēks ir hipocentrā un epicentrā. Jāatzīmē, ka līdz Zemes virsmai nonāk tikai daļa no atbrīvotās enerģijas, tas atkarīgs no hipocentra dziļuma, iežu sastāva un citiem faktoriem. Tāpēc zemestrīču objektīvai raksturošanai izmanto datus nevis par tās spēku Zemes virsū, bet par kopējo enerģiju, kas atbrīvojas zemestrīcē. To mēra ergos vai džoulos ($1 \text{ erg} = 10^{-7} \text{ J}$). Vienkāršoti zemestrīču enerģiju var raksturot magnitūdās M , kuras raksturo zemestrīces izraisīto svārstību amplitūdu 100 kilometru attālumā no epicentra un aprēķina pēc formulas

$$M = \lg \frac{A}{A_0},$$

kur A — raksturojamās zemestrīces maksimālā amplitūda,
 A_0 — par etalonu pieņemtā zemestrīču svārstību amplitūda.

Reāli iespējamais gadījumos magnitūdu lielums var būt no 0 (ļoti vājām zemestrīcēm) līdz 8,8 (katastrofālām).

Novērtējot zemestrīces pēc enerģētiskā principa, lieto Rihtera skalu, kurā visvājākai zemestrīcei (10^{-7} J) atbilst 1 m, bet visstiprākai — 8,5 m. Šī skala raksturo zemestrīču enerģiju hipocentrā.

Zemestrīču intensitāti nosaka ar speciālu seismometrisko aparātu, pēc iedarbības uz cilvēkiem, ēku bojājumiem, iežu deformācijām un citām pazīmēm. Pasaulē pazīstama ir Merkalli 12 ballu skala. Latvijā izmanto UNESCO rekomendēto 12 ballu skalu MSK-64 vai — celtniecības vajadzībām — standartskalu 6249-52. Tajā ietverta cilvēku reakcija, celtniecības materiālu, būvpatatņu un virsējās grunts sastāva izmaiņas. Intensitātes skaitliskam raksturojumam izmanto datus par seismometra svārsta elastīgo noviržu lielumu X_0 vai arī seismiskā paātrinājuma a lielumu, ko nosaka pēc formulas

$$a = A \frac{4\pi^2}{T^2},$$

kur a — seismiskais paātrinājums, mm/s²;

A — seismisko viļņu svārstību amplitūda, mm,

T — viļņu svārstību periods, s.

Zemes virspusē radītās zemestrīču sekas var iedalīt 2 kategorijās:

○ aiziet bojā gan cilvēki, gan arī milzīgas materiālas un kultūras vērtības (15. tab.);

○ tiek izraisītas dažādas ģeoloģiskās parādības — iežu nobrukumi, noslīdeņi, lavīnas, upju aizsprostošanās, ezeru rašanās u. c.

Zemestrīču iedarbība uz būvēm ir stipri atkarīga no celtniecības materiāla. Tāpēc būves pēc seismiskās izturības iedala trīs grupās:

A — ēkas, kas celtas no neapdedzinātiem ķieģeļiem, māla kleķa, samana, akmeņu krāvējiem un citas līdzīgas būves;

15. tabula

Pasaules lielākās zemestrīces

Gads	Vieta	Magnitūdas	Piezīme
1556	Sensī provincē Ķīnā	—	Aizgājuši bojā 830 000 cilvēku
1755	Portugālē	—	Iznīcināta $\frac{1}{3}$ Lisabonas, aizgājuši bojā >60 000 cilvēku
1897	Indijā	8,5	Sagruvuma rajons 300 km ² , sajūtamais pasaulē 2 milj. km ²
1923	Assamī provincē Tokio, Japānā	8,1	Sagrauts 254 tūkstoši māju, 140 000 cilvēku aizgājuši bojā, 1 100 000 cilvēku šoka stāvoklī
1970	Cimboto, Peru	7,8	Akmeņu lavīna aprakusi 2 pilsētas, aizgājuši bojā 17 000 cilvēku
1976	Tanšaņā, Ķīnā	8,2	Sagrautas vairākas pilsētas lielā platībā, bojā aizgājuši 650 000 cilvēku, ievainoti 700 000 cilvēku

B — parastā tipa ķieģeļu ēkas, paneļu ēkas, akmens mūra ēkas;
C — tēraudbetona dzelzsbetona būves un kvalitatīvi celtas koka ēkas.

Ēku bojājumu pakāpi atkarībā no zemestrīces stipruma labi parāda *standartskala*. Ēku bojājumu rašanos veicina arī zemas kvalitātes celtniecība, jo mājas izturībai svarīgi ir jumta savienojumi, trepju nostiprinājumi u. c. Lai mazinātu iespējamos bojājumus, celtniekiem jāievēro visi inženierģeoloģiskie faktori. Vispiemērotākās būvpamatnes ir klinšainās gruntis. Jāizvairās no vājām būvpamatnēm, stāvām nogāzēm, mitrām gruntīm. Ceļot lielas ēkas, tiltus un citus svarīgus celtniecības objektus, sevišķa vērība jāveltī to masai, ēku stabilitātei un izturībai pret iespējamām horizontālām kustībām. Vislabākās ir tās ēku konstrukcijas, kuras ir elastīgas, var kustēties kā vienots vesels.

● Seismiskā rajonēšana

Apgabalus, kur zemestrīces notiek bieži, sauc par *seismiskajiem apgabaliem*, kur nenotiek gandrīz nemaz, — par *aseismiskajiem apgabaliem*. Seismiskie apgabali veido gari izstieptas zonas gar plātnes joslām, dziļlūzumu zonās un vulkānisma apgabalos. Piemēram, seismiskie apgabali ir Karpati, Krīma, Kaukāzs, Vidusāzija, Kuriļu—Kamčatkas loks un rajoni starp Ļenu—Indigarku.

Zemestrīču intensitāti nosaka speciālisti — seismologi. Seismiskās rajonēšanas kartē tiek atzīmētas izoseismās līnijas, kuras parāda atsevišķa apgabala seismisko intensitāti. Jānorāda arī celtniecībai nepiemērotās grunts izplatība, pazemes ūdens līmeņa dziļums, slāņu sagulums un virszemes reljefs. Seismiskās rajonēšanas kartes sniedz priekšstatu par apgabala seismisko režīmu.

EKSOĢĒNIE ĢEOLOĢISKIE PROCESI

Eksogēnie jeb ārējie ģeoloģiskie procesi norisinās uz Zemes virsas Saules radiācijas, Zemes gravitācijas, kā arī organismu darbības un ķīmisko reakciju rezultātā. Tos iespaido jūras, upes, nokrišņi, pazemes ūdeņi, ezeri un purvi, vējš, ledājs un citi ģeoloģiskie faktori. Eksogēno ģeoloģisko procesu rezultātā izmainās reljefs un veidojas nogulumieži. Svarīgas eksogēno procesu izpausmes ir *denudācija* un *akumulācija*.

Denudācija ir ārdošo procesu (dēdēšanas, noskalošanas) un gravitācijas spēka izraisīto procesu kopums. Dēdēšanas produkti no reljefa augstākām vietām pārvietojas uz relatīvi zemākām. Dažāda iezu materiāla pārvietošanās gravitācijas spēka iespaidā notiek lēni — lēnas akmens tecēšanas plūsmas, soliflukcijas, nobīras u. c. Ja šis process norisinās ātri, rodas dubļu straumes, noslīdeņi, bet, ja tas ir momentāns, — sniega, akmens lavīnas un nogruvumi.

Akumulācija ir pretējs process denudācijai. Tās laikā saīršanas produkti nogulsņējas. Izšķir jūras, virszemes un pazemes ūdeņu, vēja, ledāja, kā arī gravitācijas procesus, kas veido akumulatīvās reljefa formas.

Denudācijas un akumulācijas procesu mijiedarbībā notiek Zemes virsas nolīdzināšana, un šādu izlīdzinātu reljefu sauc par *peneplēnu reljefu*.

Eksogēno procesu intensitāte ir atkarīga no teritorijas ģeogrāfiskās vietas, ģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās uzbūves. Šos procesus stipri ietekmē klimats un reljefs. Mūsu republikas reljefs ir veidojies kvartāro apledojumu ietekmē un pēc tam humīdajā klimatā eksogēno procesu rezultātā nedaudz pārveidojies.

Eksogēno procesu ietekmē mainās upju gultnes, veidojas gravas, noslideni, pēcleduslaikmeta nogulumieži un tiek noskaloti auglīgākie augšņu slāņi. Tiek apdraudēta būvju, hidrotehnisko būvju stabilitāte, rodas zaudējumi lauksaimniecībā. Tāpēc svarīga ir teritorijas reljefa, ģeoloģiskā, hidroģeoloģiskā un inženierģeoloģiskā izpēte, kā arī eksogēno procesu prognozēšana un modelēšana. Lai procesus novirzītu vēlamajā virzienā, jāpiedalās ģeologiem, celtniekiem, ceļu būvētājiem, lauksaimniecības un dabas aizsardzības speciālistiem u. c.

Iežu dēdēšana

Eksogēno procesu rezultātā nepārtraukti izmainās Zemes garozas virsējā kārtā. Īpaši svarīgs process ir iežu dēdēšana un dēdēšanas garozas veidošanās. Dēdēšana notiek atmosfēras, hidrosfēras un biosfēras faktoru mijiedarbības rezultātā — minerāli un ieži noārdās, ķīmiski sadalās un pārveidojas. Dēdēšanu visvairāk veicina temperatūras maiņa, ūdens, skābekļa un ogļskābās gāzes ķīmiskā darbība, dzīvo organismu mehāniskā un bioķīmiskā ietekme, kā arī to sadalīšanās produktu iedarbība.

Izšķir trīs iežu dēdēšanas veidus: *fizisko*, *ķīmisko* un *bioloģisko*. Visi šie trīs dēdēšanas veidi parasti norisinās vienlaicīgi, bet viens no tiem bieži ir dominējošs — to nosaka fiziski ģeogrāfiskie un klimatiskie apstākļi. Kalnu rajonos, sausa kontinentāla klimata apstākļos un arktiskos apgabalos dominē iežu fiziskā dēdēšana, bet mērenā klimatā, kur labi attīstīta augu valsts, dominē bioloģiskā un ķīmiskā dēdēšana.

Fiziskā jeb mehāniskā dēdēšana. Procesā liela nozīme ir iežu plaisainībai. Sākotnēji plaisas rodas magmatiskos iežos, samazinoties tilpumam magmas atdzišanas laikā, nogulumiežos arī pēc slāņu nogulsnešanās starp slāņiem. Ja ieži ir stipri plaisaini un plaisu tīkls biezs, dēdēšanas ātrums ir lielāks. Tiešu saules staru (insolācijas) un gaisa temperatūras izmaiņu ietekmē ieži plaisā, mehāniski sadrūp, pakāpeniski sadalās šķembās.

Fizisko dēdēšanu ļoti ietekmē ūdens sasalšana iežu plaisās, temperatūras svārstības, kā arī dzīvo organismu mehāniskā iedarbība. Ūdenim sasilstot iežu plaisās, ledus tilpums kļūst par 10% lielāks nekā ūdens tilpums, tāpēc plaisās rodas līdz 600 kgf/cm² liels spiediens, kas var saārdīt iežus, īpaši porainos iežus (smilšakmeni). Sala dēdēšana vislabāk novērojama kalnu rajonos pie sniega līnijas.

Liela nozīme fiziskajā iežu dēdēšanā ir temperatūras diennakts maiņām. Dienā sasilstot un naktī atdziestot, rodas izmaiņas iežu tilpumā, kas visstiprāk novērojamas iežu virspusē. Iežiem sasilstot, dažādo minerālu tilpums palielinās nevienādi, bet atdziestot atkal nevienādi samazinās, jo minerālu izplešanās koeficienti ir dažādi, piemēram, kvarcam — 0,0003, ortoklazam — 0,0001 utt.

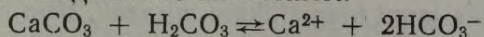
Temperatūras svārstību izraisītās minerālu tilpuma izmaiņas pat visblīvākajiem iežiem pavada saplaisāšana un sadrupšana. Īpaši izteiktas diennakts temperatūras svārstības ir tuksnešu rajonos, kur ir kontinentāls klimats, piemēram, Karakuma tuksnesī dienā iežu virspuse sasilst līdz 80°C, bet naktī temperatūra pazeminās un tuvojas nullei. Aktīva fiziskā dēdēšana labi novērojama arī kalnu grēdās, kas veidotas, piemēram, no kaļķakmens. Jau 20°C lielas temperatūras svārstības ir pietiekošas, lai virsējā sasilusī kārtiņa sāktu atšķēlēties no apakšējā slāņa, kura temperatūra ir zemāka. Iežu kārtiņu atšķēlēšanos sauc par *deskvamāciju*. To var labi novērot arī siltā un sausā klimatā, piemēram, Ēģiptes tempļa sienām. Sala iedarbības rezultātā, apvienojoties dēdēšanas faktoriem, var veidoties īpatnējas erozijas formas — «Veneras adatas» u. c.

Fiziskās dēdēšanas rezultātā plato tipa augstienēs un citur izveidojas akmeņu un šķembu krāvumi — «akmens jūras». Kalnu nogāzēs smaguma spēka ietekmē dēdēšanas produkti pārvietojas, un, ja kalna nogāzes slīpums ir 25—35°, tad atkarībā no kalnu lieluma un formas rodas nobrukumi. Iežu mehānisko dēdēšanu veicina dzīvnieku darbība. Koku un krūmu saknes, iespiežoties iežu plaisās, tos pabīda gan horizontāli, gan arī vertikāli pat līdz 1 metram. Tas dažkārt redzams asfalta trotuāros.

Ķīmiskā iežu dēdēšana. Tā noris visur, bet ar dažādu intensitāti. Visintensīvāk tā noris mitrā un siltā klimatā, mērenā klimatā divreiz vājāk, bet tuksnešos — desmitiem reižu vājāk. Šajā procesā izmainās iežu ķīmiskais sastāvs, bieži izveidojas jauni savienojumi. Iežiem sadrupot fiziskās dēdēšanas procesos, stipri palielinās to kopējā virsma un tāpēc parasti pastiprinās ķīmisko procesu norise.

Ķīmiskās dēdēšanas procesos notiek gan vielu šķīšana un hidrolīze, gan hidratācija un dehidratācija. Šīs reakcijas ir bieži savstarpēji saistītas un cita citu ietekmē.

Par *šķīšanu* sauc procesu, kurā vienas vielas molekulas parasti kādā šķīdumā difūzijas ceļā vienmērīgi izkliedējas un novietojas starp citas vielas molekulām. Iežu šķīšana pastiprinās, ja ūdens satur skābekli, ogļskābo gāzi, sērskābi un organiskās skābes. Organiskās skābes ūdenī rodas augsnes mikroorganismu dzīvības norisēs, kā arī sadaloties augu organiskajām vielām. No nogulumiežiem ūdenī vislabāk šķīst hlorīdi un sulfāti (akmeņsāls, ģipsis u. c.). Šķīstoši ir arī kaļķakmens un marmori.



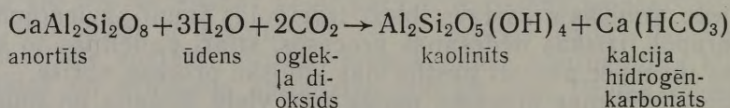
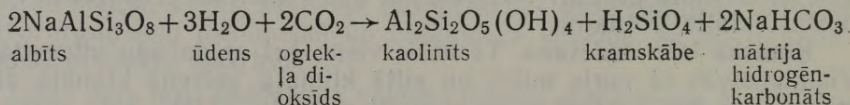
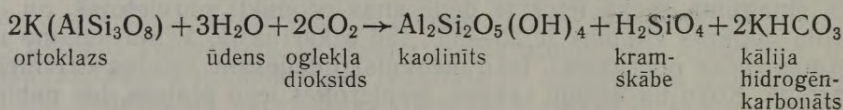
kalcīts	ogļskābe	kalcija jons	hidroģēnkarbonāts jons
---------	----------	--------------	------------------------

Magmatiskie un metamorfie ieži sastāv galvenokārt no silikātiem un alumosilikātiem. To ķīmiskajā dēdēšanā galvenā loma ir

hidrolīzei. Alumosilikāti parasti bez iepriekšējas hidrolīzes ūdenī nešķīst. Hidrolīzē tiek izjaukta minerālu kristāla atomu struktūra, ko veicina ūdens ar tajā izšķīdušiem joniem.

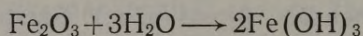
Sāls jonu savstarpējo iedarbību ar ūdeni, kuras rezultātā rodas vājš disociēts jons vai molekula, sauc par hidrolīzi. Tās ir apmaiņas—sadalīšanās reakcijas starp dažādām vielām un ūdeni. Ūdens molekulām ir polāra uzbūve, respektīvi, ūdens molekula ir dipols un vienā ūdens molekulas galā ir izvietots vairāk negatīvu lādiņu, otrā mazāk.

Ja H^+ koncentrācija nav liela, tad OH^- var savienoties ar metāla joniem, veidojot grūti šķīstošus hidroksīdus, piemēram, $Fe(OH)_3$, $Al(OH)_3$, $Mn(OH)_2$ un citus. Tā no primāriem minerāliem veidojas sekundārie minerāli, kas no primāriem atšķiras ar ķīmisko sastāvu un sasmalcinātību, liela daļa no tiem atrodas koloīdu stāvoklī. Sekundārie galvenokārt ir mālu minerāli. Mēreni mitrā klimatā veidojas māli, kuri satur hidrovislu un montmorilonītu. Ja iežu dēdēšanas gala produkts mālā ir pārsvarā silīcijs, tad to sauc par *sialitisko dēdēšanu*. Tropiskā mitrā klimatā ķīmiskajā dēdēšanā no bāziskiem alumosilikātiem veidojas kaolīnu māli, laterītu un citi ieži, kas satur daudz alumīnija. To sauc par *allitisko dēdēšanu*. Laukšpatu hidro-līzes procesus raksturo šādas reakcijas:



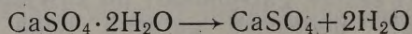
Svarīgs pārmālošanās process ir kaolinizācija, kuras rezultātā lielās platībās radušies mālu nogulumu. K, Na, Mg, Fe hidroģēnkarbonāti šķīst ūdenī un parasti aizskalojas.

Hidratācija ir ūdens molekulu piesaistišana minerāliem, kuri nesatur ūdeni. Līdz ar to izmainās minerālu un iežu fizikālās īpašības un šķīdība. Dabā plaši izplatīta ir šāda ķīmiskās sadēdēšanas reakcija:

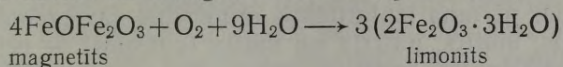


Hidratācijas procesos veidojas jauni hidrosilikātu minerāli, tiem pie-der ceolīti, talks, serpentīni u. c.

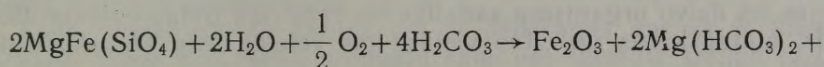
Dehidratācijas procesos minerāli zaudē ūdeni, piemēram, gipsis pārvēršas minerālā anhidrīdā:



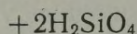
Oksidēšana ir skābekļa pievienošana minerāliem. Process ir atkarīgs no skābekļa iedarbības ātruma. Parasti oksidējas divvērtīgās dzelzs un mangāna minerāli, piemēram,



Dzelzs, mangāna, vara, kobalta, hroma savienojumi magmatiskos iežos parasti atrodas reducētā formā. Sulfīdu grupas minerāli, kā arī dzelzi saturošie silikāti (olivīns, piroksēni, amfiboli) oksidējoties divvērtīgo dzelzi pārvērš trīsvērtīgajā. Pirmatnējā melnā vai zaļā krāsa, veidojoties oksīdam (hematītam) vai hidroksīdam (getītam vai limonītam), izmainās līdz sarkanai, dzeltenai vai brūnai. Šāda oksidēšanās reakcija ar krāsu maiņu noris olivīna dēdēšanas procesā.

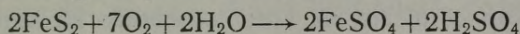


olivīns



šķīstošā
kramskābe

Dzelzs, mangāna, vara sulfīdiem oksidējoties, rodas brīva sērskābe. Raksturīga ir pirīta oksidēšanās, kuras rezultātā rodas sērskābe:

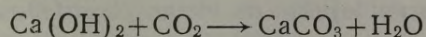


pirīts

Sērskābe ir stiprs ķīmiskais reaģents, kas spēj sadalīt karbonātus un dažreiz arī alumosilikātu minerālus. Pat nelieli dzelzs sulfīdu piemaisījumi iežos, kurus lieto kā būvmateriālus, pasliktina šī materiāla īpašības.

Reducēšanās parasti notiek anaerobos apstākļos, kuros mikroorganismi izmanto tiem nepieciešamo skābekli. Šī procesa sekas labi novērojamas augsnes gleja horizontā, kuru divvērtīgās dzelzs savienojumi iekrāso zaļgani zilganā krāsā. Oksidēšanās un reducēšanās procesu dziļuma robežas iežos, augsnes un citur ir dažādas. Arī dziļākos ūdens slāņos skābekļa saturs samazinās, un noteiktā dziļumā tas izzūd. Tur sākas reducēšanās josla (Melnā jūrā šī robeža ir 100 m dziļumā). Seklās polārās jūrās oksidēšanās josla turpinās līdz jūras dibenam, bet purvos reducēšanās procesi sākas gandrīz pašā purva virspusē.

Karbonizācija parasti noris ūdens šķīdumos, savienojoties bāziskajiem Ca, Na, K, Mg un citiem katjoniem ar oglekļa dioksīdu, piemēram:



Dekarbonizācijas rezultātā karbonāti sadalās un atbrīvojas CO_2 . Jo ūdeņos izšķīdināts vairāk CO_2 , jo intensīvāk veidojas ūdenī šķīstošie bikarbonāti un noris straujāka to migrācija. Karbo-

nātu izskalošana no Zemes garozas virsējās kārtas noris plašos apmēros, tāpēc upju ūdeņos un gruntsūdeņos ir daudz kalcija sāļu.

Atkarībā no minerālu sastāva un uzbūves to dēdēšanas ātrums ir dažāds. Pēc dēdēšanas ātruma izplatītākos minerālus var sarindot šādi: nefelīns, ragmānis, biotīts, nātrijs un kālija laukšpati — ortoklāzs, mikrokliņš —, albīta un anortīta minerāli — plagioklāzi, augīts, kvarcs (visvieglāk sadēd nefelīns, bet visgrūtāk — kvarcs).

Bioloģiskā iežu dēdēšana. Šajā procesā liela nozīme ir augiem, augsnes baktērijām un citiem augsnes mikroorganismiem. Augu saknes un mikroorganismi izdala oglekļa dioksīdu, organiskās skābes un tādējādi veicina iežu ķīmisko dēdēšanu. Visstiprāk iedarbojas slāpekļskābe, skābeņskābe un ogļskābe. Daļu minerālvielu, arī metālu sāļus saista augu saknes un mikroorganismi. Augiem ir nepieciešams dzelzs, mangāns, varš, cinks un citi elementi. Arī augu sakņu elpošanas un dzīvo organismu sadalīšanās rezultātā rodas oglekļa dioksīds, humīnskābes un citas vielas, kas veicina iežu ķīmisko dēdēšanu.

Fiziskās, ķīmiskās un bioloģiskās iežu dēdēšanas rezultātā veidojas iežu iirdne. Parasti uz magmatisko un metamorfo iežu iirdnes vispirms sāk augt ķērpji, tad sūnas. Sie litofilie augi vēlāk kļūst par materiālu, no kura veidojas pirmatnējās augsnes organiskā viela. Tiem sadaloties, atbrivojas minerālie barības elementi (P, S, K, Ca, Mg u. c.), kas nepieciešami augstākajiem augiem.

Iežu iirdnei ir citādas fizikālās un ķīmiskās īpašības nekā blīviem iežiem. Iežu iirdne ir augšņu cilmiezis, uz kuru iedarbojas kā atmosfēra, tā dzīvie organismi, tajā sāk uzkrāties organiskās vielas, slāpekļs un citi augu barības elementi. Iežu dēdēšana un augsnes veidošanās ir savstarpēji cieši saistīti procesi. No iežiem izveidojoties augsnei, rodas iespēja audzēt kultūraugus, iegūt zemkopības produkciju. Augsne ir galvenais lauksaimniecības pamatlīdzeklis un cilvēka darba objekts, kuru sīkāk pēta augsnes zinātne.

Dēdēšanas garozas. Tās izveidojas kontinentālos apstākļos, sadēdot Zemes garozas virsējiem magmatiskajiem, metamorfajiem iežiem un nogulumiežiem. Dēdēšanas garozas rodas galvenokārt aerācijas zonā, kur notiek gaisa apmaiņa. Biezākās dēdēšanas garozas veidojas mitrā un siltā klimatā tropu un subtropu joslās. Dēdēšanas garozas biezums atkarīgs arī no gruntsūdeņu dziļuma (tas var būt no dažiem centimetriem līdz 200 m un vairāk). Visbiezākās dēdēšanas garozas ir tektoniskajās plaisās.

Dēdēšanas garozu izpētei ir liela praktiska un teorētiska nozīme. Dažādo dēdēšanas garozu sastāvs un īpašības raksturo klimatiskos apstākļus, kādos tās veidojušās. Dēdēšanas garozas var saturēt derīgas rūdas, piemēram, boksītus, kaolīnītus, niķeļa, dzelzs, mangāna rūdas.

Izšķir dēdēšanas garozas, kas veidojušās uz vietas (*in situ*), un pārvietotās, nogulsņētās garozas.

Bez tam izšķir vēl jaunākās un senās dēdēšanas garozas. Jaunākās garozas sāka veidoties kvartāra perioda pēdēduslaikmetā un turpina veidoties arī mūsdienās, bet senās dēdēšanas garozas veido-

jušās agrākos ģeoloģiskos periodos un sastopamas tur, kur tās nav noerodētas.

Atkarībā no dominējošiem dēdēšanas apstākļiem izšķir dažādus ģeokīmiskās dēdēšanas garozas tipus: laterītu, sialītu, akumulācijas, rūdu oksidēšanas u. c. Pēc sadēdēšanas gala produktu mineraloģiskā sastāva izšķir kaolīnītu, montmorilonītu, nontronītu, sulfātu, sulfīdu un citas dēdēšanas garozas.

Laterītu dēdēšanas garoza veidojas, sadēdot ultrabāziskiem un bāziskiem magmatiskajiem iežiem, kristāliskiem slānekļiem, kaļķakmeņiem un arkoziem jeb ar laukšpatu bagātiem smilšakmeņiem tropu un subtropu klimatu joslās, kur mainās lietainās un sausās sezonas. Visstiprāk sadēdējusi ir virsējā kārtā, kur uzkrājas dzelzs un alumīnija oksīdi un hidroksīdi, daļēji arī titāna un silīcija oksīdi un hidroksīdi. Sārmzemju metāli un kramskābe tiek izskaloti, bet mazāk izturīgie metāli sadē.

Lielā dzelzs oksīdu satura dēļ šī dēdēšanas garoza ir ķieģel-sarkana, tāpēc dēdēšanas produktu sauc par laterītu. Dziļāk to nomaina kaolīnītu, hidrovizlu un montmorilonītu dēdēšanas kārtas, kas pāriet pamatiezī. Laterītu dēdēšanas garozas, kuras satur daudz alumīnija, ir svarīga alumīnija rūda, tā sauktie laterītu boksīti. Dažās laterītu garozās sastop arī dzelzs, titāna, niķeļa un kobalta rūdas.

Stepēs, kur maz nokrišņu, hidrolīzes process noris lēni un izveidojas plānas hidrovizlu, montmorilonītu vai kaolīnītu dēdēšanas garozas. Tuksnešos vai pustuksnešos, kur nokrišņu daudzums ir vēl niecīgāks un liela saules intensitāte, notiek tikai fiziskā iežu dēdēšana.

Sialītu dēdēšanas garoza veidojas, sadēdot magmatiskiem un metamorfiem iežiem, kā arī nogulumiežiem, karbonātiem un arkoziem smilšakmeņiem mitrā (humīdā) klimatā tropu un mērenā klimata joslās. Alumosilikātiem hidrolizējoties un izskalojoties, rodas kaolīnītu, montmorilonītu, hidrovizlu, hlorītu, nontronītu un citas dēdēšanas garozas. Senās nontronītu dēdēšanas garozas Urālos satur niķeļa un kobalta rūdas. Svarīga ir kaolīnītu dēdēšanas garoza, kas ir izejmateriāls porcelāna, ugunsizturīgo materiālu, gumijas un papīra rūpniecībā.

Vēja ģeoloģiskā darbība

Atmosfēras spiediena nevienādība rada gaisa kustību — vēju, kas pūš no augstāka gaisa spiediena apvidus uz vietām, kur spiediens zemāks. Vēja darbība noris visās klimatiskās zonās, un tam ir liela nozīme kā ģeoloģiskam faktoram. Vislabvēlīgākie apstākļi vēja ģeoloģiskai darbībai ir arīdā jeb sausa, karsta klimata apgabalos, kur iztvaikošana 5—10 reizes pārsniedz nokrišņu daudzumu un kur nav vienlaidu augu segas.

Tuksnešu un pustuksnešu rajonos noris intensīva fiziskā iežu dēdēšana. Sajā procesā rodas daudz materiālu, kurus var aizpūst vējš, it sevišķi tad, ja ir pastāvīgs vēja virziens un liels ātrums.

Smilšu un putekļu pārvietošanās sausos gadalaikos notiek arī citās klimata joslās. Jāņem vērā, ka vējš ir viens no galvenajiem meteoroloģiskajiem faktoriem, kas sadala nokrišņu daudzumu pa teritorijām.

Vēja darbība var būt ārdošā, transportējoša un akumulatīva. Vēja ārdošā un transportējošā darbība visietekmīgākā ir tuksnešu un pustuksnešu rajonos. Šās darbības rezultātā vietās, kur samazinās vēja ātrums, notiek noārdīto produktu uzkrāšanās.

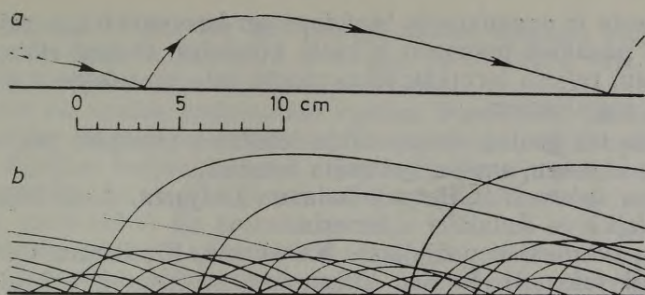
Iežu dēdēšanas rezultātā radušos irdeno sīko daļiņu atraušānu un aizpūšanu ar vēju sauc par deflāciju (latīņu *deflare* — izpūst, nopūst), augsnes zinātnē — par vēja eroziju.

Vējš no zemes virsmas satver irdenās sīkās iežu daļiņas, pacel gaisā, pārnes tās un nogulsnē citā vietā. Vēja transportējošā darbība atkarīga no turbulentās kustības ātruma. Ja vēja ātrums ir 4—7 m/s, sākas 0,1—0,25 mm lielo frakciju aizpūšana, bet oļus var pārnest tikai spēcīgu vētru — orkānu gadījumos, kad vēja ātrums pārsniedz 50 m/s (tas var sasniegt pat 70 m/s). Vidēja stipruma vējš (7—9 m/s) par 0,5 mm lielākas daļiņas pārvieto slidinot vai ripinot, 0,1—0,5 mm daļiņas — ar lēcieniem (*saltācija*). Saltācijā daļiņas tiek paceltas stāvi uz augšu no nedaudz centimetriem līdz 2 metriem, bet zemē krit slīpāk — 10°—16° leņķī. Atsitoties kustība turpinās kā ķēdes reakcijā (30. att.). Daļiņas, kas mazākas par 0,1 mm, tā saucamos putekļus, vējš pārnes pa gaisu. Parasti putekļi vētrās sastopami apakšējos atmosfēras slāņos, bet atomspārdzīenos un vulkānu izvirdumos tie tiek izsviesti pat stratosfērā. Vējš rupjos putekļus neaiznes tālu, bet sīkos putekļus var pārvietot tūkstošiem kilometru. Tā, piemēram, Sahāras sarkanos iežu putekļus dienvidu vēji pārnes līdz Itālijai, pat Vācijai un Polijai (vairāk nekā 3000 km), kur dažkārt tie nolīst «asins lietus» veidā. 1970. gada ziemā arī Latvijā Latgales un Vidzemes augstienes sniegu klāja melni putekļi, kurus vējš bija atnesis no melnzemes apgabaliem. Putekļu vētras var nogulsnēt pat 10 t putekļu uz 1 km². Vispēcīgākās putekļu vētras novērojamas uz Marsa. Galvenie iemesli, kāpēc nosēžas pārnestsais materiāls, ir šādi:

- vējš samazinās vai apstājas,
- sākas lietus vai sniega nokrišņi,
- ceļā gadās dažādi šķēršļi.

Samazinoties vēja turbulentajām gaisa kustībām, samazinās kinētiskā enerģija, un smaguma spēka iespaidā putekļi nosēžas. Smalkie putekļi, ko vējš pacēlis augstu gaisā, nogulsnējas kopā ar nokrišņiem (no tiem augi sūnu purvos iegūst minerālvielas). Bez tam vējš kopā ar lietu ir lielākais jūras sāļu pārnēsātājs. Augsne no ūdeņiem saņem Ca, Na, Mg, K, U, S, B un citus elementus. Rupjo putekļu nogulsnēšanu izsauc dažādie šķēršļi — klints izciļņi, pauguri, akmeņi, krūmi, meži vai atsevišķi koki.

Vēja nestās smiltis tuksnešos vai citos apvidos, atsitoties pret iežiem, tos mehāniski berž, deldē, gludina. Šādu iežu virsmas mehānisko apstrādi sauc par korāziju (latīņu *corrazio* — apslīpēt). Deflācijas un korāzijas procesi savā starpā ir cieši saistīti, un tie paātrina iežu dēdēšanu. Daļiņu aizpūšanas rezultātā izveidojas rak-



30. Daļiņu saltācijās pārvešana:

a — viena smilšu grauda pārvešanas trajektorija, *b* — daudzu smilšu graudu pārvešanas trajektorijas.

sturīgas iežu reljefa formas — tā sauktās akmens sēnes, stabi, adatas u. c. Sevišķi stipri tiek erodētas klinšu iežu mikstākās kārtas. Tā izveidota, piemēram, akadēmiķa V. Obručeva jau 1906. gadā aprakstītā «pilsēta ar torņiem, kolonnām un pieminekļiem» Karatau kalnu masīva nogāzē — šajā vietā smilšakmens iežus dažādos virzienos caurslāņo mālainu iežu kārtas, kurās iežiem ir dažāda izturība pret vēja ārdošo darbību.

Vēja pārnestās iežu daļiņas, triecoties pret iežu klintīm, var radīt dažādas korāzijas formas: bedrītes, svītras, vagas. Korāzijas ātrums atkarīgs no iežu fizikālajām īpašībām — cietības, struktūras, tekstūras, plaisainības, graudu lieluma un vēja ātruma. Vienvirziena vējš mikstos iežos var izpūst iedobes un nišas, bet uz tuksneša mālainu iežu virsmām veidot pat vairākus metrus garas vagas.

Deflācija visspēcīgāk noris tur, kur virspusē atsedzas puteklaini māli, less, smiltis, piemēram, Ziemeļāfrikā, Mongolijā. Šeit vēja vienvirziena ārdošās darbības rezultātā dažreiz izveidojas lielas *deflācijas vagas*, kas var stiepties līdz 100 km garumam. Tās izplatītas plato veida augstieņu tuksnešos, piemēram, Austrumu Mongolijā. Vēja veidotās vagas atšķiras no upju ielejām ar to, ka tām ir nelīdzens dibens, tām nav vispārējā krituma, vietām tās paplašinās, vietām sašaurinās. To nogāzes ir stāvas vai pakāpienveidīgas ar raksturīgām vēja erozijas iežu formām. Ilgstošā vēja deflācijā izveidojas plaši līdzenumi ar padziļinātām ieplakām. Dažreiz ieplakas ir tik dziļas, ka sasniedz gruntsūdeni, kurš ir pat zemāk par jūras līmeni. Vējš no tām vairs nespēj aiznest mītrās iežu daļiņas, un šeit veidojas augu valsts, piemēram, Ēģiptes lielajās Baharmas, Farafas un citās oāzēs. Pasaules lielākā deflācijas ieleja ir Lībijas tuksneša Kataras depresija, kas atrodas 134 m zem jūras līmeņa un aizņem 19 500 km². Arī Latvijas jūras piekrastē starp kāpām ir deflācijas ieplakas, bet to izmēri nepārsniedz dažus desmitus metru. Ja deflācijas ielejas gruntsūdeni ir sāļi, tad veidojas solončaki. Tie veidojas, gruntsūdeņiem iztvaikojot un nokļāžot ieleju ar sāls kārtiņu, piemēram; Austrālijas, Centrālās Āzijas un Āfrikas tuksnešos.

Tuksnesis ir neapdzīvots bezūdens un bezveģetācijas rajons. Lielākā daļa pasaules tuksnešu ir kaili, klinšaini, vietām akmeņaini, ar raksturīgām reljefa formām; tikai pietīk daļa no tuksnešu platības ir ar smilšu nogulumiem.

Klimata un ģeoloģisko apstākļu ietekmes rezultātā pēc substrāta izveidojas akmeņu, smilšu vai māla tuksneši.

○ *Akmeņu tuksneši* ir Betpak-Dala un Ustjurta, Austrālijā — Viktorijas, Āfrikā — Kalahari tuksnesis.

○ *Smilšu tuksneši* ir pazīstamie Karakuma, Kizilkuma, Gobi, Sahāras un citi tuksneši. Smilšu tuksnešos sastopami arī akmeņaino tuksnešu apgabali.

○ *Māla tuksneši* bieži radušies izžuvušo agrāko upju deltās Vidusāzijā, daļā Kalifornijas un Kolorādo tuksnešu.

Vēja ģeoloģiskās darbības rezultātā rodas less — lieli putekļu nogulumi, kas veidojas, galvenokārt uzkrājoties tuksnešu deflācijas produktiem.

Vēja un arī ūdens lesa nogulsnešanos veicina stepes zāles, kas katru gadu ziemā aiziet bojā un atstāj sakņu un virszemes organisko masu. Tāpēc lesa sastāvā vienmēr ir arī organiskās vielas, un uz tā ir izveidojušās auglīgākās melnzemes augsnes. Šādi augsnes rajoni ir Ukrainā, Ziemeļkazahijā, Uzbekijā, Sibīrijas dienvidaustrumos. Pasaules biezākie lesa nogulumi ir Ķīnā, kur tie sasniedz pat 500 m biezumu. Āfrikā lesa nogulumi sastopami Kongo baseinā, Vidusjūras un Sarkanās jūras piekrastes rajonos.

Otrs svarīgs lesa izejmateriāls ir ledāja sasmalcinātie ieži. Ziemā sausie, aukstie vēji no ledāja virsmas aizpūš smalkos putekļus, kas nogulsnešas citos apvidos. Starpleduslaikmetos uz lesa veidojas augsnes, kuras atkal pārklāj vēlākie lesa nogulumi (apraktās augsnes).

Jautājums par lesa izcelšanos ir sarežģīts, un par to pastāv dažādi uzskati. Ilgi šo problēmu pētījis akadēmiķis V. Obručevs, kurš savu hipotēzi sīkāk pamatoja 1950. gadā. Viņš izšķir aukstās un siltās izcelšanās lesu. *Aukstais less* ir tā laika vēja sanesums, kad Eiropas ziemeļu daļa bija pārklāta ar ledājiem, piemēram, Rietumeiropas un Austrumeiropas stepju joslas less. *Silto lesu* vējš sanesis no tuksnešiem (starpleduslaikmeta periodos un arī pašreiz), to tālāk pārgulsnejuši nokrišņu ūdeņi. Pašreiz uzskata, ka less ir dažādas ģenēzes veidojums, galvenokārt vēja un ūdens nogulumi.

Rietumeiropas un Vidusāzijas dienvidu rajonos izplatīti tā sauktie *lesveida smilšmāli* jeb *lesoīdi*, kas atšķiras no lesa ar lielāku māla minerālu piejaukumu un nevienmērīgu mehānisko sastāvu.

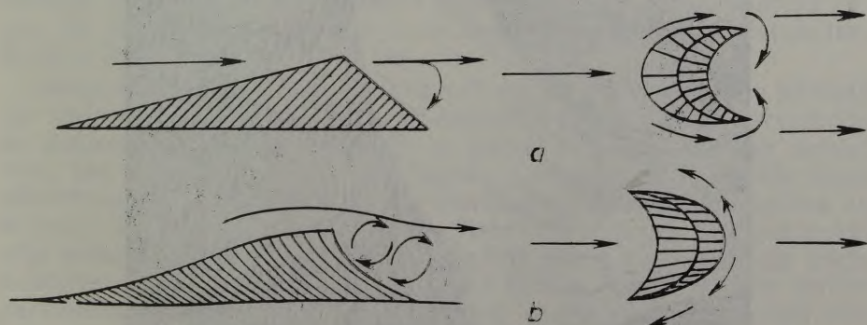
Augsnes erozija noris vēja un ūdens darbības rezultātā, it īpaši tad, ja zemi nepareizi izmanto. *Vēja erozijas gadījumā* tiek aizpūstas augsnes virskārtas auglīgās sīkās daļiņas. Dažkārt erodēto augšņu materiāls putekļu virpuļu veidā tiek pacelts desmitiem metru augstumā. Augsnes erozijai var tikt pakļauta arī sausa saputeklota kūdra pat tad, ja vēja ātrums ir neliels. Latvijā vēja erozija visvairāk noris smilšaino augšņu rajonos. Stepju apvidos vēja ietekme var

būt vēl lielāka — tas var pat pilnīgi nonest auglīgo augsnes virskārtu, īpaši ilgstoša sausuma periodos, ja ir stiprs vējš vai vētra.

Dažkārt vēja erozija ir bijusi par iemeslu tam, ka veselās tautas aizgājušas no senām apdzīvotām vietām. Piemēram, pirms 5000 gadiem Lībijas tagadējie tuksnešainie rajoni vēl bija apdzīvota un auglīga Ēģiptes teritorija, kurā nebija vēja erozijas. Mūsu gadsimtā ASV dienvidu štatos pilnīgi vai daļēji noerodēti 45 miljoni hektāru augsnes, īpaši aktīvi šis process noritēja 1934. un 1935. gada vētrās. Vēja postošo ietekmi var novērst, ieviešot pareizas augsekas un agrotehniku, sējot zālaugus un citus pret eroziju izturīgus augus, ierīkojot aizsargjoslu stādījumus utt.

Vēja akumulācijas rezultātā radušos nogulumus un reljefa formas sauc par *eoliem nogulumiem* un *eolām formām* (Eols — vēja dievs sengrieķu mitoloģijā). Latvijā smiltis vējš aizpūš galvenokārt no agrākās jūras teritorijas, ezeru piekrastēm un iekšzemes ledāju ūdeņu sanestiem smilts nogulumiem. Šīs eolās smiltis atšķiras no citu tipu kontinentāliem smilts nogulumu slāņiem ar sastāvu — tajās ir maz vizlu, graudiem bieži ir noapaļota daudzskaldņu vai trīsstūrveida forma, matēta virsma. Smiltīm izteikts slīpslāņojums, ko rada dažāda rupjuma smilšu graudu nogulsnešanās, kas atspoguļo vēja virzienu un stiprumu. Latvijas eolās smiltis sastāv galvenokārt no kvarca (vairāk nekā 90%). Tās satur arī nedaudz laukšpatu un smago minerālu. Var būt arī jaukts materiāls. Bermudu salās ir kāpas, kas sastāv no kalcīta, kurš sapūsts no koraļu rifiem.

Jūras un lielāku ezeru lēzenās piekrastēs valdošie vēji pūš uz krastu un pārvieto viļņu skalotās smiltis (31. att.). Aiz liedaga sastopamie dažādie šķēršļi (augi, krasta valņi) aiztur smilšu pārvietošanos, tāpēc izveidojas nelieli cilniši. Procesam turpinoties, cilniši izveidojas par eolām formām jeb *priekškāpu*. Aiz tām seko *krasta kāpas*, kurām parasti ir asimetrisks šķēršprofiļs — lēzenā (8° — 16°) stieptā nogāze vērsta pret vēju, bet stāvā nogāze (25° — 40°) atrodas aizvēja pusē. Atsevišķām kāpām apvienojoties, rodas *kāpu grēdas*, kas veidojas vairākās rindās paralēli krastam.

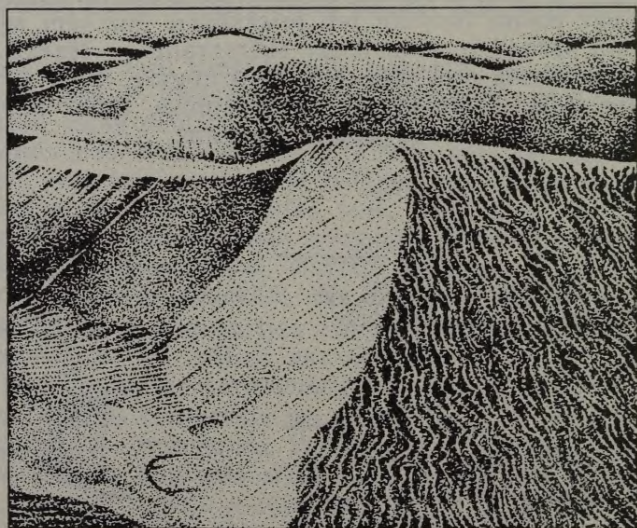


31. Kāpu un barhānu veidošanās shēma:

a — barhānu veidošanās, *b* — kāpu veidošanās.

Tuksnešu un pustuksnešu rajonos, ja smilšu ir maz un vēja virziens mainīgs, veidojas nepareizas formas smilšu grēdas, kuru augstums ir 1—5 m vai lielāks. Tās parasti izveidojas pie kāda šķēršļa (akmens, krūma). Ja smilšu ir daudz un nav šķēršļu vai augu valsts barjeras, tad pie noteikta dominējošā vēja virziena veidojas īpatnējas eolās reljefa formas, kas plānā atgādina pusmēnesi, — tās sauc par *barhāniem*. Šādas pusmēness formas rodas tāpēc, ka sauso smilšu kustības ātrums barhāna vidū ir mazāks nekā malās. Barhāni parasti izvietojas rindās, pie tam atsevišķu barhānu platums var sasniegt pat 700 metrus. Ja vēja plūsma ir spirālveida, var veidoties arī šķērsvirziena barhānu virknes. Ja vēja virziens bieži mainās, tad barhānu gali pārvietojas vēja virzienā. Vēja pusē barhānu virsu sedz raksturīgas asas viļņainas vēja rievas. Plaši izplatītas lielos tuksnešos ir *piķveida kāpas*, kuras veidojas sezonālo vēju ietekmē un plānā atgādina arābu zobenu (32. att.). Tās sastopamas kopā ar barhāniem un var pārveidoties par barhāniem vai arī barhāni var pārveidoties par šīm kāpām. Tās visplašāk izplatītas Sahārā, Lībijas un Austrālijas tuksnešos. Sahārā sastopami arī milzīgi smilšu pauguri ar asām viļņainām korēm. Tur, kur bieži mainās vēja virziens un spēks, piemēram, Sauda Arābijas milzīgajās smilšu platībās (trešā daļa no teritorijas jeb 2,5 milj. km²) veidojas visdažādākie kāpu veidi, kurus nevar klasificēt.

Dažreiz tuksneša rajonos ieplakās starp eolām reljefa formām var atrasties māli, kas, pavasaros izžūstot, sadalās piecstarainās vai sešstarainās plātnēs, starp kurām ir līdz 12 cm platas spraugas. Šos mālu apgabalus sauc par *takiriem* (33. att.). To platība var sasniegt



32. Kāpa. Smilšu kāpa ar labi izteiktiem smilšu vilnišiem.

pat vairākus kvadrātkilometrus. Tuksnešos vietām izplatītas ir arī izstieptas, šauras smilšu grēdas un mazliet viļņaini smilšu lidenumi.

Kāpām, kas veidojušās mitrā klimatā, sānu malas paliek atpakaļ — pret vēja virzienu, jo apakšējās smiltis ir mitras, bet augstākajā kāpu vidusdaļā tās ir sausas un vējš vieglāk tās var pārvietot. Dominējošais vējš var izveidot arī paraboliskas formas kāpas, tomēr izplatītākās ir vaļņveida krasta kāpas, kas parasti veido vairākas paralēlas rindas, kā, piemēram, tas ir Baltijas jūras piekrastē, Daugavas un Gaujas lejteces rajonos.

Sevišķi izplatītas kāpas ir Francijā gar Atlantijas okeāna piekrasti, kur pie Arkašonas pilsētas atrodas pati augstākā kāpa Eiropā (90 m). Pie mums izplatītākās ir

vaļņveida kāpas gar Baltijas jūru paralēli jūras krastam. Sevišķi daudz tās sastopamas Rīgas līča dienvidu krastā un lielāko upju ieteku tuvumā, kā arī gar agrākā Baltijas jūras baseina (Ledus ezera, Litorinas jūras) krastiem. Augstākā Latvijas kāpa ir Ķupes kalns (32 m) Liepājas apkārtnē.

Kāpas sastopamas arī ledāju kušanas ūdeņu sanestos iekšzemes smiltājos (*sandros*), tās sauc par *iekšzemes kāpām*. Pēc ledāja nokušanas, kamēr vēl nebija attīstīta augu valsts, vējš smiltis sapūta kāpās, bet tagad tās pa lielākai daļai apaugušas ar mežu (Taurkalne, Strenči, Daugavpils).

Neapaugušas kāpas, barhāni un citi eoliski veidojumi vēja ietekmē var pārvietoties. Latvijā piejūras nenostiprinātās kāpas pārvietojas no dažiem centimetriem līdz 20 m gadā. Virzoties tās var apbērt visu, kas ir ceļā, — apdzīvotas vietas, dārzus, mežus. Smilšu kāpu pārvietošanās vēja ietekmē notiek vietās, kur iznīkusi zāļu velēna un krūmāji. Ja nocērt mežu gar jūras piekrasti, augšnes tiek pakļautas vēja erozijai, tāpēc jau 1838. gadā izdots likums, kas aizliedz meža kailcirtes 3 km platā joslā gar jūras krastu. Lai novērstu smilšu pārvietošanos, zinātnieki selekcionējuši augus ar tādu sakņu sistēmu, kuri var eksistēt un ātri attīstīties sausos smiltājos. Latvijā pašreiz kāpu nostiprināšanai plaši audzē speciālas zāles — smilts auzas, kāpu kviešus, amodēnijas u. c. Priekškāpu nostiprināšanai



33. Takīru virsma.

ieteic lietot kāpu niedri, jo tā labi panes apbēršanu ar smiltīm un veido papilddzinumus. Smiltāju nostiprināšanai parasti sēj dzelteno lupīnu. Galvenā koku suga smiltāju apmežošanai ir parastā priele, iekšzemes smiltāju apmežošanai lieto parasto bērzu. Labus rezultātus citās klimata joslās dod arī kalnu priele un smilts akācijas. Tomēr ne vienmēr augu valsts pietiekami efektīvi aptur smilšu masīvu pārvietošanos.

Lai nodrošinātu ātru jaunuzbūvēta dzelzceļa, šosejas vai kanālu nogāžu nostiprināšanu, bieži lieto mehāniskus paņēmienus — izliek speciālus vairokus, žogus, lieto bitumena emulsiju. Izmanto arī sintētiskus šķidrumus, kas izveido porainu plēvi, kurai iet cauri gaiss un ūdens. Konkrētos pasākumus kāpu nostiprināšanai izvēlas atkarībā no vajadzības un rentabilitātes.

Virszemes tekošo ūdeņu ģeoloģiskā darbība

Virszemes tekošajiem ūdeņiem plūstot pa Zemes virsu, nepārtraukti noris ģeoloģiskais darbs, kurš ir atkarīgs no plūstošā ūdens masas un tecēšanas ātruma. Ūdens pārvar iežu daļiņu smaguma spēku, atrauj tās un pārvieto. Iežu materiāla pārnesanu veicina tas, ka drupu ieži, iegrimst ūdenī, zaudē 40% savas masas. Ūdens var pārnēst pat lielus ieža gabalus, piemēram, kalnu strauti var pārvēlt pat akmeņus, kuru masa ir vairākas tonnas. Procesu, kurā ūdens plūstot iežus ārda, noslīpē un izskalo, sauc par ūdens eroziju. Ūdens plūsmas erozijas kinētiskā enerģija ir

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

kur m — ūdens masa,
 v — tecēšanas ātrums.

Ūdens plūsmas tecēšanas ātrums galvenokārt atkarīgs no reljefa slīpuma.

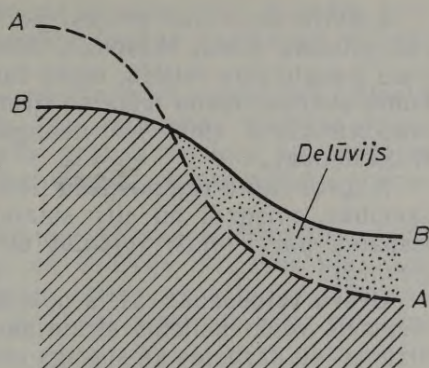
Virszemes tekošie ūdeņi, kas izraisa noskalošanās procesus, ir viens no galvenajiem Zemes virsas reljefa veidotājfaktoriem. Tie pārnēs un nogulsnē noerodētos iežu produktus. Šo tekošo virszemes ūdeņu darbību sauc par *fluviālu procesu*, un to veidoto reljefu par *fluviālu reljefu*. Tekošais virszemes ūdens noerodē Zemes virsu, radot negatīvas reljefa formas (ielejas, gravas, sengravas), bet, ja tas vairs nespēj pārnēst erodēto materiālu, tad sāk veidoties *akumulatīvas formas* (deltas, iznesu konusi u. c.). Ja erodēto materiālu nogulsnē pastāvīgās ūdens plūsmas (upes), tad šos nogulumus sauc par *alūvijū*, bet, ja periodiski darbojošās straumes, — par *prolūvijū* (priekškalnu iznesu konusus u. c.) Akumulācijas un erozijas reljefa formas parasti veidojas vienlaicīgi, un tās apzīmē par *erozijas—akumulācijas fluviālām formām*.

Izšķir divu tipu ūdens plūsmas: *lineāro* (gultnes) un *plaknes* (bezgultnes). Gultnes plūsmām ūdens straumei (upes, strauti) raksturīgs samērā liels dziļums un ūdens tecēšanas ātrums.

Pēc ūdens plūsmas darbības ilguma izšķir *periodiskas* un *pastāvīgas ūdens plūsmas*. Periodiskās plūsmas noris spēcīgu nokrišņu laikā, kad ar ūdens kārtu pārklājas visu reljefu nogāžu virsmas. Ja atmosfēras nokrišņi noliest vairāk, nekā augsne spēj uzsūkt, nogāzes līdzenumos ūdens tek pa zemes virspusi. Nogāžu ūdens, plūstot uz leju, izsauc virspuses eroziju, kas izraisa auglīgās augsnes virskārtas nonešanu un dažviet vairāku tonnu augsnes putekļaino frakciju nosēšanas. Nogāzes pakājē kritumam samazinoties, samazinās ūdens tecēšanas ātrums un sāk izgulsnēties nonestais materiāls.

Šādu bezgultnes plūsmas izraisīto procesu sauc par *deluviālo* (latīņu *deluo* — noskalot), bet nogulsnētos nogulumus, kuri izveidojušies šī procesa rezultātā nogāzes pakājē, par *delūviu* jeb *deluviāliem nogulumiem* (34. att.). Izskaloto un paliekošo iežu materiālu uz pauguru virsotnēm sauc par *eluviju*. Deluviālo nogulumu kārtā rodas visās nogāzēs, un to litoloģiskais sastāvs var būt dažāds. Parasti delūvijs rupjākais materiāls nav noskalots ar ūdens straumēm, bet ir noslīdējis pa nogāzi gravitācijas spēka ietekmē. Deluviālais materiāls parasti ir nešķirots, bez slāņojuma. Dažreiz lēzenās garās nogāzēs noris arī parastā iežu nogulsnēšanās pēc iežu rupjuma, ko rada straumes pakāpeniska samazināšanās, nogāzei kļūstot lēzenākai. Ja nogāze sastāv no ūdens caurlaidīgiem iežiem (rupja smilts, grants), tad nokrišņu ūdeņi labi infiltrējas un plaknes erozija gandrīz nenoris, tā nav jūtama arī biezu zālāju vai krūmu segtās nogāzēs. Deluviālie nogulumi visumā neveido skaidri izteiktas reljefa formas, bet gan nolīdzinātas. Mūsu republikā deluviālo nogulumu veidošanās sevišķi izpaužas stāvās nogāzēs (slīpums $>10^\circ$), kurās ir viegli izskalojami ieži — aleirīti, mālsmilts, smilšmāls. Izskalošanās intensitāte pieaug, ja ir iznīcināta velēna, izcirsti meži un nepareizi pielietoti agrotehniskie pasākumi (aršana nogāzē paralēli kritumam). Šādas erozijas novēršanai efektīva ir nogāžu planēšana, atmosfēras ūdeņu noteces regulēšana, pareizas inženiertehnikas pielietošana u. c.

Deluviālie nogulumi bieži gadās arī ēku pamatnēs, tad nevienmērīgi irderenie delūvijs slodzes ietekmē var nevienmērīgi sablīvēties, radot celtnes deformāciju. Bieži notiek arī delūvijs slāņa slīdēšana pa nogāzi uz leju. Tā kā delūvijs slāņi parasti ir bieži, to norakšana ēku celtniecības vajadzībām ir dārga un ne vienmēr nepieciešama.



34. Deluviālās nogāzes veidošanās shēma:

AA — nogāzes sākotnējā forma, BB — deluviālās nogāzes forma.

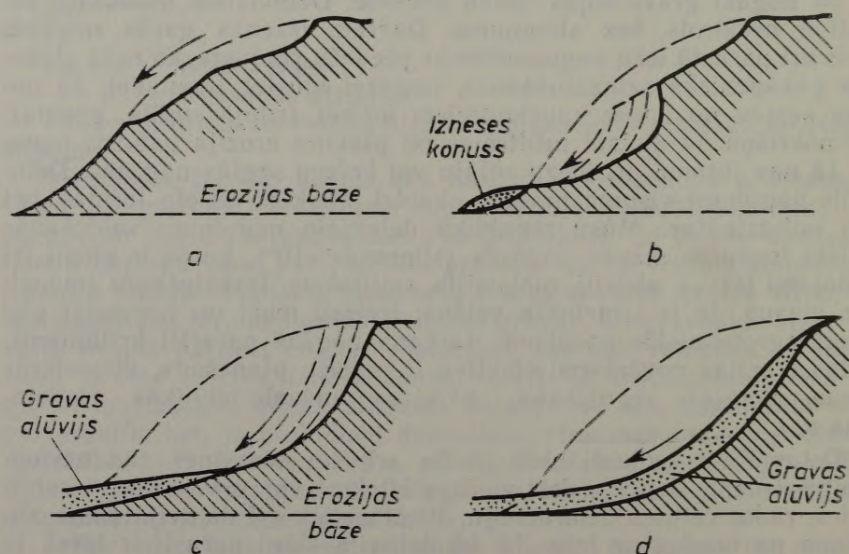
Latvijā deluviālie procesi un to izraisītā augšņu erozija visvairāk attīstīta Cēsu, Madonas, Alūksnes, Krāslavas un Rēzeknes rajonu paugurainīu reljefā, tāpēc tur jālieto pareiza preterozijas pasākumu sistēma. Gada laikā no tīruma var noskaloties 1 cm bieza augšnes virskārta (900 m³ visauglīgākās trūdzemes no 1 ha; pēc R. Stalbova).

Augsto kalnu rajonos iežu fiziskās dēdēšanas produkti — akmeņi, šķembas, zvīrgzdi un citi smalkie materiāli — smaguma spēka iespaidā pārvietojas, veidojot tā saukto *kolūviju* (gravitācijas nogulumi).

Gravu veidošanās. Liela nokrišņu ūdens masa, plūstot pa nogāzi, vispirms veido nelielus strautiņus. Stāva nogāze un liels straumes ātrums jau darbojas kā spēcīgs erozijas faktors, un no maziem strautiņiem izveidojas nelielas vadziņas, kas ar laiku pārvēršas nelielās gravās, — sākas gravu veidošanās process. Šajā procesā izšķir četras stadijas (35. att.).

○ *Sākotnējā stadija* — atmosfēras nokrišņi nogāzes slīpuma virzienā izskalo nelielas dažus desmitus centimetru dziļas (20—40 cm), taisnas vai likumotas vadziņas.

○ *Aktīvā stadija* — ūdeņu izskalojošās darbības rezultātā vadziņas sāk pārvērsties nelielās gravās, kuras kļūst dziļākas un pagarinās kā uz leju, tā arī pa nogāzi uz augšu līdz iespējamai augšējai nogāzes virsotnei. Gravām kļūstot garākām, veidojas arī sānu atzarojumi, dažviet ar stāvām, brūkošām kraujām. Gravas lejas daļā veidojas erodēto materiālu iznēsu konusi. Gravas iegraušanās dziļumā turpinās, līdz tā sasniedz upes, ezera vai jūras līmeni, kur dziļāk vairs



35. Gravu veidošanās stadijas:

a — sākotnējā stadija, b — aktīvā stadija, c — erozijas stadija, d — atmiršanas stadija

neiegraužas. Šo līmeni sauc par *gravas erozijas bāzi*. Augošās gravās ar laiku izveidojas savs no nogāžu formas neatkarīgs izliekts dibenu garenprofils:

○ *Erozijas stabilizācijas stadija* — gravas vairs neerodējas dziļumā un sāk izgulsnēties ar ūdeni nestās iežu daļiņas — veidojas *gravu alūvijs*. Turpinās sānu erozijas procesi gravas nogāzēs, kur veidojas nobrukumi, noslīdeņi. Nogāzes kļūst slīpas, un paplašinās gravas šķērsprofils.

○ *Atmiršanas stadija* — gravas garenprofils sasniedz līdzsvara stāvokli un dibenu klāj gravu alūvijs un delūvijs. Nogāzes kļūst vēl lēzenākas un izlīdzinātākas, pamazām apaug ar zāli un krūmiem. Ukrainā šādas aizaugušas gravas ar U-veida profilu sauc par sengravām (balkām):

Gravu veidošanos un attīstību veicina šādi faktori:

- paugurains reljefs ar stāvām nogāzēm,
- Zemes virspusē vāji saistītie mazcaurlaidīgie aleirītu ieži (less, lesveidīgs smilšmāls),
- veģetācijas trūkums,
- cilvēku nepareizā saimnieciskā darbība (mežu un krūmu izciršana stāvās nogāzēs un uz ūdensšķirtnēm, nepareiza aršana u. c.).

Gravas veidošanās procesā svarīga nozīme ir arī rajona hidroģeoloģiskai uzbūvei un klimatiskiem faktoriem. Ja grava, iegraužoties dziļumā, sasniedz pazemes ūdeni, tad nogāzēs parādās avoti un gultnēs izveidojas pastāvīgas ūdens plūsmas strauti, kas pastiprina gravas veidošanās ātrumu. Atkarībā no fiziski ģeogrāfiskiem apstākļiem (ģeoloģiskās uzbūves, vietas augstuma, augu valsts) izveidojas dažāda gravu morfoloģija. Gravu garums var sasniegt 60 km, to dziļums — 5—100 m, veidošanās ātrums — no dažiem desmitiem centimetru līdz 40 metriem gadā. Gravas visvairāk izplatītas meža stepju un stepju zonā, it sevišķi starp Dņepru un Donu, Pievolgā, Kurskas, Orlas, Belgorodas rajonos, Ziemeļkaukāzā u. c. Gravu tīkla veidošanās izsauc lauksaimniecības zemju kopplatības samazināšanos, tiek izpostīti arī ceļi, ēkas, tiltu balsti, piemēram, Kijevā, Harkovā u. c. Dažreiz intensīvas gravu akumulācijas darbības rezultātā iznesu konusi aizsprosto gultnes, kas veicina pļavu, lauku, ciematu appludināšanu.

Latvijā gravas galvenokārt izveidojušās upju ielejās ar dziļiem un stāviem krastiem. Visvairāk šādu gravu ir Gaujas baseinā smilšakmens iežu stāvos senleju krastos, piemēram, pie Cēsīm, Virešiem, Amatas, Vaives upītes. Gravas sastopamas paugurainēs, kur dažreiz tās radušās nepareizas cilvēku saimnieciskās darbības rezultātā, piemēram, Dundagas pacēlumā u. c. Kaut arī Latvijā ir paugurains reljefs, gravu erozijas process ir maz izplatīts, jo ir labi attīstīti pļavu augi, kas veido ciešu velēnu, samērā blīvi ieži (morēnas), kā arī nav izcirsti krūmi un meži.

Gravu rašanās apkarošanas pasākumiem pieder mežu, krūmu un daudzgadīgo zālāju iesēšana gravu nogāzēs un uz ūdens šķirtnēm, pareiza augsekas izvēle, pareiza augsnes apstrādāšana. Nogāzēs nedrīkst ganīt lopus un ierīkot karjerus. Dažreiz jāveic inženiertehniskie

pasākumi ūdens ārdošās darbības apturēšanai — gravas sākotnējās gultnes nostiprināšana, aizsprostu ierīkošana, lai pamazinātu tekošā ūdens iedarbības spēku. Nogāzes var arī pārklāt ar pinumiem vai veikt citus preterozijas pasākumus.

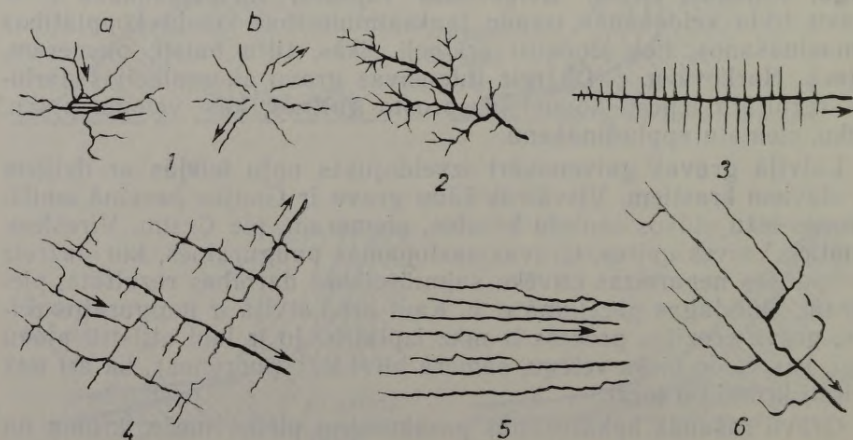
Upju ģeoloģiskā darbība

Par upēm sauc straumes, kas tek pašu iegrauztās gultnēs un savāc sava baseina noteces ūdeņus. Upes savā tecējumā veic lielu ģeoloģisku darbu, izveido raksturīgu upes ieleju, padziļina to, izskalo krastus, pārnēs, šķīdina un šķiro iežu daļiņas, kuras pēc tam nogulsņējas.

Upju ūdeņiem ir milzīga tautsaimnieciska nozīme, jo tos izmanto hidroenerģētikā (Daugavas kaskāde), pilsētu ūdens apgādē, kuģniecībā, zvejā, irigācijā u. c. Bez tam upju nogulumi mēslo augsnes un nonivilē Zemes virsmu.

Latvijas morēnu pauguraiņu reljefs, ģeoloģiskā uzbūve un humīdais klimats veicinājis plašu upju tīklu izveidošanos ar raksturīgām fluviālām reljefa formām. Latvijā vien ir vairāk nekā 12 tūkstoši upju, kuru kopgarums pārsniedz 38 tūkstošus kilometru. Upes aizņem 5% Zemes virsas. Līdz ar erozijas procesu pastiprināšanos katra upe nepārtraukti padziļina un paplašina savu ieleju un palielina ūdens savākšanas baseinu.

Savā starpā saistītas pastāvīgas, sazarotas tekošo ūdeņu plūsmas veido atsevišķas upju sistēmas. Vairāku upju sistēmas, kas drenē kādu teritoriju, veido *hidrogrāfisko tīklu* (36. att.). Tīkla biežību raksturo visu upju garuma summas (km) attiecība pret teritoriju (km^2), no kuras šīs upes savāc ūdeni — *ūdēns baseinu*. Ūdens ba-



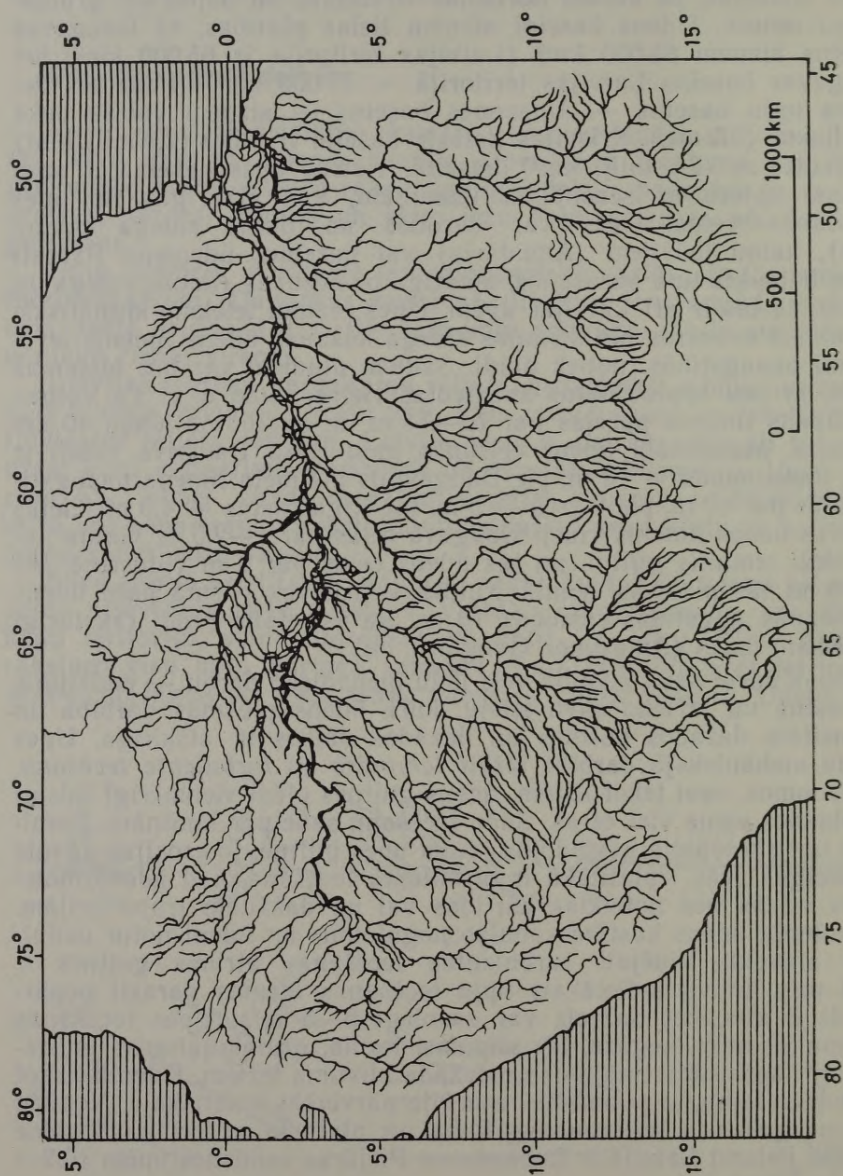
36. Upju tīklu sistēmas tipi:

1 — radiālais (a — centrālās, b — centrālās), 2 — kokveida, 3 — spalvveida, 4 — režģveida, 5 — paralēlais, 6 — taisnstūrveida.

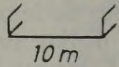
seina nosaukumu veido pēc galvenās upes nosaukuma. Ūdens baseinus citu no cita atdala *ūdensšķirtnes*, kas ir hipsometriski augstākās vietas starp upju iztekām. Upes baseinos ir stipri sazarotas ieleju sistēmas, pa kurām norisinās virszemes un daļēji arī gruntsūdeņu notece. Ūdens baseini aizņem lielas platības, tā Daugavas baseins aizņem 85 000 km² (Latvijas teritorija ir 65 000 km², bet Daugavas baseins Latvijas teritorijā — 17 000 km²). Pasaules lielākais upju baseins — Amazones baseins — aizņem vairāk nekā 7 milj. km² (37. att.). Krievijas lielākie baseini ir Obas (2,9 milj. km²) un Jeņisejas (2,6 milj. km²) baseini. Katras upes baseinā ir savs režīms, notece ar sezonālām izmaiņām, kas atkarīgas no upes barošanās veida. Upes var baroties no lietūs, sniega (kalnu upes), kalnu ledājiem (Amudarja) vai pazemes ūdeņiem. Parasti upēm ir jaukta tipa barošanās, atkarīga no sezonas (lietūs, sniega un ledus), tā tas ir arī Latvijas upēm. Upes režīmu ietekmē klimatiskie apstākļi. Pavasaros pēc straujas sniega kušanas ūdens līmenis ievērojami paaugstinās, notiek plūdi. Šādiem plūdiem var būt bīstamas sekas, ja tiek applūdinātas apdzīvotas vietas, lauki u. c. Tā Volgas upē ūdens līmenis paceļas par 10—14 m un applūšina ieleju 40 km platumā. Maksimālā ūdens celšanās palu laikā Daugavā vidēji ir 4 m, maksimums — 14 m, pie Daugavpils atzīmēta līmeņa paaugstināšanās par 10 m, pie Ogres — 8 m, pie Rīgas ostas — 4,5 m. Lielās lietavās ūdens līmenis vidēji Daugavā ceļas par 1—2,5 m. Gauja palos bieži izmaina gultni, un tās ūdens ceļas par 3 m vidustecē, bet par 5 m tās pietekās. Ventā Kuldīgas—Ābavas posmā palu ūdens paceļšanās augstums sasniedz 10 m. Katastrofālie plūdi raksturīgi tropiskām upēm (Amazonai, Gangai u. c.).

Upes ūdeņi savā kustībā veic lielu mehānisko darbu — padziļina, paplašina un izveido savu ieleju, kurā ūdens plūsmas darbība un intensitāte dažādos posmos un dažādos laikos ir atšķirīga. Upes ūdeņu mehāniskajā darbībā izšķir *lamināro* un *turbulento tecēšanu*. Līdzenumos, upei tekot lēnām, ūdens gultnēs plūst vienmērīgi līdzīgi kā plaknes viena virs otras. Šādu tecēšanu sauc par lamināro. Laminārā upes tecējumā neveidojas jauna upes gultne, jo erozijas agents ir niecīgs. Upēs izplatītākā ir turbulentā tecēšana, kad ūdens molekulas virzās bez noteiktas kārtības vai pa dažādām trajektorijām. Turbulenta ūdens kustība sadalīta nogulumus un ūdeni notur uzduļķotā stāvoklī. Vidējais turbulentās tecēšanas ātrums gultnēs ir 1—3 m/s. Latvijas lielākais upju tecēšanas ātrums parasti nepārsniedz 3 m/s, bet dažreiz var sasniegt 5—6 m/s. Upes tecēšanas ātrumu iespaido nogāze, tās slīpums, forma, grumbulainums un daļēji arī ūdens piesātinājums ar dažāda blīvuma iežiem. Ūdenim tekot pa nogāzi lejup, tā potenciālā enerģija pārvēršas kinētiskajā. Nogāžu lielumu raksturo krituma augstuma un platuma attiecība. Mazākie nogāžu lielumi Latvijā ir Lubānas un Piejūras zemienes upēm (0,2—2 m uz 1 km).

Gultnes un krasta nelīdzenumi rada berzi, turbulentu ūdens kustību, izraisa ātruma samazināšanos. Berzes lielums proporcionāls nelīdzeno sienu un gultnes izmēriem. Vismazākā berze ir pusapaļām



37. Pasaules lielākās upes Amazones kokveida upju tīkls.

Forma	Šķērs- griezuma laukums	Gultnes perimetrs ūdens un gultnes saskares vietā
Taisnstūrveida 	10 m ²	12 m
Kvadrātveida 	10 m ²	9,5 m
Pusapļveida r = 2,5 m 	10 m ²	7,9 m

38. Upes gultnes formas

gultnēm, jo tām salīdzinājumā ar citām gultnes formām ir mazāks laukums, kas pretojas tecēšanai (38. att.). Lielākai daļai upju ir šāds pusapaļš šķērsgriezums. Ūdens tecēšanas ātrumu iespaido arī upes gultnes materiāls, jo granšainā materiālā ir lielāka berze nekā smilšainā. Upes ūdeņu erozijas darbībā izšķir vairākus procesus, kas plūstošā ūdenī darbojas vienlaicīgi.

Mehāniskā darbība jeb **ūdens abrazīvā darbība** noris galvenokārt gultnēs ar nogulumiežu pamatni. Par abrāzijas vājo intensitāti liecina tas, ka upes grunts aizaugusi ar ūdens augiem, sūnām u. tml. Turpretī kalnu upēs un lielās straumēs augu nav, jo tekošie ūdeņi veic lielu erozijas darbu un padziļina gultni pat cietos iežos. Ūdens abrāzijas intensitāte ir proporcionāla tecēšanas ātruma kvadrātam. Bez tam ūdens savā kustībā var izsviest un pārnest iežu materiālu ar spiediena spēka palīdzību (hidrauliskā darbība). Visi upju ūdeņi satur izšķīdušas minerālvielas (sevišķi labi šķīst sulfāti un karbonāti). Ūdeņi, kas plūst purvainos apvidos, satur organiskās skābes. Ir aprēķināts, ka gadā ar upēm aizskalojas 5 milj. tonnu cieto iežu. Nozīmīgs faktors ir upēs ieplūstošie gruntsūdeņi, kas bagāti ar izšķīdušiem iežu komponentiem.

Iežu materiāla pārvietošana. Upes vienmēr transportē nogulumus — rupjie slīd vai lēcieniem virzās pa gultni, bet mālainie, puteklainie un smiltis tiek pārnestas uzduļķotā vai izšķīdušā stāvoklī. Rupjākie nogulumi parasti virzās pa gultnes dibenu, bet smalkākais materiāls vienmērīgi sadalījies visā ūdens slānī. Materiālam nogulsējoties, svarīga nozīme ir tā izmēriem, blīvumam, šķiduma viskozitātei. Drupu ieži (rupjgraudaina smiltis) ātri nogulsņējas un reti pārvietojas uzduļķotā stāvoklī. Smiltis kustas pa dibenu, aizķeroties aiz citiem tāda paša izmēra graudiem, to pārvietošanās ātrums ir apmēram puse no straumes ātruma. Lai ar straumi pārnestu granti,

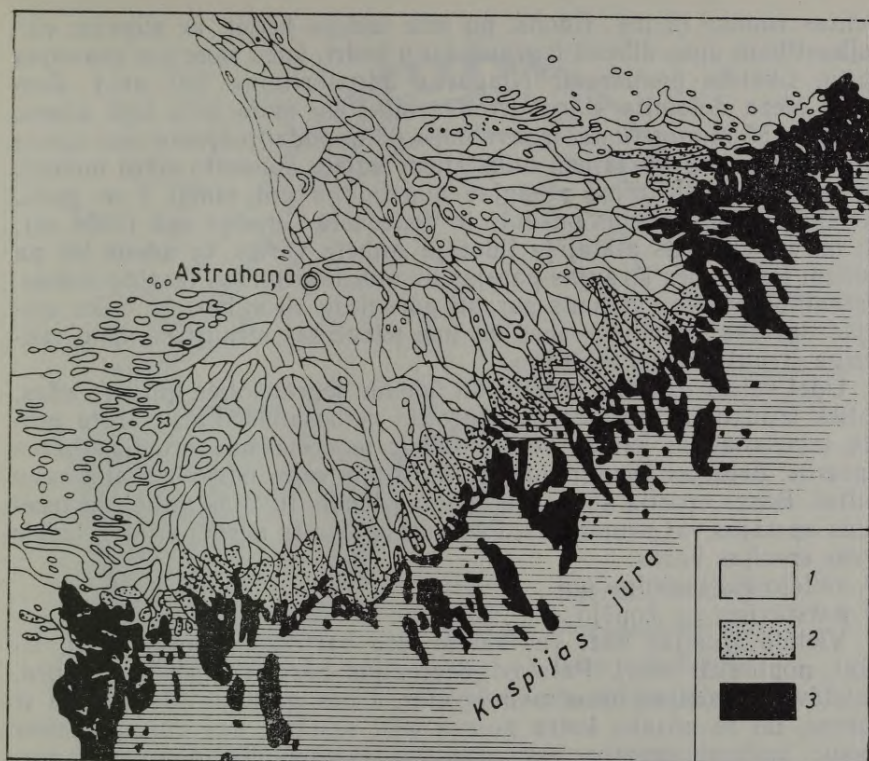
straumes ātrumam jābūt apmēram 15 cm/s. Sikākās daļiņas (smalkgraudaina smilts, aleirīti, māli) parasti pārvietojas uzduļķotā stāvoklī ar to pašu ātrumu kā ūdens. Visi upju ģeoloģiskās darbības veidi ir cieši saistīti, un tāpēc erozijas un akumulācijas procesi noris vienlaicīgi. Rezultātā Zemes virsma nonivilejas un jūrās tiek ienests un izgulsnējas daudz iežu. Pēc G. Lopatina datiem, ik gadu upes ievada okeānā 12,695 milj. tonnu minerālo duļķu suspensijas, 1000 milj. tonnu pārveltā materiāla un 4869 milj. tonnu izšķīduša materiāla. Nelielās kalnu upes, piemēram, Tereka, Kūra, bieži vien nes vairāk drupu materiāla nekā lielās līdzenumu upes Volga, Dona, Dņepra u. c. Visvairāk iežu materiāla upes pārvieto palu laikā.

Samazinoties straumes ātrumam, tai ieplūstot ūdens baseinā ar mierīgiem ūdeņiem — ezeros, jūrās vai okeānos —, sākas drupu materiāla nogulsņēšanās. Ja šie nogulumi nesajaucas ar piekrastes vai citiem iežiem, tie veido deltu ar tās nogulumiem, kurā sastopamas visu aluviālo fāciju nogulas. Upju deltās norisinās visintensīvākā iežu akumulācija mūsu planētā. To izveidotā forma atgādina grieķu burtu Δ (delta). Deltu nogulumos vispirms nogulsnējas rupjgraudainākais materiāls, bet aleirīti un māli tiek aiznesti un nogulsnēti tālāk. Upju transportētais materiāls, ieplūstot jūrā, sākumā cenšas noturēties virs jūras ūdeņiem, līdz beidzot sajaucas ar tiem. Deltās izšķir virsējos deltu nogulumus, kas paceļas virs ūdens līmeņa un veido virsūdens palieņu nogulumus. Virsūdens deltu aluviālie nogulumi pārklāj milzīgas platības; Huanhē deltu platība kopā ar zemūdens deltu nogulumiem ir 500 000 km², Misisipi — 180 000 km², Ļena — 45 000 km², Volga — 18 000 km². Deltas platības katru gadu palielinās. Volgas deltas platība katru gadu vidēji par 170 m ievirzās Kaspijas jūrā (39. att.). Azerbaidžānā visvairāk pieaug Kūras upes delta (300 m gadā), bet pasaulē — Misisipi (350 m) un Huanhē (1100 m). Ķīnā Huanhē upe izveidojusi plašu aluviālo līdzenumu, kur gar upes gultni izveidojušies augsti sanesumu vaļņi. Tie tika nostiprināti ar izturīgiem dambjiem, lai plūdos nepārrautu, neapplūdinātu plašus apgabalus un nenodarītu zaudējumus lauksaimniecībā. Bez lauksaimnieciskās nozīmes deltām ir svarīga nozīme arī zivsaimniecībā un putnkopībā.

Deltām ir raksturīgi trīs tipu slāņojumi:

- palieņu nogulumi deltas virspusē, kas pārsedz apakšējos deltas slāņus;
- zemūdens nestais iežu materiāls, kas nogulsnējas deltas priekšējā daļā līdz tai vietai, kur veidojas stāva nogāze,
- deltas nogāžu materiāls.

Deltu apakšējie nogulumi parasti sastāv no smalkas smilts, aleirīta un māla daļiņām. Upes iznes arī iežus suspendētā stāvoklī, kuri nogulsnējas pie deltas frontālās robežas. Tur nogulsnējas arī Fe, Al un organiskās vielas saturošās koloidālās daļiņas. Sakarā ar uzplūdiem un atplūdiem, kā arī sezonālām norisēm var izmainīties deltas forma, nogulumu sastāvs pat desmitiem kilometru no upes grīvas. Plašākas deltas izveidošanos veicina sauszemes celšanās, bet lēna iegrimšana — tās biežuma palielināšanos līdz vairākiem simtiem



39. Volgas delta ar tās pieaugumiem (pēc M. Kļeņovas):
deltas mala: 1 — 1873. g., 2 — 1927. g., 3 — 1945. g.

metru, bet strauja grimšana — pat līdz 1 km un vairāk. Dažreiz iegrimšana ir lielāka, nekā spēj izveidoties delta, tāpēc virs tās veidojas jūras kaļķakmeņi. Iegrimstot plašiem apgabaliem, upes grīvas rajonā izveidojas *estuāriji* — plaši piltuvveida liči, kuros novērojami upju gultņu turpinājumi zem jūras līmeņa (Reina, Amazone, Oba, Jeņiseja, Temza u. c.). Gandrīz puse no visām pasaules upēm okeānos ieplūst estuārijos. Bez deltu konusiem var būt arī aluviālie upju nogulumu konusi, kuri veidojas, ja upe ar lielu nogulumu materiālu no šauras kalnu ielejas izplūst līdzenumos. Tur dažreiz veidojas arī *sausās deltas*, jo ūdeņi arīdā klimatā izsīkst, piemēram, Vidusāzijas upe Soha.

Upju erodējošā darbība. Izšķir divus upes erozijas veidus:

- dziļuma erozija — padziļinās upes gultne;
- sānu erozija — tiek izskaloti upes krasti.

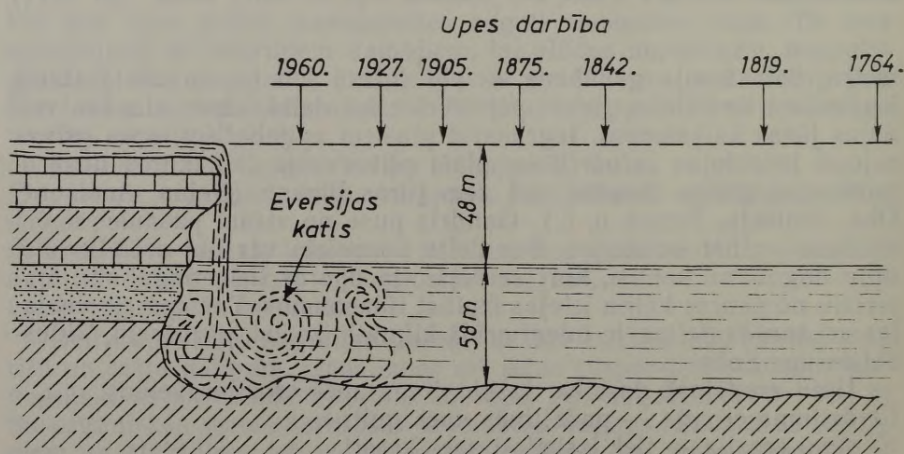
Upes sākuma stadijās parasti veidojas dziļuma erozija. Vietās, kur upes gultne pāriet no cieta ieža mikstākā, veidojas *ūdenskritums*. Latvijā tie parasti ir no dolomīta uz smilšainiem iežiem, piemēram,

Ventas rumba (2 m). Ūdens, no ieža izciļņa krītot, ar stiprām virpuļkustībām upes dibenā izgauz dzīlu bedri, kuru sauc par *eversijas katlu*. Lielisks piemērs ir Niagāras ūdenskritums (40. att.). Zem 25 m bieza dolomīta slāņa atrodas mīkstāki māla ieži; tajā ūdens, krītot no 55 m augstuma, ir izveidojis 65 m padziļinājumu zem ūdens līmeņa. Zem iegrauztajiem mīkstajiem iežiem dolomītu slāņi nobrūk, un tāpēc ūdenskritums atkāpjas augšup pa upi vidēji 1 m gadā. Lielākais ūdenskritums pasaulē ir Venecuēlā Čironas upē (1054 m), un tas ir nosaukts atklājēja lidotāja Anhela vārdā. Ja ūdens tek pa cietiem iežiem bez straujas pārejas uz mīkstākiem, tas izveido *krāces*. Krācainos posmos kritums parasti pārsniedz 10 m/km. Ar laiku erozijas darbība iznīcina krāces un upe pārvēršas straujtecē, kam raksturīga strauja ūdens tecēšana.

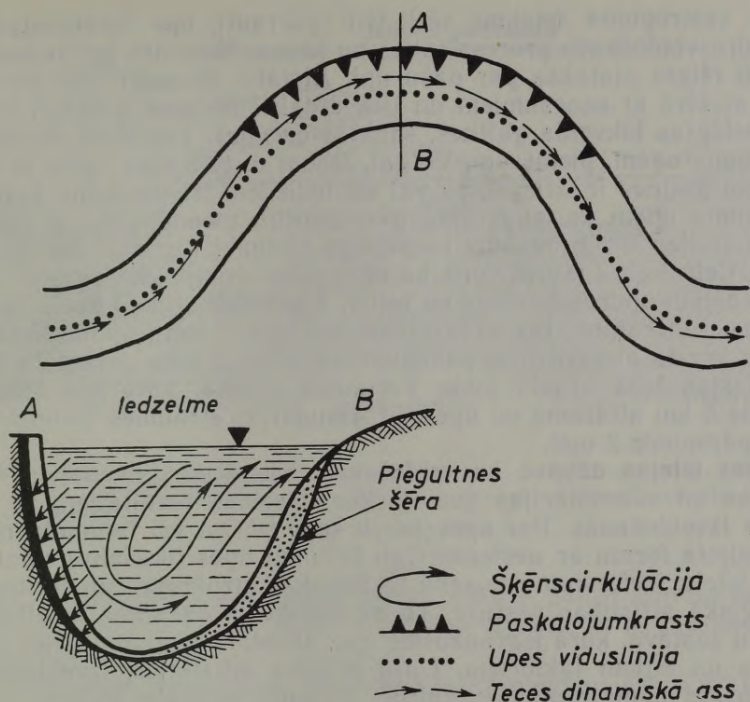
Upei veicot dziļuma eroziju un ūdenim iegrauzoties gultnes iežos, notiek izlīdzināta gultnes garenprofila veidošanās. Līdzsvarota profila iegūšanai un ielejas veidošanai ir nepieciešama erozijas bāzes izpratne. *Erozijas bāze* ir līmenis, kurā upe vairs nevar izskalot savu gultni. Bāzes erozija sākas, ja krituma leņķis tuvojas nullei un tecējums apstājas vai samazinās. Pēc tam upe vairs nespēj erodēt. Izšķir divas erozijas bāzes:

- vietējo vai mainīgo un
- patstāvīgo vai kopējo.

Vietējo erozijas bāzi var veidot iežu barjeras, ūdenskritumi, izciļņi, noplūduši ezeri. Patstāvīgā erozijas bāze ir upes ietece jūrā. Patstāvīgā erozijas bāze mainās maz. Upes garenprofils parasti ir garens, un to nosaka katra posma iežu sastāvs, kas dažos posmos izsauc dziļuma eroziju, bet citur var rasties iežu nogulsnešanās. Upes straumes ātrums dažādos posmos ir atšķirīgs un atkarīgs no



40. Niagāras ūdenskritums. Niagāras ūdenskrituma atkāpšanās pēdējos 280 gados (pēc Gilberta).



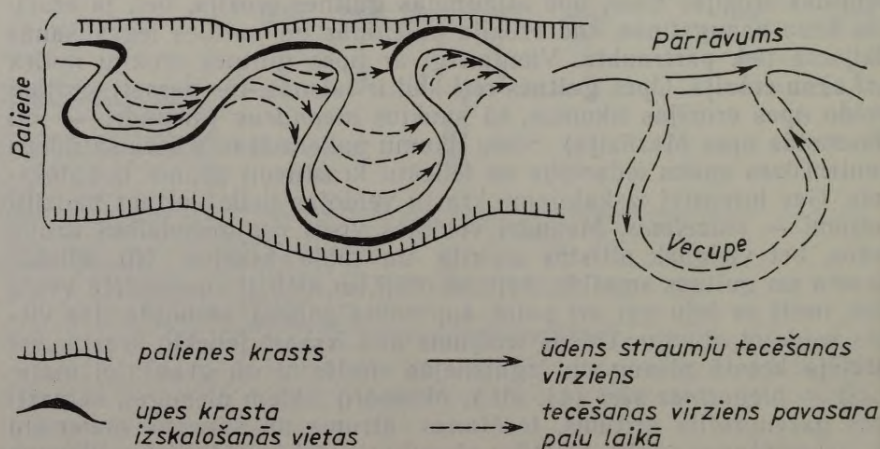
41. Meandrējošas upes ūdens cirkulācija un šēras veidošanās.

vietējām erozijas bāzēm. Upes ģeoloģiskās darbības raksturu stipri iespaido erozijas bāzes izmaiņas. Ja tektonisko kustību rezultātā pazeminās erozijas bāze, upē atjaunojas gultnes erozija, bet, ja erozijas bāze paaugstinās, tad erozija palēninās un gultnes iegraušanas dziļumā tiek pārtraukta. Vienlaicīgi ar upes gultnes eroziju notiek arī sānu erozija. Upes gultnes reti kad ir taisnas, tās parasti sērijām veido upes erozijas likumus, tā sauktos *meandrus* (meandri — ļoti likumotas upes Mazāzijā). Šādu likumu palielināšanos izraisa ūdens centrālās spēku iedarbība uz ieliektu krastu un grunts izskalošanās. Gar intensīvi izskalojamo krastu veidojas lieli gultnes padziļinājumi — *iedzelmes*. Meandri veidojas visos rupjgraudainos drupu iežos, bet vislabāk attīstās aleirīta un māla krastos. No ieliekta krasta un gultnes smalkās daļiņas māli un aleirīti suspendētā veidā tiek nesti uz leju vai arī palos applūšina palieni, akumulācijas vietās veidojot alūvijū. Ūdens tecējums ātri izskalo ieliektu krastu, bet pretējā krastā pieaug un izgulsnējas smilšaini un granšaini materiāli — *piegultnes sēri* (41. att.). Meandru lokiem pieaugot, samazinās garenprofila kritums, tecēšanas ātrums un sanesto materiālu transportēšanas spēja. Ar laiku piegultnes sēri izveido lielus likumus (42. att.), kurus vienu no otra atdala šauras joslas. Palu ūdeņu vai

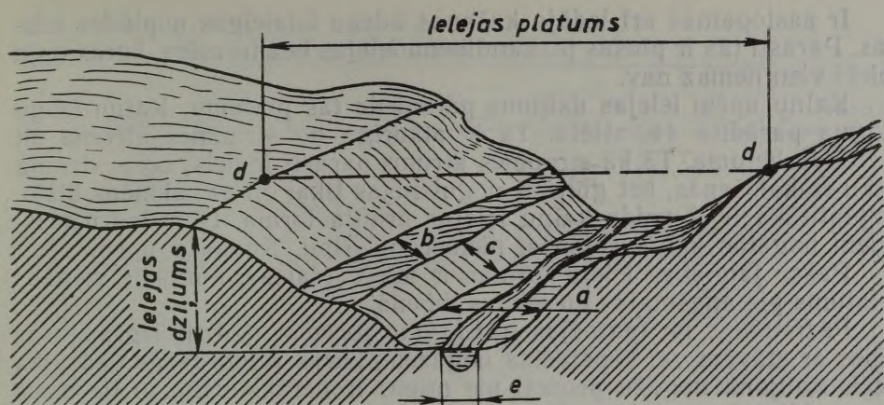
ledus sastrēguma ietekmē sēri tiek pārrauti, upe iztaisnojas un meandru veidošanās process sākas no jauna. Meandru joslas var būt pat 18 reizes platākas par pašu upi. Atstātie meandru loki pakāpeniski aizsērē ar sanesumiem un tiek atdalīti no upes gultnes, veidojot noslēgtas lokveida gultnes, sauktās *vecupes*. Tās bieži izveidojas līdzenuma upēm, piemēram, Volgai, Donai u. c. Kalnu upēm ar lielu kritumu gultnes ir iztaisnotas vai arī nelieliem izliekumiem. Turpretī līdzenuma upēm ar izlīdzinātu garenprofilu meandri ir ļoti raksturīgi. Latvijas upēs meandri raksturīgi Lielupei un īpaši tās pieteku upēm. Celtniecībā jāņem vērā, ka upju sānu erozija var izskalot krasus, tādējādi apdraudot ēkas un ceļus. Aizsardzībai lieto dzelzsbetona plātnes, uzbērumus; tas sadārdzina šo objektu celtniecību. Neskatoties uz krasta aizsardzības pasākumiem, 1950. g. tika noskalota plata Amudarjas labā krasta josla Turtkulas pilsētā, kura vēl 1927. g. atradās 5 km attālumā no upes, jo Amudarjas straumes ātrums palu laikā pārsniedz 2 m/s.

Upes ielejas uzbūve un veidošanās. Viens no galvenajiem upes erozijas un akumulācijas ģeoloģiskās darbības rezultātiem ir upes ielejas izveidošanās. Par *upes ieleju* sauc taisnu vai likumotu negatīvu reljefa formu ar nevienmērīgu kritumu upes tecēšanas virzienā. Upes ieleju izvietojumu nosaka tektoniskās struktūras un teritorijas ģeoloģiskā attīstības vēsture. To morfoloģiskā dažādība ir atkarīga no iežu sastāva, kurā iegrauzusies upe, absolūtā augstuma virs jūras līmeņa un citiem faktoriem. Upju ielejām attīstoties, izveidojas to raksturīgie pamatelementi: gultne, paliene, virspalu terases un to nogāzes, ielejas pamatkrasta nogāze (43. att.). Visvienkāršākā upes ieleja sastāv tikai no gultnes un palienes ar ielejas nogāzi.

Pasaulē lielākā daļa upju ieleju ir sarežģīti poliģenētiskās formas veidojumi, kas radušies daudzu faktoru ietekmē. Ielejas klasificē ne tikai pēc morfoloģijas, bet arī pēc to izveidošanās, litoloģiskās struk-



42. Meandrējošas upes gultnes iztaisnošanās un vecupes veidošanās.



43. Shematiska upes ielejas blokdiagramma:

a — palīene, *b* — virspalu terase, *c* — terases nogāze, *d* — ielejas augšmala (šķautne), *e* — upes gultne.

tūras, vecuma utt. Upes ielejas formu analīze palīdz izprast to izveidošanās vēsturi. Ielejas uzbūvē svarīga nozīme ir to *platumam* un *dziļumam*.

Līdzenuma upju ielejas platums var sasniegt vairākus 10 km, bet dziļums nepārsniedz 100—300 m, piemēram, Volgas ielejas platums sasniedz 120 kilometrus. Līdzenuma upēm ir svarīga nozīme lauksaimniecībā, jo to palienēs, dažādās palieņu augsnēs parasti audzē dārzeņus un ierīko kultivētas ganības.

Latvijas lielākās upju ielejas ir samērā jaunas, jo tās izveidojušās galvenokārt pēdējā apledojuma atkāpšanās (*deglaciācijas*) apstākļos. Līdzenumus un pauguraines bieži šķērso dziļas un platās ielejas, kuras stipri izmaina ūdens režīmu un līdz ar to rada augšnes dažādību. Liela daļa šo plato ieleju ir poligēnētiskas reljefa formas, ko veidojuši ledāja kušanas un lielo baseinu noplūšanas ūdeņi vai arī pēcdeduslaikmeta atmosfēras un gruntsūdeņu noplūšana.

Latvijā bieži sastopamas pieledāja baseina ūdeņu pārrāvumu ielejas. Tās ir no 2 līdz 5 km platas, līdz 80 m dziļas terasētas ielejas, kuras veidojušās, augstākām pieledāja ūdenstilpēm noplūstot uz zemākām. Parasti pa šīm plašajām ielejām tek pēcdeduslaikmeta upes. Piemēram, pa Abavas—Slocenes ieleju tek Abava, pa Salacas ieleju — Salaca u. c.

Sastopamas arī pieledāja baseina upju pieteku ielejas, kuras ir terasētas, 2—4 km platas, bet tikai 20—40 m dziļas. Tās veidojuši kušanas ūdeņi un nokrišņi, ledājam atkāpjoties. Tā, piemēram, pa šādām ielejām plūst Lielā un Mazā Jugla.

Lielās upju ielejas, kuras sastopamas arī paugurainēs, ir izveidojuši ledāja kušanas ūdeņi, plūstot uz zemienēm, piemēram, Raunas, Amatas, Tebras ielejas.

Ir sastopamas arī ledāja kušanas ūdeņu īslaicīgas noplūdes ielejas. Parasti tās ir plašas plakandibena ielejas bez terasēm, kurās upju bieži vien nemaz nav.

Kalnu upēm ielejas dziļums pārsniedz tās platumu. Kalnu ieleju forma parādīta 44. attēlā. Tā ir atkarīga no straumes ātruma un krituma lieluma. Tā kā straumes ātrums parasti ir liels, noris strauja iežu izskalošanās, bet gultnēs nogulsņējas tikai oļi vai akmens blāķi. Izplatītākā ir V veida kalnu ielejas profila forma, tā rodas nokrišņiem bagātos kalnu rajonos, piemēram, Alpu, Kaukāza upēm.

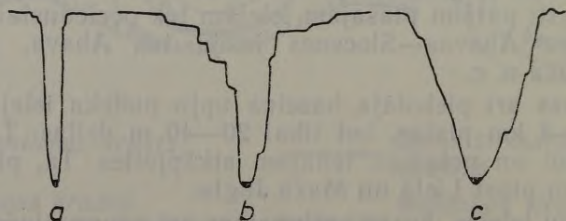
Pašas jaunākās ieleju formas ir ieleju plaisas, kurās ir vienāds platums pie augšmalas un ielejas dibenā.

Pazīstamas un īpatnējas ir *kanjona formas* — dziļi iegrauzušās upes ar stāvām vai kāpšļveida nogāzēm, kuras veido dažāda sastāva ieži. Kanjona nogāžu procesi pie mums ir neraksturīgi, jo tie noris sausa klimata apstākļos. Pasaulē pazīstams ir Lielais Kolorādo upes kanjons Amerikas Savienotajās Valstīs, kas sasniedz 2 km dziļumu.

Par upes gultni sauc padziļinājumu, ieplaku, pa kuru plūst ūdens.

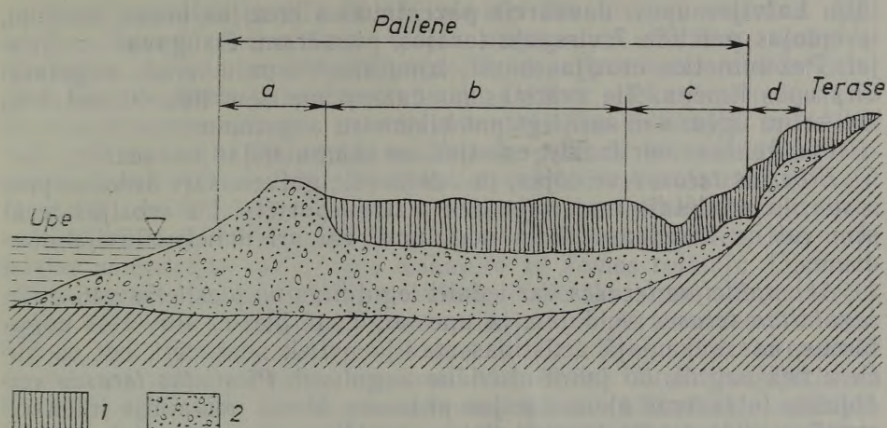
Par *palieni* sauc upes ielejas daļu, ko applūšina palu ūdeņi un kuru veido aluviālie palu nogulumi. Palu ūdeņi daudzveidīgi ietekmē arī augšņu veidošanos palienē. Latvijas upēm palienes sastopamas gandrīz gar visām upes ielejām. Platākās palienes ir Daugavas un Lielupes lejteces — vairākus kilometrus platas. Paliēņu uzbūvē ir trīs morfoloģiski atšķirīgas daļas: piegultnes, centrālā un pietērases paliene (45. att.). Šīs paliēņu daļas nav vienādi izveidotas visām upju ielejām. Tās ir atkarīgas no erozijas un akumulācijas procesiem. Sevišķi meandrējošās upes bieži izmaina šīs paliēņu daļas.

Piegultnes paliene ir šaurākā josla, kas pieguļ upei, un tās platums nav liels. Palu laikā lielākais ūdens straumju ātrums ir pamatgultnes dziļākos slāņos. Gar gultnes malām, kur ātrā straume sastopas ar iežiem un virsūdeņiem, straumes ātrums samazinās un nogulsņējas smilšains, grānšains materiāls — izveidojas tā saucamais piegultnes valnis, kas ir robeža starp upes gultni un palieni, un tā augstums parasti nepārsniedz 2 metrus. Mazākos palos šis valnis novērš palienes pārplūšanu (upes iziešanu no krastiem).



44. Kalnu upes ielejas uzbūve:

a — ielejas plaissa, b — kanjons, c — aiza.



45. Paliene šķērsgriezums:

a — plegultnes paliene ar virspalu valnīti, *b* — centrālā paliene, *c* — pieterases paliene, *d* — terases nogāze;
 1 — paliene fācijas nogulumu, 2 — gultnes fācijas nogulumu.

Centrālā paliene ir lielākā paliene daļa. Tās virsma ir līdzena, bet dažreiz paliene centrālajā daļā atrodas daudz vecupju, kuras aizņem lielu tās daļu. Palu aluviālie nogulumu nogulsņējas galvenokārt centrālajā palienē. Nogulumu uzbūve tur stipri atšķiras no iežu materiāla, kāds tiek nests palu laikā. Piemēram, Lielupes palu ūdeņi ir stipri mālaini (brūni), un palienē nogulsņējas auglīgs mālains materiāls. Citur sastopami mazauglīgi mežu smilšaino materiālu palu nogulumu, kuros maz augiem vajadzīgo barības elementu.

Pieterases paliene parasti ir paliēņu zemākā josla, kas bieži pārpurvota, jo tajā no nogāzes izplūst nokrišņu ūdeņi vai gruntsūdeņi, tāpēc veidojas mūklāji, dažreiz pat mazas pieterasu upītes.

Senās upju palienes, kuras vairs nepārplūst, veido terases. Kad upe sāk padziļināt savu gultni, veidojas jaunas palienes ar zemāku līmeni. Vecākas terases atrodas tik augstu, ka nekad vairs nepārplūst. Terases var atrasties gan upes vienā krastā, gan arī abos. Terases raksturo to garums, platums un augstums virs upes līmeņa. Terases pieņemts skaitīt no upes līmeņa uz augšu, nevis veidošanās secībā. Līdzenuma upes ielejas var veidot pat 10 virspalu terases, bet kalnu upes — 20. Kalnu upju terases ir šauras. Virspalu terases, tāpat kā palienes, sedz aluviālie nogulumu, zem kuriem iegul pamatieži vai citi nogulumu, kas veido terases pamatu — *cokolu*. Latvijas terasēs bijušo gultņu alūvija biežums sasniedz 6—10 m, retāk 12—14 m, bet mazās upēs — 2—8 metri. Terasu iežu rupjgraudainais materiāls stipri atkarīgs no reģionāliem un vietējiem apstākļiem, ko nosaka litoloģiskais sastāvs un reljefs. Terasu veidošanās procesā galvenā nozīme ir tektoniskajām kustībām, kā arī klimata maiņām un pasaules okeāna līmeņa maiņām. Mainoties erozijas bāzei un rodoties garenprofila pārmaiņām, veidojas jaunas upju terases. Latvijā terases veidojas arī glacioizostācijas procesu rezul-

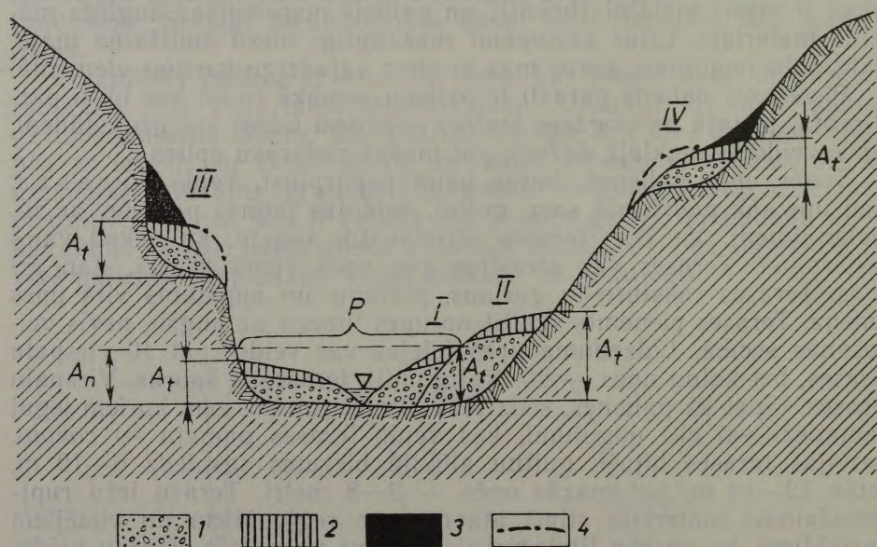
tātā. Latvijas upēs, daudzkārt pazeminoties erozijas bāzes līmenim, izveidojas pat līdz 7 virspalu terases, piemēram, Daugavai un Gaujai. Pazeminoties erozijas bāzei, izmainās virspalu terasu augstumi virs upes līmeņa. Tie svārstās no dažiem metriem līdz 60 metriem, bet kalnu upēm var sasniegt pat kilometru augstumu.

Pēc ģenēzes var izdalīt erozijas un akumulācijas terases.

○ *Erozijas terases* veidojas, ja ūdeņi veic galvenokārt ārdošus procesus un erodētais materiāls tiek aiztransportēts. Uz erozijas terasēm vai nu atsedzas cokola nogulumi, vai arī neliels alūvijs daudzums.

○ *Akumulācijas terases* var iedalīt ieguldītās un pieslietās (46. att.). *Ieguldītās terases* veidojas, ja upe nogulsnē biezus aluviālos nogulumus, kas nākamajā attīstības stadijā netiek noerodēti, bet uz kuriem tiek uzgulsnēti jauni aluviālie nogulumi. *Pieslietas terases* veidojušās intensīvas akumulācijas procesos, kurus nomainīja intensīvi erozijas cikli, vecas terases tiek noerodētas, un, mainoties cikliem, ieleja tiek piepildīta ar jaunākiem akumulācijas materiāliem.

Terases citu no citas atdala *nogāzes*, kuras atšķiras ar savu slīpumu. Tās var būt gan stāvas kraujas (slīpums $>45^\circ$), piemēram, Gaujas ielejas nogāze pie Siguldas, Salacas — pie Skaņā kalna u. c. Parastī terasu nogāzes ir lēzenas. Vecāko terasi no pamatkrasta atdala nogāze, kurā bieži sastopamas gravas, kā tas novērojams Gaujas pieteku upēs u. c. Nogāžu formas var būt *taisnas, ieliektas, izliektas* vai *saliktas*. No nogāžu slīpuma formas un novietojuma pret debespusēm ir atkarīgi augšanas apstākļi uz tām.



46. Strukturālā un dinamiskā terašu klasifikācija (pēc G. Eberharda):

1 — gultnes fācījas alūvijs, 2 — palienes fācījas alūvijs, 3 — deluviālie nogulumi, 4 — sākotnējais terases virsas profils pirms nogāžu procesu izraisītās pārveidošanās, *P* — palīne; I–IV — virspalu terase, A_t — konkrētās terases un palienes alūvijs biezums, A_n — normālais alūvijs biezums.

Pēc upju šķēršprofila izdala *simetriskas* un *asimetriskas* upju ielejas. Parasti vienas upju ielejas nogāzes ir stāvākas, otras — lēzenākas. Ielejas ar šādu šķēršprofilu sauc par asimetriskām ielejām. Ieleju asimetrija veidojas vairāku faktoru ietekmē, piemēram, to izraisa straumes ātruma un virziena dažādība izliektajā un ieliektajā gultnes daļā. Upēm, kuras Ziemeļu puslodē tek meridiānu virzienā, novērojama labo krastu intensīva izskalošanās (Volga, Dņepra). Asimetriskas ielejas veidošanās parādības izskaidrojuši vairāki zinātnieki. Ir pazīstama Bēra—Koriolisa hipotēze, kas upju ielejas asimetrijas veidošanos izskaidro ar Zemes rotāciju. Upei nokācot apgabalos, kur lineārais ātrums ir lielāks, upes ūdeņi inerces spēka dēļ it kā atpaliek no Zemes rotācijas un sāk virzīties pret labo krastu, bet dienvidu puslodē — pret kreiso. Krasti tiek intensīvāk erodēti un veido stāvākas nogāzes. Akadēmiķis A. Arhangeļskis un N. Dimo izskaidro, ka krasta stāvumu nosaka klimatiskie apstākļi. Viņi uzskata, ka palu laikā intensīvāk tiek erodēta pret dienvidiem vērsta nogāze, kura saņem vairāk siltuma, līdz ar to tajā intensīvāk kūst sniegs un zeme, ātrāk atkususi, vieglāk izskalojas. Tomēr jāņem vērā, ka upju ielejas veidojušās vēsturiski ilgā laika posmā, kurā notikušas stipras klimata un citu faktoru izmaiņas, tāpēc upju asimetriskās ielejas izveidošanās cēloņi var būt ļoti dažādi.

Pasaules okeāna ģeoloģiskā darbība

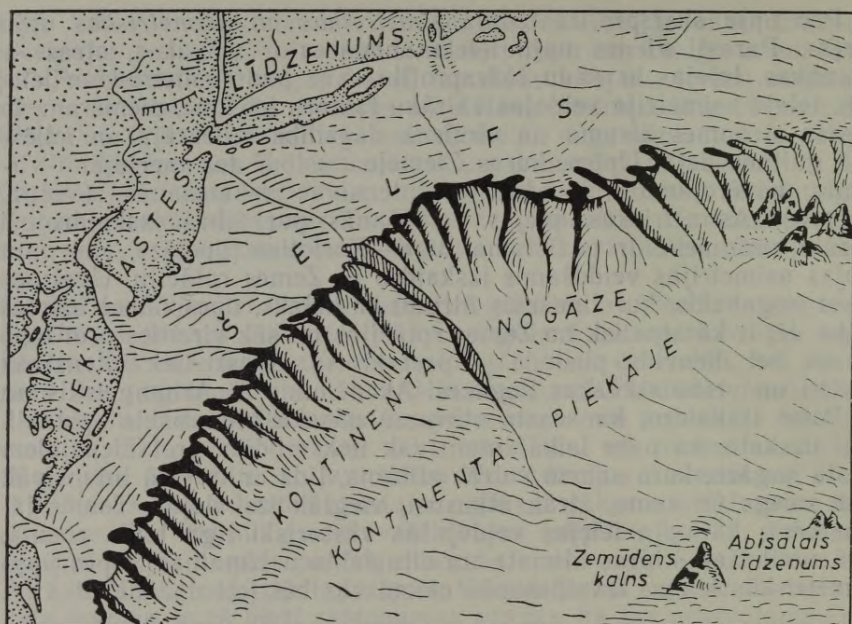
Pasaules okeāns ir lielākā hidrosfēras daļa — nepārtraukts Zemes ūdens apvalks, kas aptver kontinentus un salas un kam ir dažāds sāļu sastāvs. Tas aizņem apmēram 71% no Zemes virsmas un satur 96% no visas planētas ūdens (16. tab.).

Pēc fiziogeogrāfiskajām īpašībām izšķir okeānus, jūras, līčus un šaurumus. Tie atrodas nepārtrauktā mijiedarbībā ar atmosfēru un Zemes garozu. Jūras un okeāni ir galvenais avots atmosfēras nokrišņiem, kas baro upes, ezerus, pazemes ūdeņus un uztur dzīvību.

16. tabula

Dažu okeānu galvenie morfometriskie rādītāji

Okeāns	Platība, km ²	Dziļums (vidēji), m	Tilpums, km ³	Izšķīdušo vielu masa, t	Sāļums, %	Ūdens blīvums, g/cm ³
Klusais okeāns	180 · 10 ⁶	4 028	724 · 10 ⁶			
Atlantijas okeāns	107 · 10 ⁶	3 332	337 · 10 ⁶			
Indijas okeāns	74 · 10 ⁶	3 897	291 · 10 ⁶			
Vidēji		3 800			34,482	1,025
Kopā	361 · 10 ⁶			5 · 10 ²²		



47. Okeāna baseina reljefa elementi. Atlantijas okeāna zemūdens reljefa elementi.

Okeāni un jūras izvēršas par galveno derīgo izrakteņu ieguves bāzi. Pašreiz tajos iegūst dabisko gāzi, naftu, dimantus, zeltu, platīnu, alvu, smagos minerālus, mangānu un fosforītu. Lai Pasaules okeānu varētu izmantot derīgo izrakteņu un pārtikas produktu ieguvei, kā arī pareizi izbūvētu ostas, ir labi jāpazīst jūras dinamika un morfoloģija.

Okeāna dziļumu nosaka galvenokārt ar akustisko zondēšanu. Akustiskās zondēšanas princips ir šāds: ar eholotu izmēra laiku, kurā skaņas signāls sasniedz ūdenstilpes dibenu un atgriežas atpakaļ. Dažādos maršrutos, nosakot dziļumu un to fiksējot, tiek sastādītas okeāna kartes. Pēc okeāna dziļuma un morfoloģijas izdala šādus galvenos okeāna reljefa elementus (47. att.):

- kontinentālais šelfs,
- kontinentālā nogāze ar zemūdens kanjoniem,
- kontinentālā piekāje,
- zemūdens kalnu grēdu sistēma ar salu lokiem,
- okeāna dibens ar abisāliem līdzenumiem.

Kontinentālie šelfi ir kontinentu nogāzes, kas stiepjas no krasta līdz apmēram 200 m dziļumam. To platības ir 2,6% no Pasaules okeāna vai 7 milj. km².

Kontinentālā nogāze parasti ir stāva, tās platums no 15 līdz 30 km, dziļums — līdz 2 km. Stāvās nogāzes bieži šķērso zemūdens kanjoni — V veida, līdz 1200 m dziļas ielejas ar stāvām nogāzēm.

Dažreiz tās ir zarveidīgas, līdzīgas sauszemes erozijas upju ielejām. Daži kanjoni ir upju turpinājumi, piemēram, Kongo, Hudzonas, Kolumbijas un citām upēm. To sienas ir klinšainas un nogulumu sastopami deltās, kuras veidojušās erozijas straumju un zemūdens nogrūvumu rezultātā.

Kontinentālās piekājes klātas ar dažādiem nogulumiem, jo tās veido turbulentās ūdens straumes. Šie nogulumi ir analogi priekškalnu aluviāliem līdzenumiem.

Zemūdens kalnu grēdas un salu loki ir dažādas formas un augstuma, tie aizņem 20% no okeāna dibena.

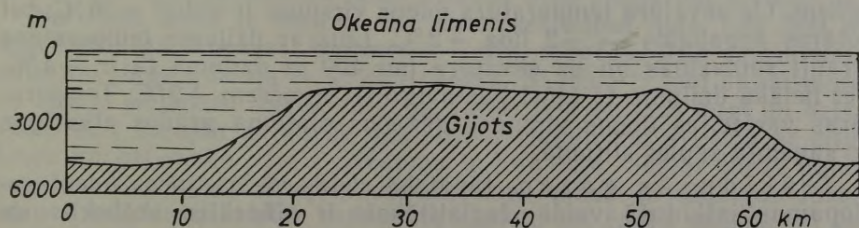
Abisālie līdzenumi aizņem galveno okeāna daļu. Tie atrodas 3000—6000 m dziļumā un aizņem 30% no okeāna dibena.

Okeāna dibenā var būt arī lielāki un mazāki pauguri, līdzīgi kalniem vai arī vulkāniskas uzbūves paaugstinājumiem, piemēram, Havaju salas. No paaugstinājumiem raksturīgi ir *gijoti*, kas ir zemūdens kalni ar plakānu plašu virsotni (48. att.). Tie īpaši izplatīti Klusā okeāna centrālajos un rietumu sektoros. Šie zemūdens kalni var būt 280 km gari un 60 km plati. Pēc izcelsmes tie var būt vulkāniski kalni, kuri bijuši pakļauti ilgstošai ūdens erozijai, to virsotnes veidotas no rupjas grants ar gliemežu atliekām, kas liecina par jūras grunts grimšanu. Dažās vietās ir sastopamas arī vairāk nekā 10 km dziļas okeānu iedobes — pie Filipīnām, Japānas, Kamčatkas u. c.

Jūras ūdens ķīmiskās un fizikālās īpašības. Jūras ūdens satur izšķīdušus minerālsāļus, gāzes, nelielu daudzumu organisko vielu un minerālvietu suspensiju. Izšķīdušo cietais saturs 1000 g jūras ūdens ir apmēram 35 g, t. i., 35‰ (promiles). Galveno sāļu sastāvs jūras ūdenī ir diezgan nemainīgs 33—37‰ un atkarīgs galvenokārt no platuma grādiem.

Jūras ūdens vidējais sastāvs masas % ir šāds:

O	— 85,8	} 96,5	Mg	— 0,14
H	— 10,7		S	— 0,09
Cl	— 2,07		Br	— 0,008
Na	— 1,14		C	— 0,001
K	— 0,08		Pārējie	— 0,001
Ca	— 0,05			



48. Gijots. Horaiznas gijota profils Klusā okeāna rietumu daļā (pēc Hamiltona).

Ar pārējiem elementiem apzīmē jodu, mangānu, cinku, svinu, varu, zeltu u. c. Pēc U. Grosa datiem (1977), jūras ūdenī visvairāk ir hlorīdu (87,722 %), nedaudz mazāk sulfātu (11,359%), vēl mazāk ir karbonātu (0,557%) un pārējie sāļi ir tikai 0,362%.

Minerālu kristalizēšanās nav atkarīga no sāļu daudzuma ūdenī, bet gan no to šķīdības. Attiecīgā minerāla kristalizēšanās notiek tikai tad, ja šķīdums ir piesātināts. Ja no jūras ūdens izgaro vairāk par 37% ūdens, sāk kristalizēties karbonāti un dzelzs oksīdi. Pēc tam kristalizējas gipsis. Un tikai tad, ja ir izgarojis 93% no visa jūras ūdens, sāk izkristalizēties hlorīdi. Dabā šāda jūras ūdens iztvaikošana noris vienīgi izņēmuma gadījumos. Klasisks sulfātu un hlorīdu izgulsnēšanās piemērs ir Karabogazgola līcis pie Kaspijas jūras. Tā sāļu koncentrācija ir divdesmit vienu reizi lielāka nekā Kaspijas jūras ūdenī. Līcis no jūras atdalīts ar divām strēmēm, un Kaspijas jūras ūdens tajā ieplūst pa nelielu šaurumu. Ir radīta mākslīga ūdens ieplūde, ko var regulēt pēc vajadzības. Ziemā šajā līcī notika mirabīla $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ nogulsnešanās, bet vasarā, samazinoties ūdens ieplūdei, sāļu koncentrācija palielinājās un izgulsnējās minerāls halīts (NaCl). Uz līča krastiem radās dažus metrus augsti sāls kalni, kurus izmantoja sodas un sāls ieguvei. Nav īsti skaidrs, kā varēja izveidoties akmenssāls nogulumi Polijā, Veļickā, kur to biezums sasniedz 1,5 kilometrus. Tie tika izmantoti jau kopš 11 gs. Pašreiz tas ir nacionālais muzejs ar 300 m dziļām ejām, kuru gaiteņu un koridoru garums sasniedz 100 km.

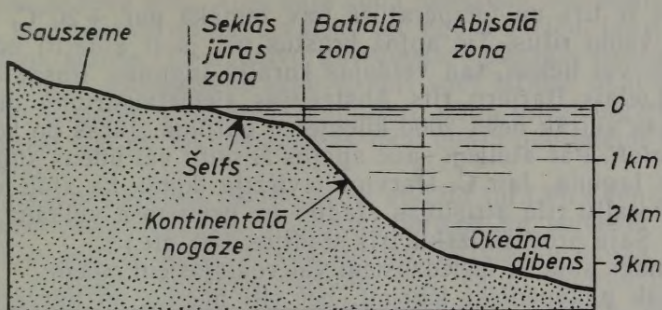
Jūrās sāļi dažreiz izgulsnējas no koloidāla stāvokļa. Tā radušās dažas dzelzs un mangāna atradnes. Jūras virspusē sāļums samazinās atmosfēras nokrišņu iespaidā, saldūdens ieplūdes rezultātā, kā arī no ledāja kušanas ūdeņu ieplūdes. Ūdens sāļumam var būt vairāki avoti:

- daļu sāļu varēja saturēt jau «pirmatnējais ūdens»;
- daļa sāļu tika izskalota no jūras grunts;
- daļa sāļu radās degazācijas procesā, Zemei atdziestot;
- daļa sāļu radās vulkānu un karsto avotu darbības rezultātā.

Pašreiz sāļi jūrās nonāk ar upju ienesto materiālu, kas ir izskalots no cietzemes iežiem. Jautājums par jūras sāļu veidošanos ir sarežģīts, jo ūdens sāļusastāvs nav mainījies pēdējos 600 miljonus gadu.

Temperatūra jūras ūdeņu virspusē mainās no ekvatora uz poliem. Uz ekvatora temperatūra ūdens virspusē ir vidēji $+36^{\circ}\text{C}$, bet polāros apgabalos — -2 līdz $+2^{\circ}\text{C}$. Līdz ar dziļumu temperatūra strauji samazinās un uz ekvatora jau 400 m dziļumā tā ir $+4^{\circ}\text{C}$. Vēl lielākā dziļumā tā kļūst pastāvīga — apmēram $+2^{\circ}\text{C}$. Temperatūras variācijas ūdens virspusē dažādos platuma grādos atkarīgas no saņemtā saules siltuma.

Izšķīdušās gāzes, tāpat kā cietās vielas, jūras ūdenī sastopamas izšķīdušā veidā. Izplatītākais ir slāpeklis, skābeklis un oglekļa dioksīds. Ūdens sastāvē to ir vairāk nekā atmosfērā. Skābekli izmanto jūras fauna, bet oglekļa dioksīdu — jūras flora.



49. Apdzīvotības zonas okeānos.

Jūras ūdens blīvums ir atkarīgs no temperatūras. Tas ir vidēji $1,025 \text{ g/cm}^3$, polāros apgabalos nedaudz palielinās — $1,028 \text{ g/cm}^3$, bet tropu jūrās samazinās — $1,023 \text{ g/cm}^3$. Hidrostatiskais spiediens atbilst ūdens staba spiedienam. Apgaismojums ātri samazinās līdz ar dziļumu, dziļos slāņos iekļūst tikai daļa zilās gaismas spektra, un jau 100 metru dziļumā ir tikai 1% no gaismas.

Okeānu un jūru iedalījums zonās atkarībā no biocenozes. Dzīvnieku un augu izplatība jūrās atkarīga no jūras dziļuma, līdz ar to spiediena, gāzu sastāva, temperatūras, gaismas un citiem apstākļiem. Jūras faunu un floru iespaido arī ūdens ķīmiskais sastāvs. Ja sāļu saturs ievērojami palielinās vai samazinās, izmirst daudz dzīvnieku sugu un rodas ieži ar bagātīgu floras un faunas pārakmeņojumu. Šādas sāļu maiņas pārdzīvo vienīgi indiferentas formas.

Pēc dziļuma un biocenozes jūras vide iedalās piecās zonās (49. att.), kurām katrai ir sava raksturīga fauna un flora:

- litorāle,
- nerītiskā zona,
- batiāle,
- abisāle,
- pelagiāle.

Litorāle jeb *paisuma—bēguma zona* ir piekrastes daļa, kurā nōris zemākā un augstākā ūdens līmeņa maiņas. Bēguma laikā jūras dibens atsedzas, tas vienmēr pakļauts stiprai ūdens viļņu darbībai. Tāpēc sastop tikai tādus augus, kas stipri piestiprinājušies dibenam un var izdzīvot, ja zināmu laiku atrodas zem ūdens vai arī virs tā.

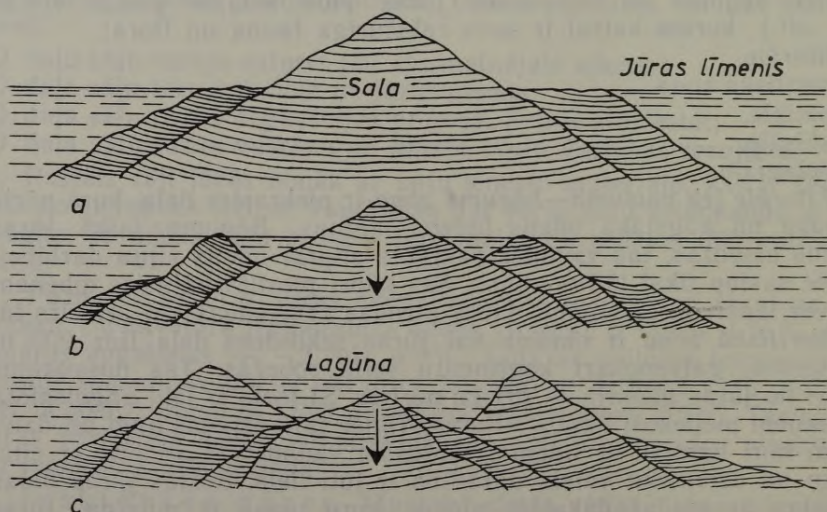
Nerītiskā zona ir okeāna vai jūras seklūdens daļa līdz 200 m dziļumam, galvenokārt kontinentu šelfa robežās. Tās nosaukums cēlies no jūras gliemja — grieķu *neritēs*. Šī josla ir labi apgaismota un saņem pietiekoši daudz siltuma. Tāpēc tajā attīstās augi un dzīvnieki, kuri barojas ar ūdenī izšķīdušām vielām vai arī cits ar citu. Augu un dzīvnieku valsts dažādība ir ļoti liela. Seklās jūras daļas bagātas ar visdažādākajām aļģēm, kuru masa ir milzīga. Jūras ūdeņos izšķīdušo kalcija karbonātu skeletu un čaulu veidošanai izmanto moluski, foraminiferas, koraļļi u. c. Koraļļi dzīvo līdz 100 metru dziļumam, bet vislabāk attīstās 20—40 metru dziļumā,

kur ūdens ir tīrs un temperatūra nav zemāka par $+20^{\circ}\text{C}$. Korāļu kolonijas veido rifus. Tie apjož krastus un, ja ir atdalīti no krasta ar sēkļiem vai ličiem, tad veidojas korāļu lagūnas. Pasaulē pazīstams ir Lielais Barjeru rifs Austrālijas ziemeļaustrumu piekrastē, kas stiepjas vairāk nekā 2000 kilometru garumā. Jūrās no korāļiem veidojas *atoli*. Par atoliem sauc apaļus korāļu vai ūdens augu rifus, ko ieslēdz lagūna. Jau Č. Darvins izvirzīja domu, ka atoli veidojas noteiktā korāļu rifa attīstības stadijā uz grimstoša vulkāna konusa vai salas. Šajā procesā izšķir trīs stadijas (50. att.):

- vulkāniskā sala ar ieslēdzošiem vai veidojošiem rifiem;
- sala sāk pakāpeniski iegrimt, bet rifi pieaug un pārvēršas par barjeru rifiem;
- sala ir nogrimusi, bet barjeru rifi izveido atolu, kuru diametri atkarīgi no nogrimušās salas lieluma un var sasniegt pat 600 kilometrus.

Batiāle ir okeāna vai jūras zona 200—2000 metru dziļumā. Ģeomorfoloģiski tā atbilst kontinenta nogāzei. Gaisma — niecīga, ir tikai augšējos slāņos, ūdens viļņošanās notiek vienīgi lielu vētru laikā. Fauna pārstāvēta diezgan bagātīgi, flora gaismas trūkuma dēļ ir nabadzīga. Pateicoties lēnajam izgulsnēšanās procesam, organismi spēj izmantot organiskās vielas. Batiālās zonas dūņas ir bagātas ar karbonātus saturošiem organismu skeletiem un čaulām, ko veidojušas foraminīferas, spārnkājgliemeži u. c., bet aukstos apgabalos — diatomejas un sūkļi.

Abisāle ir dziļākā okeāna un jūras zona, kura sākas zem 2000 metriem un aizņem lielāko platību. Tajā ir pastāvīga ūdens tempe-



50. Atolu veidošanās:

a — sala ar aptverošiem rifiem, *b* — sala sāk grimt, bet aptverošie rifi aug, pārveidojoties par barjerrifiem, *c* — sala ir nogrimusi, bet barjerrifi izveido atolu.

ratūra, kas ir tuva 0°C. Augi šajā zonā neeksistē, bet dziļjūras dzīvniekiem, kuri pārtiek no augu valsts, lai iegūtu barību, jāuznirst augšējos ūdens slāņos. To apdzīvo galvenokārt plēsīgie dziļjūras dzīvnieki ar augsti specializētu uzbūvi, kuri spēj izturēt lielu spiedienu. Abisālajās nogulās ir daudz foraminiferu dūņu un globigerīnu dūņu, dziļāk trūkst CaCO_3 un sastopamas tikai opāla diatomejas un krama radiolārijas.

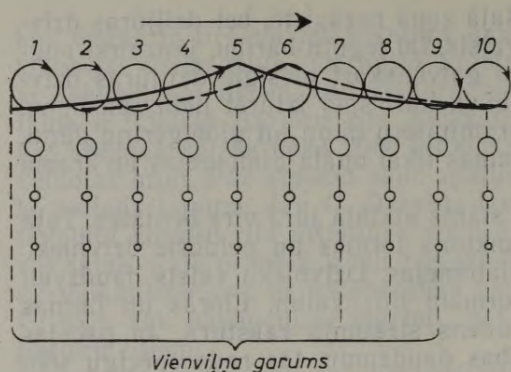
Pelagiāle ir virsējais ūdens slānis atklātā jūrā virs bentāles. Tajā sastopamas pasīvi peldoša planktona formas un peldošie dzīvnieki. Izplatītākie augi ir aļģes un diatomejas. Dzīvnieku valsts daudzveidīga — no mikroskopiskām formām līdz valim. Floras un faunas daudzums stipri atkarīgs no ūdens straumju rakstura. Ja pacesas auksts ūdens ar bagātīgu barības daudzumu, tas rada spēcīgu sīko organismu pieaugumu, kuru savukārt izmanto zivis un citi augstāk attīstītie organismi.

Ūdens cirkulācija okeānos un jūrās. Ūdens kustība noris visā ūdens slānī. Virskārtā nepārtraukti rodas dažāda augstuma viļņi. Tos izraisa vētras okeāna plašumos, pēc tam tie izplatās tūkstošiem kilometru attālumā. Triescoties pret krastu, to spēks samazinās, bet noris krasta erozija — iežu materiāla pārnesšana un nogulsnešanās. Zemestrīces jūrās var izsaukt milzīgu viļņu veidošanos (*cunami*). Tropu klimata zonās vējš rada *pasātus*.

Kustīgos viļņus rada galvenokārt vējš, vētras, ūdens blīvuma izmaiņas, zemestrīces. Parasti jūras viļņošanās izsauc vēja berze, kas noris virs ūdens virsmas un atklātās jūrās izsauc virsmas vēju ar dreifējošu viļņu kustību. Lielās vētrās (*taifūnos*) rodas īpaši izteikta viļņu kustība, kas vienmēr draud applūdināt jūras piekrastes rajonus, izraisot nepatīkamas sekas. Taifūni izplatīti Indijas, Filipīnu, Japānas un Kamčatkas piekrastēs, kur dažreiz viļņi pacesas līdz 7 metru augstumam, tādējādi tiek applūdinātas plašas teritorijas.

Okeāna ūdens blīvuma izmaiņas rodas, ja no okeāna iztvaiko daudz ūdens, kas izraisa sāļuma palielināšanos ūdens virsējos slāņos. Blīvākās ūdens masas pārvietojas dziļāk. Ūdens blīvums var nedaudz palielināties, arī pazeminoties temperatūrai. Bagātīgi atmosfēras nokrišņi un virsējo slāņu sasilšana dod pretējo efektu. Tāpēc aukstie blīvie polārā apgabala ūdeņi iegrimst dziļāk un lēni virzās uz ekvatoru, kur atkal pacesas kā augšupejošas straumes vai ir jau agrāk pacēlušies virspusē. Zemestrīces izraisītie viļņi no zemestrīces centra ar milzīgu spēku raujas uz virspusi, kur rada līdz 10 m augstus viļņus.

Jūras straumes. Tropiskās pasātu joslās ar pastāvīgu vienvirziena vēju virsējie jūras slāņi ziemeļu puslodē virzās no ziemeļaustrumiem uz ekvatoru, bet dienvidu puslodē — no dienvidaustrumiem uz ekvatoru, kur kustību samazina dažādie šķēršļi (kontinenti, kontinentu šelfi, krasta līnijas). Pasātu vēji visvairāk izplatīti Klusā okeāna plašumos. Jūras straumes iespaido arī Korjolis efekts, bet noteicošais faktors ir vējš. Virsējās jūras straumes satur visai nedaudz nogulumiežu materiāla. Tām ir neliela nozīme erozijas



51. Okeāna viļņu kustība.

Viļņa shēma — parādīta ūdens daļiņu relatīvā kustība dažādās viļņu daļās dažādā dziļumā. Orbītu lielumi doti mērogā. Ar treknākajām līnijām parādīts viļņu stāvoklis nākamajā momentā (pēc *Kjunēna*).

uz ekvatoru, kur tā tuvumā paceļas un jūras straumju veidā dodas atpakaļ. Tāpēc Atlantijas okeānā ir sarežģīta jūras straumju kustība. Arī citos okeānos jūras straumju kustība ir sarežģīta, to ietekmē baseina forma, okeāna dibena reljefs, ieplūstošie saldie ūdeņi, kā arī Zemes griešanās.

Arī jūras ūdens sāluma izmaiņas izsauc jūras straumju rašanos — tā saucamās *kompensācijas straumes*. Šis process sastopams jūras šaurumos, īpaši intensīvi starp Vidusjūru un Atlantijas okeānu, kur sālāks ūdens mēles veidā gar Gibraltāru ieplūst Atlantijas okeānā.

Jūras viļņu kustība un īpašības. Jūras viļņi rodas no daudzu citu citai sekojošu ūdens daļiņu kustības pa riņķa trajektoriju (orbītu) viļņu kustības virzienā (51. att.). Šis process atgādina ķēdes reakciju. Pats vilnis kustas uz priekšu, pārvietojot nelielu ūdens daudzumu.

Viļņu augstumu nosaka vertikāli starp viļņa ielieces zemāko punktu un galotni. Parasti viļņu augstums nepārsniedz 3 metrus, reti tas sasniedz 6 m. Vētrās (10 balles) Anglijā viļņu augstums parasti sasniedz 10 metrus, bet Antarktīdas rajonos — pat 16 metrus. Viļņu garums ir horizontālais attālums starp viļņu galotnēm. Tas mēdz būt no 1 līdz 100 metriem. Piekrastes mierīgos ūdeņos viļņu garums samazinās un veidojas mazi (ņirbu) vilniši.

Viļņu dziļums atkarīgs no ūdens kustības un parasti sniedzas līdz 200 metriem. Dziļāk viļņi jūtami tikai lielās vētrās.

Viļņu periods ir tas laiks, kurā vilnis noiet ceļu starp ielocēm vai galotnēm. Parasti tas ir dažas sekundes vai lielos viļņos — 10—12 sekundes, maksimāli — 20 sekundes. Ja viļņa ātrums ir 35 km/h, tā periods ir 6 sekundes, bet, ja ātrums ir 100 km/h, — 20 sekundes.

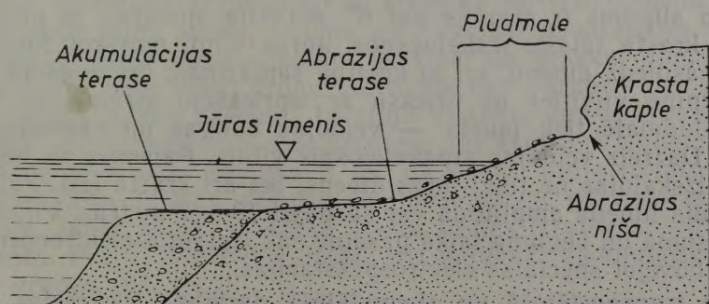
procesos, bet galvenokārt — klimata veidošanā. Siltās Gofa straumes, kas virzās ar ātrumu 2 m/s un pārvieto līdz 80 milj. m³ ūdens diennaktī, visā Rietumeiropā ietekmē temperatūru un nokrišņus, tāpēc klimats tur atšķiras no tā paša platuma grādu klimata citos kontinentos. Straumju rašanos var iespaidot blīvie, aukstie polārie ūdeņi, kas, iegrimstot Grenlandes tuvumā, lēni 1 km dziļumā virzās dienvidu virzienā. Citas ūdens masas iegrimst ap 40 platuma grādiem un 600 metru dziļumā virzās

Viļņi var interferēties un nodzēst viens otru, bet, ja viļņu periodi sakrīt, tie var pastiprināt cits citu.

Viļņu spēks atkarīgs no to augstuma un garuma, tas var būt milzīgs. Divus metrus augsti jūras viļņi vidēji rada spiedienu 15 t/m^3 . Vētrās viļņiem ir tāds trieciens kā automašīnai, ar ātrumu 80 km/h triecoties pret betona sienu. Tāpēc viļņi dažreiz atrauj blokus, kuru masa ir vairāk nekā 2000 tonnas. Tā Francijā, Šerbūrā pāri 6 m augstai sienai viļņi pārsveda $3,2 \text{ t}$ smagu akmeni. Viļņi, kuriem ir liels ātrums, var uzvest atsevišķus akmentiņus pat līdz 45 m augstumam un izsist bākas logus. Viļņu ātrums sēkšos vai krasta tuvumā samazinās, bet daļa viļņu turpina virzīties uz priekšu ar parasto ātrumu, krasta tuvumā tie tiek lauzti un kā krasta viļņu bangas pārvēršas turbulentās kārtās.

Jūras erodējošā darbība. Jūras ārdošā darbība galvenokārt izpaužas krastu erozijā. Jūras viļņiem mehāniski un ķīmiski iedarbojoties, notiek krastu izskalošana. Jūras viļņu ārdošo darbību piekrastes joslā sauc par abrāziju. Tās rezultātā parasti izveidojas tā saucamais krasta abrāzijas profils (52. att.) ar raksturīgām formām: krasta krauju, jūras viļņu izveidoto nišu, pludmali, abrāzijas terasi un akumulācijas terasi. Nišas vietā var izveidoties arī akmens tilti, arkas, terases un citas formas. Latvijā ārdošās un radošās darbības (abrāzijas—akumulācijas) rezultātā ir izveidojusies piekraste.

Par *piekrasti* sauc visu reljefa joslu, kurā sastopamas gan senās, gan arī pašreizējās jūras krastu veidojuma formas. Piekrastē izšķir sauszemes, krasta un zemūdens zonu. Latvijā sauszemes zona ir no 2 līdz 50 km plata. Pašreizējie jūras krasti ziemeļu puslodes lielākajā daļā (arī Baltijas jūrai) veidojušies, pēcdeduslaikmeta ledājiem atkāpjoties. Jūras krastu veidošanās cieši saistīta ar Zemes garozas tektonisko režīmu. Sauszemes grimšana izraisa jūras uzplūdus cietzemei un krastu izskalošanos — *transgresiju*, bet, sauszemei paceļoties, jūra *regresē* (atkāpjas) un abrāzija palēninās. Jūras krasti pēc ledāja atkāpšanās veidojas atkarīgi no to agrākā reljefa, turpmākās jūras viļņu darbības, ģeoloģiskās uzbūves un tektoniskā režīma. Jūrai applūdinot bijušo ledāja teritoriju, nav mazsvarīgi, kādas reljefa formas tur sastopamas.



52. Okeāna krasta abrāzijas profils.

Applūstot senu kalnāju ielejai, kas bijusi pakļauta ledāja iedarbībai, izveidojas fjordu krasts. *Fjordi* ir gari, šauri, dziļi, jūras līči, kas izveidoti cietos iežos, iestiepjas tālu sauszemē un ir ar stāvām klinšainām sienām. Tie sastopami Norvēģijas, Zviedrijas un Somijas piekrastēs. Sevišķi raksturīgi fjordu krasti ir Norvēģijā, to garums pārsniedz 200 km, bet platums — 6 km.

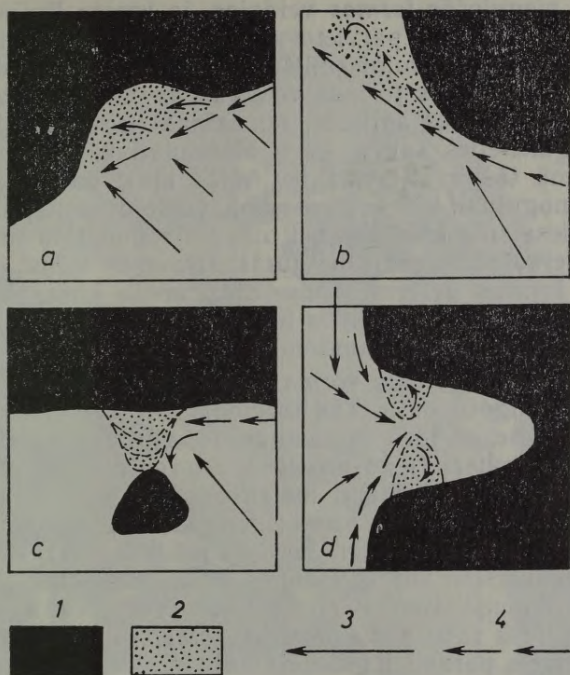
Ja jūra applūšina ledāja denudācijas apgabalu ar akumulatīvām reljefa formām (aunu pieres, drumlini, osi, kēmi), izveidojas roboti krasti ar neskaitāmām klinšainām saliņām — *šērām*. Šēru krasti bieži sastopami kombinācijā ar fjordiem.

Piekrastēs, kur jūra applūdinājusi fluviālos reljefa pazeminājumus, veidojas divi izrobota krasta paveidi — *riasa* un *limāna krasti*. Riasa krasti sastopami Spānijā, Skotijā un vietās, kur dziļi līči un upes ieplūst kā estuāriji. Riasa krastiem ir ķīļveida formas, kuras iestiepjas sauszemē. Limānu krasti līdzīgi riasa krastiem, bet līči ir sekli, ar lēzenām nogāzēm.

Jaunākos kroku kalnajos sastopami *dalmācijas tipa krasti*, kur kroku virziens paralēls jūras krastam. Šādi krasti ir raksturīgi Balkānu pussalas Adrijas jūras krastos un Ziemeļamerikas austrumu piekrastē.

Lai izskalotu irdeno iežu krastus (mālainos, aleirita, smilts, grants vai morēnu), pietiek ar triecienu un izskalojošā viļņa darbību. Ļoti cietos magmatiskos iežus izskalo un pamazām sadrupina ar hidraulisko iekīlēšanos plaisās. Šādos cietos iežos krasta atkāpe abrāzijas dēļ noris ļoti lēni — dažus milimetrus gadā. Visintensīvāk izskalojas irdenie krasti — atkāpe var sasniegt 20 metrus gadā. Melnā jūra Odesas rajonā ik gadu noskalo krastus 1—2 m platumā, Azovas jūra — 12 m gadā. Abrāzijas spēku ietekmē mainās krasta stāvums, augstums, iežu sagulums un krasta līnijas konfigurācija. Klasisks piemērs jūras viļņu abrāzijas darbībai ir Helgolandes sala Ziemeļjūrā, kura vēl 9. gs. bija liela sala ar daudz iedzīvotājiem. Pašreiz no tās saglabājušies vairs tikai klinšu blāķi 0,6 km² lielā platībā. Pirms Otrā pasaules kara pieņēma salas aizsargpasākumus, jo vācieši tur ierīkoja kara bāzi. Krastiem ilgu laiku izskalojoties, ja nav spēcīgu jūras straumju, izveidojas dažāda platuma lēzena smilšaina, granšaina vai pat oļaina pludmale. Ja tā sasniedz pietiekamu platumu un slīpums ir mazāks par 6°, abrāzija apstājas, jo pludmale aizkavē krasta tālāku izskalošanos. Jūras viļņi, nonākot tuvāk pie krasta, sasniedz dibenu, un to kustība samazinās, bet augšējā viļņu daļa turpina virzīties uz priekšu ar iepriekšējo ātrumu, un viļņu fronte pludmalē tiek lauza — veidojas bangas un samazinās to ātrums. Dažreiz veidojas atpakālejošais vilnis. Paisuma un bēguma rajonos izskalojas ne tikai jūras dibens, bet arī krasta ieži. Paisuma un bēguma līmeņa amplitūda var sasniegt 10—12 metrus. Viļņu darbību paisuma un bēguma laikā pasaulē sāk izmantot elektroenerģijas ieguvei, būvējot speciālas elektrostacijas.

Jūras transportējošā un akumulējošā darbība. Piekrastes zonā viļņi un piekrastes straumes ne tikai izskalo, bet arī pārvieto un nogulsnē iežu daļiņas. Iežu materiāls var virzīties gar krastu vai tikt



53. Vienkāršāko akumulatīvo formu veidošanās jūras piekrastē (pēc Zenkoviča):

a — krastam piekļautās akumulatīvās formas, b — brīvās akumulatīvās formas, c — saikne jeb tombolo, d — pāržmauga; 1 — sauszeme, 2 — akumulatīvie veidojumi, 3 — viļņu darbības virziens, 4 — sanesu plūsmas virziens.

ienests dziļumā ar dažādu ātrumu, kas atkarīgs no viļņu stipruma un straumes ātruma. No krasta izskalotais un no upēm ienestais, kā arī vēja atpūstais iežu materiāls pirms nogulsnešanās sašķirojas pēc daļiņu lieluma. Bez tam ar to notiek mehāniskas un ķīmiskas pārveidošanas. Materiāla izgulsnešanās atkarīga no iežu graudu lieluma un blīvuma, viļņu spēka, ilguma un virziena un straumes virziena. Ja viļņu virziens perpendikulārs krastam un atpakaļ ejošais vilnis stiprāks par tiešo vilni, drupu materiāls tiek pārnestš par 20 m atpakaļ dziļāk ūdens baseinā. Ja viļņu virziens nav krastam perpendikulārs, drupu materiāls tiek pārnestš gar krastu. Visintensīvāk tas notiek, ja piekrastes slīpums ir 45° un krasta līnija ir taisna. Tādā gadījumā iežu daļiņas, veļoties pa jūras dibenu, pārvietojas paralēli krastam. Ieliektas vai izliektas krasta līnijas izraisa dažādas izgulsnešanās. Pēc V. Zenkoviča, izšķir trīs galvenās akumulatīvās veidojumu grupas (53. att.):

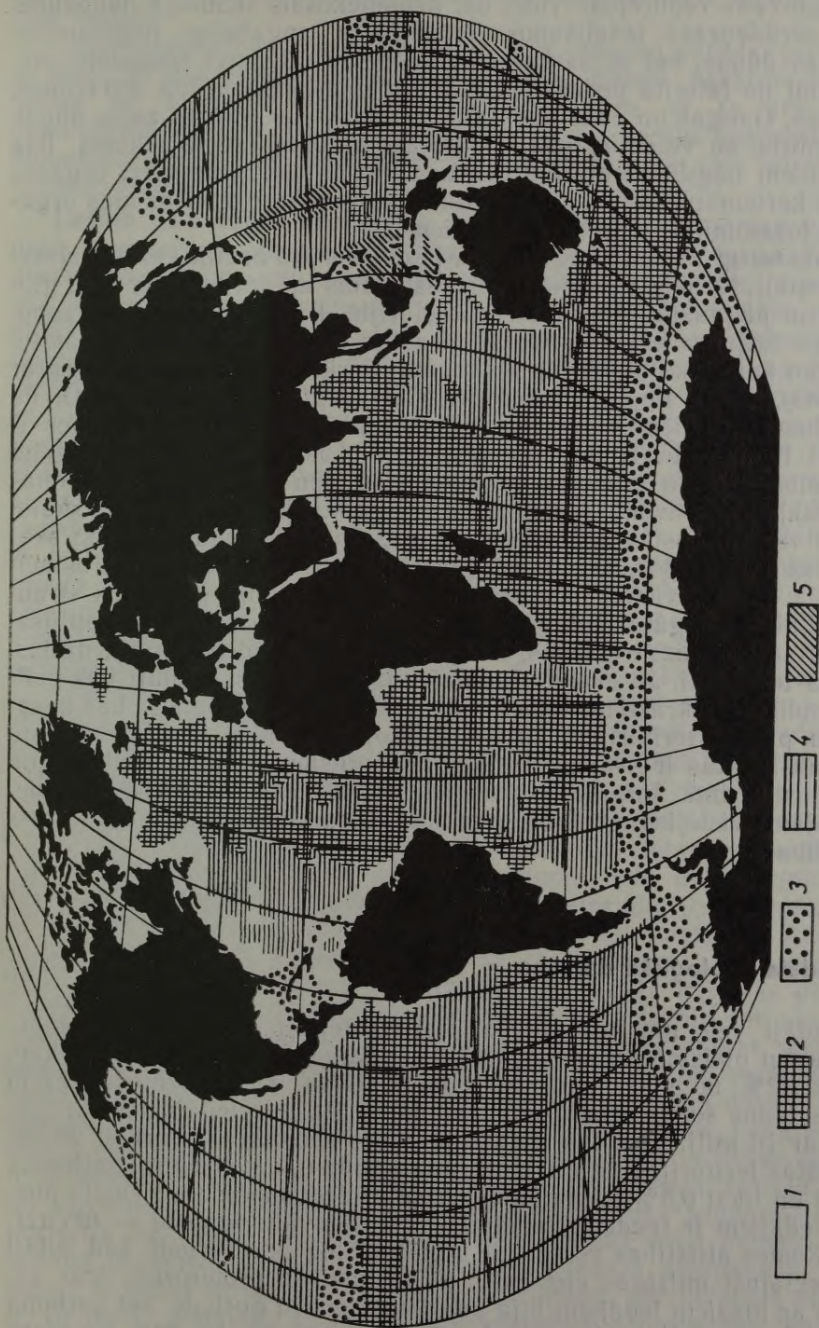
- krastam pieguļošās formas,
- brīvās akumulatīvās formas un
- noslēgtās akumulatīvās formas.

Krastam pieguļošās formas veidojas, ja krasta līnija veido ieliekumu sauszemē. Sanesu pārvietošanās ieliekumā samazinās, un materiāls nogulsņējas, veidojot smilšainas vai oļainas pludmales.

Brīvās akumulatīvās formas veidojas, ja jūrās ievirzās pussalas vai ragi. Straumēm tos apliecot, samazinās viļņu enerģija un materiāls sāk izgulsnēties šauru, garu akumulatīvu formu — *kosu* — veidā. Sākumā tās ir kā sēkli, bet vēlāk kļūst par jūras izciļņiem. Ar laiku šie nogulumi var augt garumā, veidojot izstieptu kosu, kurai viens gals piesaistīts krastam, bet otrs ievirzījies tālu jūrā. Pieaugošas kosas veidošanos pārtrauc jūras straumes viļņu darbība, kas izraisa tās formas deformēšanos. Līdz ar to kosas kļūst liektas, kāšveida vai saliektas. Saliekties tās var tiktāl, ka veidojas cilpveida forma (abi gali piesaistīti sauszemei).

Noslēgtās akumulatīvās formas piesaistās krastam gan ar pamatdaļu, gan augošo daļu. Tās izveidojas līčos, kas iestiepjas cietzemē. Līča saikne ar jūru samazinās, jo, viļņu enerģijai samazinoties, nogulumu materiāls nosprosto līčus, veidojot smilšainus, grantājus līdz dažiem desmitiem metru augstus vaļņus, ko sauc par bāriem. Tā Latvijas piejūras ezeri (Liepājas, Engures un citi) ir bijušās lagūnas, ko atdalījuši bāri. Ja viļņu kustību piekrastē aiztur sala vai kāds cits šķērslis, var izveidoties akumulatīvs garens sēklis vai virszemes veidojums, kas savieno salu ar krastu vai kādu citu salu. Šāds veidojums sauc par *saikni* jeb *tombolo*. Upju ienestais smilšainais materiāls parasti izgulsnējas pludmalēs, un tās pakāpeniski palielinās, līdzīgi kā Rīgas līča krastos. Jūrā tālāk tiek aiznesti un nogulsņējas mālainie nogulumi un organiskās dūņas. Dažās vietās Rīgas līča krasti sastāv no morēnas, bet sikākais materiāls ticis aiznests projām, un piekrastes zonā izveidojušies akmeņu krāvumi, kā tas ir pie Kaltenes, Rojas, Skultes u. c. Litorālajā joslā, kur izteikts paisums un bēgums, dažādi ieži nogulsnējas nelielos attālumos: smiltis, dūņas u. c. Šelfu joslas nogulumi atkarīgi no upes ievadītā iežu materiāla, un tie var sniegties līdz 200 m dziļumā (54. att.). Ir sastopami arī organogēni nogulumi, ko veido organiskās atliekas, piemēram, koraļļi, moluski, foraminīferas. Tie sastāv galvenokārt no kalcija karbonātiem. Krasta klimata apstākļos, kad ūdens sasilst līdz dibenam, augu un dzīvnieku valsts ir bagātīga, tāpēc dominē organiskie nogulumi (oolītu kaļķakmeņi). Īpatnēji nogulumi izgulsnējas lagūnās. Sāļu lagūnās izgulsnējas sāļu nogulumi: mirabilīts, halīts, ģipsis. Ir arī saldūdens lagūnas, kurās izgulsnējas smiltis, gliemežvāki un dūņas ar lielu organisko vielu piejaukumu. Tipiska šāda saldūdens lagūna ir Kuršu joma Baltijas jūras krastā Nemūnas ieteces rajonā, kuru atdala 98 km gara, vidēji 0,4—3,8 km plata strēle. Šajā lagūnā izgulsnējas smiltis, daudz organisko vielu un gliemežvāku.

Batiālā jeb kontinentu nogāzes zonā pārsvarā nogulsnējas terigēnie nogulumi, no kuriem raksturīgākie ir zilās dūņas, kas satur vairāk par 60% mālu ar dažādu smilšu un aleirītu piejaukumu. Zilās dūņas bagātas ar karbonātus saturošām organismu atliekām, retāk — opāla un cita sastāva skeletiem un čaulām. Dūņu zilgano



54. Pasaules okeānu shematiskis nogulumu sadalījums:

1 — sarkantie māli, 2 — kaļķainās dūņas, 3 — kramainās dūņas, 4 — šelfi ar kontinentālo nogāzi, 5 — vulkāniskās dūņas.

nokrāsu rada reducējošā vide, bet nepietiekošais skābekļa daudzums rada sērūdeņraža izdalīšanos. Tropiskajos apgabalos nogulsņējas līdzīgas dūņas, bet ar sarkanu nokrāsu. Šo intensīvi noskaloto sarkanžemi no laterīta dēdēšanas garozas ienesušas okeānā Amazones, Nigēras, Gangas un citas upes. Dažās vietās sastopamas zaļas dūņas un smiltis, ko veidojis liels minerāla glaukonīta piejaukums. Bez terīgēniem nogulumiem kontinentu nogāzēs sastopamas arī organogēnās karbonātu dūņas, kuru sastāvā galvenokārt ir vienkāršas organismi foraminīferas un spārnkājgliemeži.

Raksturīgi abisālie nogulumi ir bezkarbonātu brūnie vai ķieģeļsarkanie māli. Nelielā dziļumā tajos sastopams arī foraminīferu un globigerīnu piejaukums, nedaudz radiolāriju, diatomeju un zivju zobu. Lielākā dziļuma abisālie nogulumi satur vulkānisko klastisko materiālu un kosmisko putekļu piejaukumu. Sarkanie māli bez SiO_2 satur vēl TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O , P_2O_5 un dažādus mikroelementus: Ni, Co, Mo, Pb, Cu u. c. Bieži tajos ir bagāti Fe un Mn konkrēciju veidojumi, kas satur lielus mangāna krājumus. Krastu erozijas un piekrastes iežu nogulsņēšanās zonas tiek pakļautas cilvēku kontrolei, lai nenotiktu kaitīga krasta izskalošanās vai piekrastes applūšana un iežu nogulsņēšanās. Sevišķi svarīgi tas ir apvidos, kur būvē speciālas būves: ostas, elektrostacijas u. c. Šādās vietās jāaptur aktīvā viļņu darbība un ūdens straumes. Lai aizsargātu piekrasti no vētrām, izskalošanās vai applūšanas, ir jābūvē aizsargsienas, aizsprosti, dambji ūdenslauzēji, dzelzsbetona tetrapodi. Ja draud pludmales izskalošanās, dambji tiek celti perpendikulāri krastam, lai stimulētu iežu nogulsņēšanos. Lai neapplūstu plašas teritorijas, kā tas ir Holandē, būvē veselas dambju sistēmas. Ostās ir svarīgi, lai ieži nenogulsnētos, tāpēc ierīko viļņu lauzējus u. tml. Inženierim kompetenti jāizvēlas projekts, kas piešķaņojams vietējiem ģeoloģiskiem apstākļiem, lai novērstu nevēlamas parādības.

Ledāja ģeoloģiskā darbība

Ledāji veic milzīgu ārdosu, transportējošu un radošu darbību. Vēl nesen pleistocēna epohā ledāji pārklāja vairāk par 50 milj. km^2 , tas ir 32% no visas sauszemēs kopplatības. Ziemeļu puslodē zem biezas ledus segas atradās $\frac{2}{3}$ teritorijas. Pašreiz ledāji pārklāj vairāk par 16 milj. km^2 , tas ir 11% no visas sauszemes. Turklāt 99,5% pārklātās teritorijas (Antarktīda, Grenlande u. c.) aizņem kontinenta ledāji un tikai 0,5% kalnu ledāji. Visā pēcledušlaikmētā ziemeļu puslodē ledājiem ir tendence atkāpties, bet dienvidu puslodē — uzvirzīties. Zemes attīstības vēsturē ir bijuši ģeoloģiskie periodi, kad ledāji ir pārklājuši milzīgas cietzemes teritorijas. Tā proterozoja ēras sākumā ar plašiem ledājiem bija pārklāta ziemeļu puslode, bet karbona periodā — arī dienvidu puslode. Pašreiz uzskata, ka 20% no visas sauszemes reljefa ir veidojuši kvartāra ledāji, arī Baltijas republiku

teritoriju. Latvijā visa lauksaimnieciskā darbība noris ledāja izveidotā reljefā.

Lauksaimniecības darbiniekiem ir labi jāpazīst reljefs, jo no tā ir atkarīgs nokrišņu sadalījums, pazemes ūdeņu raksturs, augu valsts un augsnes veidošanās īpatnības, līdz ar to arī lauksaimniecībā izmantojamo zemju apstrādāšana, zemju nosusināšana, apmežošana cīņā pret augsnes eroziju un citi procesi. Arī celtniecībā jāievēro reljefa īpatnības.

Ledāja veidošanās un kustība. Vietās, kur sniegs sasnieg vairāk, nekā pavasarī un vasarā spēj izkust, veidojas sniega lauki. Sniega uzkrāšanos ietekmē mitrs klimats, valdošais vēja virziens, reljefs un citi faktori. Sniega uzkrāšanās parasti noris lēzenās iepakās, kalnu grēdu aizvēja pusē u. c. Vasarā saules staru ietekmē sniega laukos virsējie slāņi atkūst, bet naktī sasilst. Tas izraisa sublimāciju un veicina ledus kristālu veidošanos. Sniegs zaudē savu īrdenumu un pārvēršas blīvā masā *firnā*. Lēnā procesā no maziem firna graudiem, starp kuriem ir gaisa telpa, veidojas lielāki, blīvāki gabali. Rezultātā cietie graudainie firna kristāli iegūst īpašu struktūru. Firna slānis pieaug, sablivējas, kļūst plastisks, un izveidojas ledāji. Kalnu apgabalos gada vidējā temperatūra samazinās līdz ar augstumu — jo augstāk kalnos, jo zemāka temperatūra. Karstajos apgabalos sniega sega visu gadu saglabājas kalnu virsotnēs. Augstuma robežu, kur sniega sega var uzkrāties visu gadu, sauc par *sniega līniju*. Kalnu rajonos tā ir dažādā augstumā atkarībā no klimata, reljefa, formas un citiem faktoriem. Piemēram, Austrumkaukāzā sniega līnija ir 2560 metru v. j. l., bet Tjanšanā — 3500—4500 metru v. j. l. Ir jāatzīmē, ka ne visos kalnos virs sniega līnijas veidojas ledāji, ja reljefam raksturīgas stāvas nogāzes, sniegam ir grūti uzkrāties.

Lai gan ledus ir ciets, tam piemīt arī plastiskums. Smaguma spēka iespaidā plastiskie ledāji var sākt kustēties. Kustības ātrums atkarīgs no nogāzes gradienta, ledāja masas biezuma un vietas temperatūras, kā arī substrāta gluduma, ūdens daudzuma ledū un ieslēgto iežu daudzuma. Jo bagātīgāk ledāji satur iežu materiālu, jo tie lēnāk kustas. Ledājā izšķir divus slāņus — augšējo un apakšējo. Augšējā slāņa biezums ir no 30 līdz 60 metriem, tas ir trausls un pa plaisām dalās dažāda izmēra masīvos. Atkarībā no ledāja kustības plaisas var atvērties un atkal aizvērties. Šādu plaisu platums var sasniegt vairākus metrus. Ledājiem plūstot pāri lielākiem šķēršļiem, veidojas šķērsplaisas, bet, tiem strauji pārvietojoties, ledāja vidū veidojas garenplaisas, bet sānos — sānu plaisas. Ledāju apakšējā daļā plastiskums ir tik liels, ka ledājs var virzīties arī pret kalnu. Ledāja kustība ir daudz lēnāka nekā upes kustība. Vislielākais kustības ātrums ir tā vidusdaļā, kur nav berzes ar pamatni vai sāniem. Ledāja fronte virzoties uz priekšu, noris ledāja uzvirzīšanās sauszemei. Tas noris tik ilgi, kamēr ledāja barošanās ir lielāka nekā kušana. Kad kušana pārsniedz ledāja barošanos, sākas ledāja atkāpšanās. Alpu ledāja kustības ātrums ir 30—100 cm diennaktī, bet lielākais ātrums ir 10 metri diennaktī. Liels ātrums novērots, Grenlandes ledājiem ieplūstot fjordos, to ātrums sasniedz 30 metrus diennaktī.

Ledāju tipi. Atkarībā no ledāja lieluma, nokrišņu daudzuma, Zemes virsmas reljefa, substrāta, kā arī plūšanas ātruma ledājiem var būt dažāda forma un lielums. Izšķir divus raksturīgus ledāja tipus: ○ *kontinentālos ledājus* (segledājus), kas veido plašas ledāja segas un

○ *kalnu ledājus*, kas plūst no kalna uz ielejām.

Kontinentālie ledāji parasti veido biezu ledus segu, kas aizņem plašas teritorijas, arī veselu kontinentu — Antarktīdu (13,9 milj. km²) un pasaules lielāko salu — Grenlandi (2,2 milj. km²). Kontinentālie ledāji sedz Franča Jozefa Zemi, Novaja Zemļa ziemeļu daļu un citas teritorijas. Parasti kontinentālie ledāji ir ar līdzenu virsmu un kritumu plūsmas virzienā. Grenlandē ledāja vairogs pārklāj vairāk par 80% no platības (1,8 milj. km²), tā maksimālais biezums ir 3400 m, bet vidējais — 2300 m. Grenlandes un citu kontinentālo ledāju īpatnība ir tā, ka zemas temperatūras dēļ tiem nav izteikts kušanas apgabals, tāpēc ledāja masas bieži ieslīd jūras ūdenī, pārlūst un peld ledus kalna — *aisberga* — veidā. Aisbergi var sasniegt vairāku kilometru garumu un vairāku simtu metru augstumu. Lielākā daļa ledus kalna atrodas zem ūdens. Tie ir ļoti bīstami kuģniecībai (Titānika bojā eja u. c.). Lielākais aisbergs, kas konstatēts Atlantijas okeānā, bija 565 km garš, tas izkusa 10 gadu laikā. Antarktīdā ledāja platība ir septiņas reizes lielāka nekā Grenlandē un virsma nav tik līdzena, to dažviet pārrauj kalnu grēdas. Kalnus virs ledājiem sauc par *nunatakem*. To augstums ir no dažiem simtiem metru līdz 4 kilometriem un vairāk. Antarktīdā konstatētais ledāja maksimālais biezums ir 4335 m, bet vidējais — 2000 m. Antarktīdā, tāpat kā Arktikā, visu gadu ir zema gaisa temperatūra un sniega sega praktiski nekūst, jo sniega virsma pilnīgi atstaro saules starus. Antarktīdā ledāji no centrāliem rajoniem virzās uz piekrasti un ieslīd jūrā, veidojot *šelfa ledāju*, kas vēl ir saistīts ar kontinentālo ledāju. Šelfa ledājs beidzas ar stāvām kraujām — no 20 līdz 50 metru virs okeāna. No šelfa ledāja bieži atplūst lieli ledāja gabali — aisbergi, kurus straumes aiznes tālu prom no veidošanās apgabala. Antarktīdas ledāji ir pasaules lielākās saldūdens rezerves. Mazākus aisbergus ar kuģiem transportē uz Austrāliju, kur tos plaši izmanto saldūdens ieguvei.

Kalnu ledāju raksturīgākais piemērs ir Alpu ieleju tipa ledājs, kam ir izteikts barotāja apgabals — *firna baseins*. Tas atrodas pakavveidīgā (amfiteātra) iedobē (55. att.), ko ierobežo stāvas klints sienas, un to sauc par *ledāja cirku*. Nogāzes pusē ledāja cirks ir atvērts. No turienes ledājs izplūst, veidojot plūsmas — šļūdoņa mēles. Alpu šļūdoņi nolaižas daudz zemāk par sniega līniju, kur norisinās to pastiprināta izkušana un bieži arī upju izcelšanās. Lielākais Alpu tipa ledājs pasaulē ir Fedčenko ledājs Pamirā, kurš ir 71 km garš un vairāk nekā 500 m biezs. Var būt arī ledāji, kuriem nav firna baseina, un tos baro galvenokārt lavīnas. Tie ir tā saucamie Turkmēnijas tipa ledāji, kuri sastopami Vidusāzijā. Ledāji var izplūst no vienas mēles vai lielāka masīva un sadalīties vairākās ledāja mēlēs vai arī otrādi — no vairākām mēlēm saplūst kopā,



55. Kalnu ledāja shēma:

1 — ieleju ledājs, 2 — karenais ledājs, 3 — firna lauks, 4 — ledāja mēle, 5 — plato ledājs, 6 — paralēlās plaisas, 7 — šķērsplaisas, 8 — ledāja lūzumi, 9 — ledāja vārti, 10 — sānu morēna, 11 — gala morēna, 12 — ledāja strauts.

veidojot lielāku ledus mēli. Bez tam ir sastopami arī *karu ledāji* un *karenie* (karājošie) *ledāji*.

Karu ledāji ir nelieli izolēti ledāji bez noteces apgabala, kuri aizpilda ielejas kalnu augšējā daļā.

Karenie ledāji plūst pa seklām ielejām līdz stāvai nogāzei un, tālāk virzoties, paliek lielām masām karājoties virs kraujas, un daļa bieži nogāžas lejup pa nogāzi.

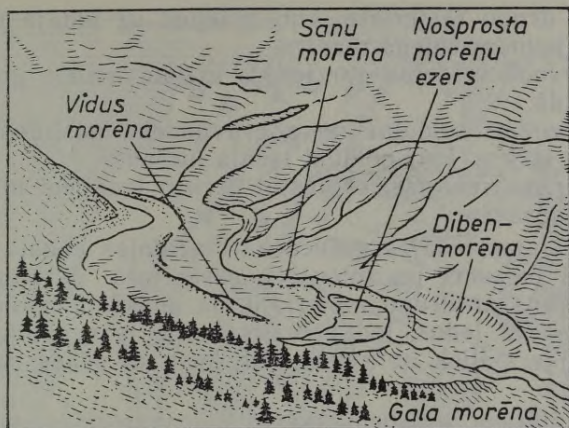
Ledāja erodējošā darbība. Ledāja ārdošo darbību veic ledāja plūstošās masas, iedarbojoties uz pamatiežiem. Ledāji savā ceļā izmaina zemes reljefu, un veidojas raksturīgas reljefa formas. Pat nelieli ledāji uz pamatiežiem rada spiedienu un veic erodējošu darbību. Ledāja erozija noris trīs veidos:

- tiek noberzts irdenais pamatiežu materiāls, kas veidojies, galvenokārt iežiem sadēdot,
- ledāja ieslēgtiem iežu gabaliem plūstot pa substrātu, notiek pamatnes korozija,
- pa plaisām no pamatiežiem tiek izarti klinšu gabali. To sauc par *eksarācijas darbību* (latīņu *eksaratio* — izaršana).

Eksarācija parasti notiek tur, kur nelīdzens substrāts un stāvāki ieleju kritumi. Ledāji eksarācijas zonās atrauj un ietver savā masā galvenokārt dēdēšanas materiālus un ieža gabalus no dažādiem virsmas nelīdzenumiem. Ja ledāja kustības virziens sakrīt ar kristālisko iežu tektoniskām plaisām un depresijām, tā eksarējošā darbība ir sevišķi spēcīga. Ledāja apakšējos slāņos ieslēgtie iežu gabali berž, pulē un atstāj skrambas. Visi ledāja tipi izmaina reljefa ainavu, bet īpaši raksturīgas ainavas veidojas kalnu ledājiem. Tie parasti virzās nevis pa savu veidoto ieleju, bet pa ūdeņu izskaloņām ejām. Ledāja ielejas viegli pazīt, jo tām izveidojušās raksturīgas formas. Upes ielejas šķērsgrīzumā parasti veido V veida (siles) ieleju. Plūstot pa šādām ielejām, ledāja malas un dibens tiek erodēti, izveidojot raksturīgas U veida ledāja ielejas — *trogus* (56. att.). Trogu ielejām ir nelīdzens garenprofils ar pakāpienveida izciļņiem (*rīģeļiem*) un ieleju nogāzēs sastopami terasveida laukumi (*trogu pleci*). Ledāji virzoties cenšas nolīdzināt nelielos izciļņus, tos noskrāmbāt un noart. Ledāja augšējā kalnu daļā, pateicoties ārdošai darbībai, izveidojas amfiteātra tipa ielejas ar stāvām sienām (*ledāja cirki*). Sienu stāvums atkarīgs no iežu klints cietības. Ar laiku cirki viens ar otru var savienoties, veidojot kalnu kores ar piramidālām virsotnēm (*karlings*). Ledāja ielejās pēc ledāja nokušanas bieži var redzēt cietākus asimetriskus kupolveida ieža cilņus, kuriem pret ledāju vērsta nogāze ir lēzenāka, gludāka, bet pretējā — stāvāka, skrambaināka. Šādus izciļņus sauc par *auna pierēm*. Tie ļoti izplatīti Karēlijā, Somijā un Zviedrijā. Pēc ledāja eksarācijas dažreiz ir sastopami cietāki iežu vaļņi — *selgas* —, kas orientētas ledāja kustības virzienā. Galvenām ledāja ielejām bieži pieslēdzas sikākas ledāja ielejas, kuru ieži ir mazāk erodēti un nav tik labi izveidota ledāja ieleja.



56. Reljefa formas, ko izveidojis kalnu ledājs.



57. Ledāja paveida triju tipu morēnas. Pēc kalnu ledāja izkušanas tās izvietotas U veida ielejā (trogā).

Ledāja transportējošā un akumulējošā darbība. Kad ledājs ir sasniedzis noteiktu biezumu (vismaz 100 m) atkarībā no reljefa un klimata, ledāja sega no apledējuma centra sāk virzīties uz perifēriju, savā ceļā noārdot un nesot līdzī daudzu iežu drupu materiālus — mālus, smiltis, lielākus vai mazākus akmeņus. Erodētais un transportētais materiāls ar laiku nogulsņējas, parasti pirms ledāja malas vai tūlīt aiz tās.

○ Iežu materiāls, kas nogulsņējas tuvu ledājam vai uz tā, veido *glaciālos nogulumus*.

○ Nogulumus, kurus veido ledāja kušanas ūdeņi un to straumju pārnestsais un pēc graudu rupjuma sašķirotais materiāls, sauc par *fluvioglaciālajiem nogulumiem*. Tos veido grants, oļi, smiltis u. c.

○ Erodētais materiāls, kas izgulsņējas pieledāja un iekšledāja ezeros, veido *limnoglaciālos nogulumus*. Tie sastāv no bezakmeņu māliem, bet pieledāja ezeros — no slokšņu māliem.

Glaciāliem nogulumiem pieder visi ledāja nogulsnētie iežu materiāli, kuri parasti nav šķiroti, un tos sauc par *morēnām*. Morēnas nogulsņējas tieši no ledāja bez tekošā ūdens palīdzības. Ja ledāja nogulumi ir slāņoti, tie veidojušies, kušanas ūdeņiem tekot pa ledāja plaisām. Kalnu ledāju mēles pārnēs iežu materiālu tūkstošiem kilometru no vietas, kur tie veidojas. Ledāja mēlēm šķērprofilā ir izliekta forma, jo ledāja malas zem sniega līnijas kust ātrāk nekā vidusdaļā. Atkarībā no morēnu izvietojuma attiecībā pret ledāja mēli izšķir dažādus kalnu ledāju morēnu paveidus (57. att.).

○ *Bazālā morēna* veidojas no ledāja apakšējā daļā ieslēgtā drupu materiāla, kura izcelšanās saistīta ar ledāja eksarācijas darbību un ledāja gultnes iežu dēdēšanas produktu pārnesanu.

○ *Iekšējā morēna* veidojas galvenokārt firna baseinos. Dēdēšanas rezultātā no stāvošām nogāzēm, kuras apjož firna apgabalus, izvei-

dojas daudz drupu materiāla, kurš nokļūst uz ledāja un pēc tam pārklājas ar jaunām sniega masām.

○ *Sānu morēnas* veidojas gar ledāja malām nelielu garenu grēdu vai vaļņu veidā.

○ *Viršējā morēna* veidojas no nogruvumiem, noslīdeņiem vai no sadēdējušiem iežiem, kuri nokļūst ledāja virspusē.

○ *Vidus morēna* veidojas, saplūstot diviem ledājiem un apvienojoties to sānu morēnām.

Kontinentālajos ledājos galvenokārt veidojas bazālā morēna, jo ledāja lielais biežums un intensīvā eksarējošā darbība piesātina apakšējos slāņus ar drupu materiālu. Ja apakšējā ledus slānī iežu kļūst vairāk nekā ledus, ledājs vairs nespēj pārvietoties, apakšējā daļa atslāņojas, paliek uz vietas, sāk kust un sākas pamatmorēnu nogulsnešanās.

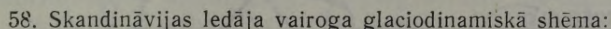
Kontinentālajiem ledājiem šķērsojot paaugstinājumus un citas lielākas reljefa formas, veidojas ledus šķeluma plaknes, pret ledāja gultni slīpas plaisas, pa kurām iežu materiāls tiek pārvietots uz augšu, radot iekšējai morēnai līdzīgus veidojumus.

Kvartārais apledojums un kvartāra nogulumu izveidotās reljefa formas Latvijā

Kvartāra periods (pieņemtais apzīmējums Q) ir pats jaunākais Zemes ģeoloģiskajā vēsturē. Kvartāra perioda sākumā, t. i., pirms apmēram 1,7 miljoniem gadu, mērenajā joslā gada vidējā temperatūra salīdzinājumā ar neogēnā perioda klimatu pazeminājās apmēram par 3°C, bet kalnu rajonos pat vēl vairāk. Zemā temperatūra un bagātais nokrišņu daudzums sekmēja sniega saglabāšanos uz sauszemes, tā uzkrāšanos no gada gadā lielās platībās un pakāpenisku pārveidošanos par firnu un glečera ledu.

Kvartāra periodā visplašākie ledāji izveidojās ziemeļu puslodē, kur galvenie apledojuma centri Eirāzijā bija Skandināvija, Novaja Zemļa salas un Taimirs. Lielākie kalnu šlūdoņi Eiropā bija Alpos. Katram apledojumam sekoja *starpledus laikmets* jeb *interglaciālais laikmets*. Starpleduslaikmeti sākas ar vispārēju temperatūras paaugstināšanos. Skandināvijas ledāja vairoga izvietojumu un tā centra novietojumu noteica zemledāja reljefs un klimatiskie apstākļi. Zemledāja virsmas reljefs noteica arī ledāja plūsmas virzienus. No vairoga centrālās, visaugstāk paceltās daļas ledus masas noplūda uz perifēriju. Apledojuma plūsmas virzieni galvenokārt noteikti pēc vadlaukakmeņu izvietojuma attiecībā pret sākotnējo iežu izplatības areālu. Daži Latvijā raksturīgi laukakmeņi (sarkanais un brūnais Baltijas jūras kvarcporfīrs u. c.) magmatisko iežu veidā sastopami tikai Skandināvijā, kas liecina, ka tur bijis apledojuma centrs.

Pēc ledāja skrambām uz dolomīta virsmas noteikts arī ledāja kustības virziens. Latvijā tas virzījies uz dienvidiem, dienvidaustrumiem un dienvidrietumiem.



Skandināvijas ledāja centrālajā daļā izveidojās galvenā *ledus šķirtne*. Skandināvijas pēdējā apledojuma ledāja vairoga nogāzēs veidojās austrumu un rietumu ledāja plūsmas, kas perifērijā sadalījās *lobos*. Pēc A. Asēja atzinuma, no Skandināvijas pēdējā apledojuma Baltijas ledāja plūsmas Latvijas teritorijai pāri virzījās sadaļšie Rīgas un Kuršu lobi, bet no Somijas ledāja plūsmas — Pleskavas lobs (58. att.). A. Asējs atkarībā no ledāja dinamiskās darbības virzienā no apledojuma centra uz perifēriju izšķir šādas kontinentālās ledāja ģeoloģiskās darbības zonas:

153

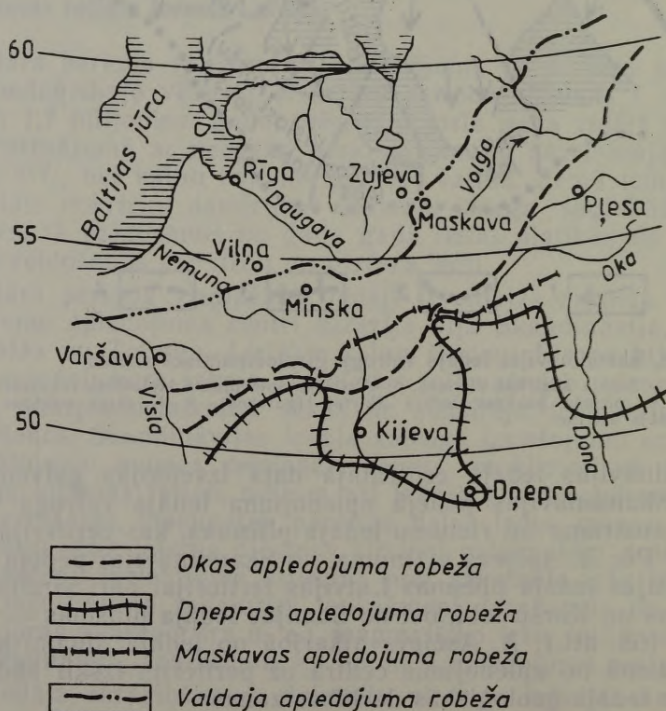
○ dominējošā intensīvā ledāja erozijas zona, kas saistās ar ledāja vairoga nogāzi, tajā veidojās nogludināti, liela izmēra klints blūķi (auna pieres un cietāki iežu vaļņi), kas orientēti ledāja kustības virzienā, — *selgas*;

○ dominējošā pamatmorēnu akumulācijas zona, kas izplatīta ledāja vairoga malās;

○ periglaciālā zona, kurā noris ledāja kušanas ūdeņu darbība un citas periglaciālās parādības.

Dominējošo pamatmorēnu akumulācijas un periglaciālajā zonā pēc teritorijas atbrīvošanās no ledāja segas un tā jaunas uzvirzīšanās gaitā veidojās pamatmorēnu reljefs ar raksturīgām reljefa formām, to tiptiem un kompleksiem.

Latvijas teritorijā kvartāra nogulumu sega izveidojusies četros apledojumos un trijos atbilstošos starpleduslaikmetos (59. att.). Pēc Latvijas stratigrāfiskā iedalījuma shēmas ir 4 leduslaikmeta svītas — Latgales, Lētižas, Kurzemes, Baltijas — un 3 starpleduslaikmeta svītas — Židiņu, Pulvernieku un Felicianovas. Apledojumi atstāja ledāja un tā kušanas ūdeņu nogulumus, bet starpleduslaikmetiem raksturīgi ir aluviālie, upju, ezeru, purvu un jūru nogulumi. Virs šiem nogulumiem sastopami dažādas ģenēzes pēcleduslaikmeta kontinentālie un Baltijas jūras nogulumi. Izveidotās kvartārās segas



59. Kvartāra apledojuma robežas.

biezums ir dažāds un ļoti atkarīgs no pirmskvartāra iežu virsmas reljefa, kuru virsmas absolūtie augstumi noteikti pēc urbumu datiem. Latvijas zemkvartārās virsmas absolūtie augstumi mainās no 169 m virs jūras līmeņa Alūksnes augstienē līdz 283 m zem jūras līmeņa Jūrmalā. Biezākie kvartāra nogulumi ir konstatēti *iegultnēs* — dziļos ielejveida pamatiežu virsmas pazeminājumos, kuri piepildīti ar kvartāriem iežiem. Pie Aknīstes šādā iegultnē konstatēta Latvijā biezākā kvartāra sega — 302 m. Biezi kvartāra nogulumi atrodas arī salveida un marginālās augstienēs (Vidzemes Centrālā, Latgales u. c.). Plānākie kvartāra nogulumi ir līdzenumos, un to biežums nepārsniedz 20—30 metrus, bet parasti ir tikai ap 10 metriem.

Latvijas zemes virskārtu veido irdenie leduslaikmeta un pēcleduslaikmeta nogulumi: māla, smilšmāla un mālsmilts morēnas, fluvio-glaciālās (strauju ledāja kušanas ūdeņu nogulsnetās) un limnoglaciālās (stāvošu ledāja kušanas ūdeņu nogulsnetās) smiltis, aleirīti, māli un slokšņu māli. Sastopami arī jūras, upju un ezeru nogulumi: smiltis, aleirīti, dažādi māli, kūdras. Uz šiem nogulumiem veidojušās Latvijas augsnes. Augsnes cilmiezis lielā mērā nosaka augsnes īpašības, tās auglību.

Latvijā augšņu veidotāji cilmieži galvenokārt ir pārskaloti morēnu materiāli, kas kopā ar morēnu veido vairāk nekā 60% no visiem augsnes cilmiežiem. Izplatītākais augsnes cilmiezis ir smilšmāla morēna.

Kvartārie nogulumi veido arī pašreizējās reljefa formas un tā ģenētiskos tipus. Reljefa loma augsnes veidošanā ir daudzpusīga. Tas ietekmē augsnes mitruma režīmu, temperatūru, kā arī veģetāciju. Katra reljefa izmaiņa izraisa lielāku vai mazāku augsnes īpašību maiņu. Pašreizējā reljefa veidošanā galvenā nozīme bija kvartāra perioda apledojumam, īpaši pēdējam — Virsmas apledojumam. Reljefa veidošanos ietekmēja pamatiežu virsmas pacēlumi, kas kavēja ledāja kustību. Tā rezultātā norisa ledus plaisāšana. Pa plaisām drupu materiāls tika izspiests vai pārvietots uz augšu. Pastiprinājās zemledus akumulācija, un veidojās bieža morēnas sega, virs kuras vēlāk caurkusumos uzgulsnējās fluvio-glaciālie un limnoglaciālie nogulumi, veidojot pozitīvās reljefa formas. Pēcleduslaikmeta reljefa formas un to kompleksi upju un gravu tīkla attīstības gaitā, vēja darbības, jūras, ezeru un purvu veidošanās procesos, kā arī antropogēnās iedarbības rezultātā daļēji tika pārveidoti.

Reljefa formas, to tipi un kompleksi

Ar reljefa ģenētisko tipu saprot reljefa formu sakopojumu noteiktā teritorijā, kurām ir ne tikai līdzīga morfoloģija, bet arī iekšējā uzbūve un izcelšanās.

Pēc G. Eberharda izstrādātās glaciālās ģeomorfoloģijas, reljefu atkarībā no tā ģenēzes iedala šādos tipos:

- *glacigēnais* (ledāja ietekmē),
- *fluvio-glaciālais* (strauju ledāja kušanas ūdeņu ietekmē),

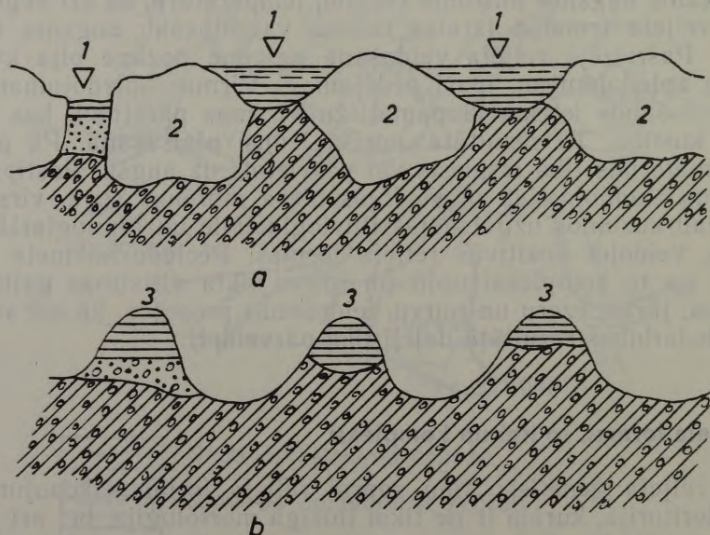
- *limnoglaciālais* (ledāja ezeru ietekmē),
- *glaciālais* (dažādas ģenēzes),
- *pēclieduslaikmetā* izveidojies reljefa tips.

Glacigēnās reljefa formas. Izšķir glacigēno akumulācijas un glacigēno erozijas—akumulācijas reljefu.

Glacigēnie akumulācijas reljefa veidojumi ir lielie morēnu pauguru masīvi ar izveidotiem pirmmasīviem — morēnu pauguri, morēnu uvāli jeb valnuļi, gredzenveida morēnu grēdas, kā arī pamatmorēnu līdzenumi un drumliņi.

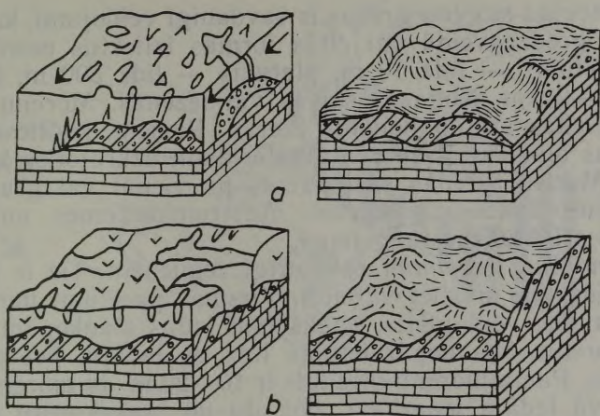
Lielie morēnu pauguru masīvi veido divējādas salveida augstienes.

○ Vienas no tām ir salveida augstienes, kurās ietilpst pauguraines ar biezu ledāju un lielu absolūto augstumu. Piemēram, Vidzemes Centrālā augstiene, Alūksnes augstiene u. c. Tām raksturīgs daudzveidīgs reljefa komplekss, kurā centrālo daļu — lielpaugura masīvu — parasti veido aprimušā ledāja izveidotās reljefa formas, bet perifēriju — aktīvā ledāja reljefa formas. Visaugstāk pacelto augstieņu zonu veido iekšējie pirmmasīvi. Tie sastopami salveida augstienēs (Vidzemes Centrālā, Alūksnes augstiene) un marginālajās augstienēs (Augšzemes, Latgales augstiene). Pirmmasīvos sastopami augsti kupolveida kēmu pauguri (Lielais Liepu kalns — Latgales augstienē, Dēliņkalns — Alūksnes augstienē u. c.). Daļa pirmmasīvu veidojušies pamatiežu izciļņa kavējošā ietekmē, kas veicināja ar morēnu pārsātinātā apakšējā ledus slāņa plaisāšanu un



60. Lielpauguru veidošanās shēma:

a — lielpauguru veidošanās aprimušā caurkusuma ezeros, uzkrājoties limnoglaciālām nogulumiem, *b* — pauguru reljefs pēc pilnīgas ledus izkušanas;
 1 — ledus caurkusuma ezeri, 2 — aprimušais ledus, 3 — platoveida pauguri.



61. Morēnu pauguru veidošanās shēma:
a — aktīvā ledus zonā, b — aprīmušā ledus masīvā.

sašķelto ledus plākšņu pacelšanos uz augšu. Plaisas pakāpeniski aizpildījās ar morēnu iežiem un pārskalotajiem materiāliem. Kad ledus biezums samazinājās, uz tā virsmas un caurkusumos veidojās kušanas ūdeņu baseini, kuros uzkrājās bezakmens māli. Pēc aprīmuša ledus pilnīgas izkuššanas ledus caurkusuma ezeros izveidojās pozitīvas formas platoveida pauguri, bet bijušo ledus blāķu vietā — starppauguru ieplakas (60. att.).

○ Otra salveida augstieņu grupa ir pauguraines ar plānāku ledāja segu, kurās morēnu pauguri parasti sastopami kopā ar kēmu pauguriem (Austrumkurzemes un Rietumkurzemes augstienes).

Morēnu pauguri ir viena no izplatītākajām glacigēnās akumulācijas formām. Tās parasti ir noapaļotas vai nedaudz garumā izstieptas reljefa formas līdz 300 m diametrā, kuru relatīvais augstums sasniedz 30 m. Morēnu pauguri veidojušies gan no aktīva, gan aprīmuša ledāja apakšējās daļas, pastiprināti nogulsņējoties morēnu materiālam (61. att.). Nelielās grupās tie sastopami līdzenumu rajonos, bet augstienēs veido morēnu pauguru reljefa tipu (62. att.).

Morēnas uvāli jeb valnuļi ir garenas valņveida reljefa formas ar lēzenām nogāzēm, kas sastopami zemienēs, izvietoti grupās, orientēti ledāja kustības virzienā. Pēc ārējā izskata valnuļi atgādina drumlinus, bet to iekšējā uzbūvē atšķirībā no drumliniem nav ledāja eksarācijas pazīmju un pamatieža kodola. Morēnas uvālu relatīvais augstums ir 10—20 m, garums — 0,5—20 km, bet platums ļoti dažāds — 100—1500 m.

Morēnas uvāli sastāv no smilšmāla vai mālsmilts morēnas ar smilts un grants lēcām. Uzskata, ka morēnas uvāli veidojušies, morēnu materiālam uzkrājoties ledāju mēļu distālās daļas plaisās, ja pa tām nav notikusi intensīva kušanas ūdeņu cirkulācija. Morēnu uvāli izplatīti Austrumlatvijas zemienē starp Pļaviņām, Ļaudonu un Līvāniem, Viduslatvijas nolaidenumā un citur.

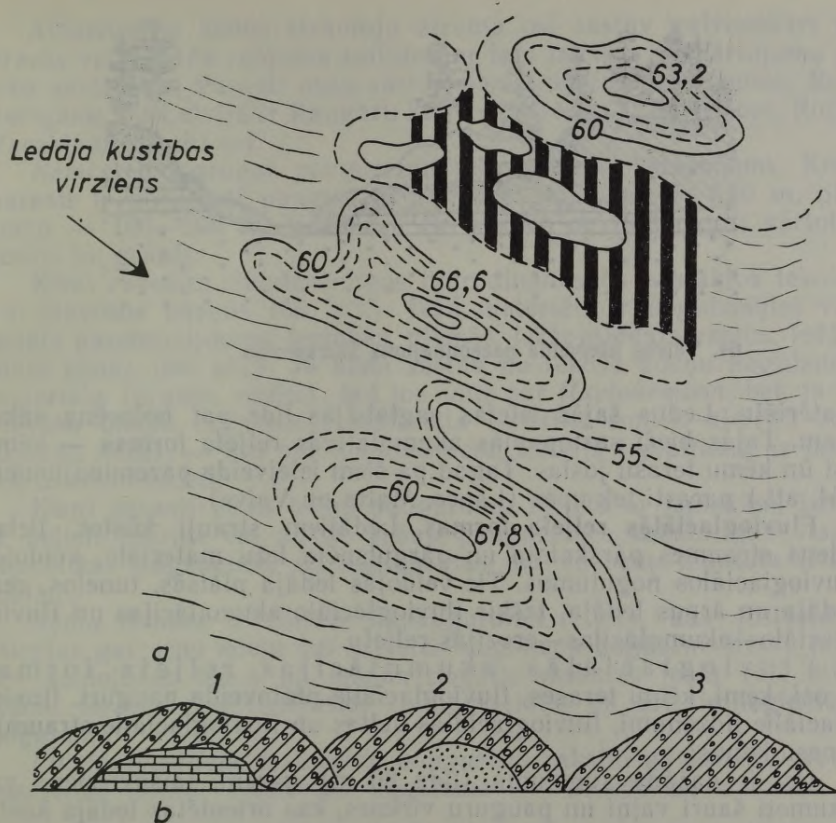
Gredzenveida morēnu grēdas ir savdabīgi veidojumi, kas atgādina sirpjveidā, gredzenveidā vai citās formās izliektus morēnu vaļņus. Grēdu augstums — līdz 10 m, platums — līdz 500 m, bet garums sasniedz 1—2 km. Nogāzes stāvas vai lēzenas. Morēnu grēdu noslēgtās ieplakās sastop nelielus ezerus. Pieņem, ka tie veidojušies, kūstot ledus blāķiem un morēnu materiālam uzkrājoties ledus plaisu sistēmās. Morēnu grēdas sastopamas pa vienai vai grupās Latgales augstienē Rundēnu apkārtnē, Austrumkurzemes augstienē ap Blīdeni, kā arī Alūksnes augstienē.

Pamatmorēnu līdzenumi raksturīgi zemienēm. Tie ir līdzeni, bet dažreiz mēdz būt mazliet viļņaini. Virsmas pacēlumi parasti nepārsniedz 5 m. Tie veidojušies, apakšējām ledus slāņkopām pieblīvējoties ar morēnu, kas nepārvietojās līdz ar ledāju, bet pakāpeniski nogulsnējās. Pamatmorēnu biezums ir 10—20 m. Ja morēna izgulsnējusies aktīvā ledāja iedarbībā, tad oļu un laukakmeņu garākā ass orientēta ledāja kustības virzienā. Dažreiz daļu no pamatmorēnu līdzenuma var pārklāt fluvioglaciālie un limnoglaciālie nogulumi.

Drumlini ir pamatmorēnu līdzenumā izveidojušies ledāja kustības virzienā orientēti eliptiski pauguri (63. att.). Tie piešķir ainavai īpatnēju raksturu. Izplatīti ziemeļrietumu Vidzemē starp Valmieru un Rūjienu, kā arī Dienvidkurzemē. Drumlinu izveidošanos izskaidro vairākas teorijas. Uzskata, ka drumlini ir aktīvā ledāja veidojumi, kuri radušies līdzīgi kā upē rodas sēkļi pie kāda šķēršļa. Morēnu saturošā ledū, bremzējoties aiz šķēršļa, sākās iežu materiāla akumulā-



62. Morēnu pauguraines ainava.



63. Drumlini:

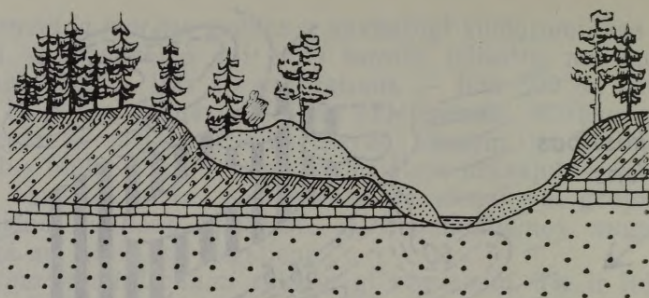
a — drumlini topogrāfiskajā kartē uz ziemeļaustrumiem no Valmieras;

b — drumlinu tipi:

1 — ar pamatiežu kodoi, 2 — ar fluvioglaciālo nogulumu kodolu, 3 — drumlini, kuros bieži sastopami purvi.

cija. Latvijā drumlinu augstums parasti ir 5—20 m virs apkārtnes reljefa, garums — 1—2 km un platums — 200—500 m. Šie eliptiskās formas pauguri parasti sastāv no morēnas ar smiltis un grunts lēcām, paugura pamatā reizēm ir pamatiežu izciļņi. Var būt arī tādi drumlini, kuri sastāv tikai no grants un oļiem un kuros klāj plāna morēnu sega. Drumlinus savstarpēji atdala šauri pazeminājumi, kuros bieži sastopami purvi.

Ledāja eksarācijas—akumulācijas reljefa formas Latvijā pārstāv *ielejveida pazeminājumi* — taisnas vai līkumotas dziļas negatīvas reljefa formas, kuras iegrauzušās pamatiežos. To garums var pārsniegt 10 km, platums — līdz 2 km, dziļums — 10—40 m. Šīs reljefa formas veidojušās, ledājam virzoties pa senajām pirmskvartāra ielejām, tās paplašinot un pēc tam pieblīvējot ar nekustīgu ledu, kas ielejas pasargāja no aizpildīšanās ar morēnu



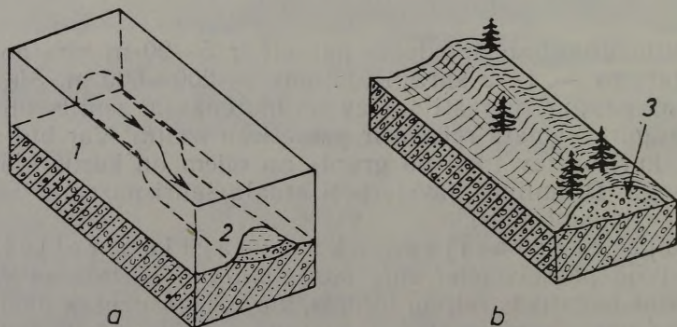
64. Vaives ielejveida pazeminājuma šķēršprofils.

materiālu. Ledus šajās ielejās saglabājās līdz pat holocēna sākumam. Tajās bieži sastopamas akumulatīvās reljefa formas — kēmi, osi un kēmu terašu joslas. Tagad pa šiem ielejveida pazeminājumiem (64. att.) parasti tek upes (Lauce, Malta un Vaive).

Fluvioglaciālās reljefa formas. Ledājiem strauji kustot, liels ūdens straumes pārskaļoja un pārgulsnēja iežu materiālu, veidojot fluvioglaciālos nogulumus. Tie veidojās ledāja plaisās, tuneļos, zem ledāja un ārpus ledāja. Izšķir fluvioglaciālo akumulācijas un fluvioglaciālo—akumulācijas—erozijas reljefu.

Fluvioglaciālās akumulācijas reljefa formas ir osi, kēmi, kēmu terases, fluvioglaciālie platoveida pauguri, fluvioglaciālie līdzenumi, fluvioglaciālās deltas un fluvioglaciālie straujumu iznesu konusi.

Osi ir dažāda augstuma (līdz 80 m) gareni, taisnvirziena vai līkumoti šauri vaļņi un pauguru virknes, kas orientētas ledāja kustības virzienā. To garums ir 0,1—100 km, platums — 10—500 m, nogāzu slīpums parasti ir 20°—30°. Osī veidojās kā ledāja upju gultņu nogulumu ledāja plaisās, tuneļos, kā arī zem ledāja un ārpus tā (65. att.). De Gērs osus uzskata par ledāja upju deltu konusu virkni.



65. Osa veidošanās shēma:

a — kušanas ūdeņu straume ledāja tunelī, b — pēc ledāja izkušanas izveidojies oss;

1 — ledājs, 2 — tunelis, 3 — oss.

Atkarībā no ūdens straumju ātruma osi sastāv galvenokārt no grants vai dažāda rupjuma smiltīm, ar labi iztektu slīpkārtojumu pa iežu sastāviem. Parasti osus sastop pamatmorēnu līdzenumos. Raksturīgākie osi Latvijā ir Kangaru kalni, Kausa, Zagares, Vilces, Ruļļu, Varakļānu un citi osi.

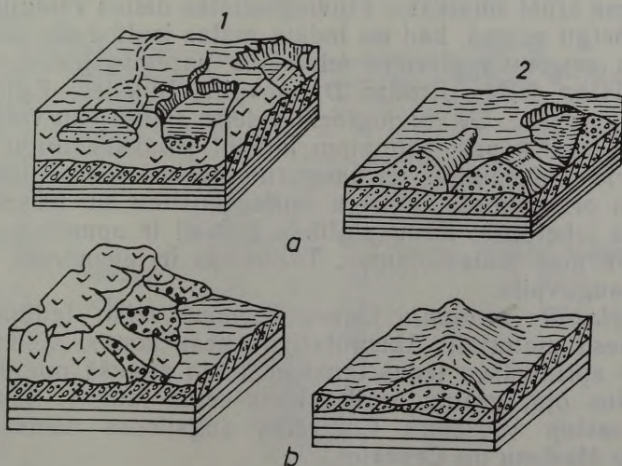
Kēmi veido grupas pauguraiņu reljefā, retāk līdzenumos. Kēmi parasti ir noapaļoti pauguri ar relatīvo augstumu 5—100 m, platumu — 100—200 m. Visbiežāk tie sastāv no horizontāli kārtotas smilts un grants.

Kēmi radušies daudzveidīgos hidrodinamiskos apstākļos tekošos vai stāvošos ūdeņos (66. att.). Iežu materiāls ir nogulsņējis virs ledāja pazeminājumos, ieplakās, plaisās, iekšpusledāja ezeros, ledāja malu zonās (66. att.). Ja kēmi sastāv no tekošu ūdeņu nogulsnēta materiāla (grants, smilts), tad tos sauc par *fluviokēmiem*, bet, ja no stāvošu ūdeņu nogulsnēta materiāla (smalka smilts, aleirīti, bezakmeņu māli), — tad par *limnokēmiem*. Latvijā izplatītākie ir jauktas izcelsmes kēmi.

Kēmi parasti veido kēmu paugurainu reljefu ar ieplakām, kurās ir nelieli ezeriņi vai purvi. Kēmu pauguraines raksturīgas visām republikas augstienēm un sastopamas arī uz seno mantoto ieleju malām.

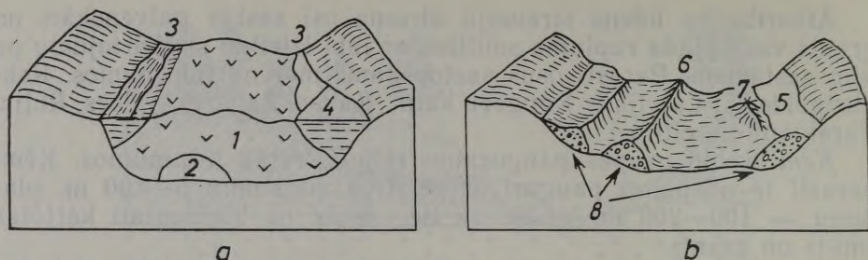
Kēmu terases ir viļņots sīkpaugurains reljefs, kas joslveidīgi stiepjas gar seno ieleju vai salveida augstieņu nogāzēm. Kēmu terases veidojušās ledus un ielejas nogāžu saskares joslā (67. att.). Kēmu terasēs nogulsņējušies fluvioglaciālie un arī limnoglaciālie nogulumi.

Fluvioglaciāliem platoveida pauguriem raksturīga ieapaļa (retāk iegarena) forma, relatīvais augstums — 20—40 m, laukums —



66. Kēmu tipi:

a — kēmu veidošanās iekšpus ledāja (1), virsledus apstākļos (2), b — kēmu veidošanās pie ledāja malas.



67. Kēmu terases:

a — reljefa formu veidošanās, *b* — reljefa formas pēc ledus izkuššanas;

1 — aprimušais ledus, 2 — zemledus kušanas ūdeņu tunelis, 3 — kušanas ūdeņu straumes, 4 — kušanas ūdeņu ezers, 5 — kēmu terases, 6 — oss, 7 — atsevišķi kēmu pauguri, 8 — kušanas ūdeņu nogulas.

1—3 km². Nogāzes stāvas, reizēm sašķeltas ar gravām. Platoveida pauguri sastāv no rupja šķirota oļu—grants materiāla ar izteiktu slīpkārtojumu. Tie veidojušies lielās valējās ledāja plaisās, kušanas ūdeņiem tur sanesot rupjo materiālu. Sastopami Latgales augstienes centrālajā daļā ap Dubuļiem, Vidzemes Centrālajā augstienē ap Ērgļiem—Vestienu un citur.

Fluvioglaciālie līdzenumi radušies no ledāja malas izplūstošajiem ūdeņiem, izgulsnējot smilšaini grantainus 1—12 m biezus nogulumus, kuri veido plašus smilšu līdzenumus. Šādi līdzenumi ir veidojušies arī aiz gala morēnu joslām, salveida augstieņu pakājes joslā. Parasti tos sauc par *sandriem*.

Fluvioglaciālās deltas veido no 100 m līdz dažiem kilometriem platus vēdekļveidīgus pacēlumus. Šie lēzeni slīpie līdzenumi sastāv no bieziem oļu, grants un smilts nogulumiem, kuru materiāls distālajā virzienā kļūst smalkāks. Fluvioglaciālās deltas veidojušās leduslaikmeta beigu posmā, kad no ledāja malas izplūstošie ūdeņi ienesa pārskaloto morēnu materiālu ielejveida pazeminājumos. Uz šādas fluvioglaciālās deltas atrodas Daugavpils, Ilūkstes—Eglaines upju sateces rajons u. c. Uz fluvioglaciālo deltu smiltājiem vēlāk izveidojušās iekšzemes kāpas. Klimatam kļūstot siltākam, augu sega pārklāja ne vien līdzenumus un paugurus, bet arī šos smiltājus. Virši, mētrāji un priežu meži apturēja smilšu kustību, un iekšzemes kāpu veidošanās izbeidzās. Kāpu platības parasti ir apmežotas un lauksaimniecībā maz izmantojamas. Tādas tās ir, piemēram, uz ziemeļiem no Daugavpils.

Fluvioglaciālo straumju iznesu konusu veido ledāja kušanas ūdeņu iznesu materiāli. Akumulatīvi iznesu konusi veidojušies, izplūstot no aprimušiem ledus laukiem un to priekšā nogulsnējot slīpus viļņotus oļu, grants, smilts konusveida laukus. Šādus iznesu konusus sastop Vidzemes Centrālās augstienes dienvidaustrumu malā starp Madonu un Cesvaini.

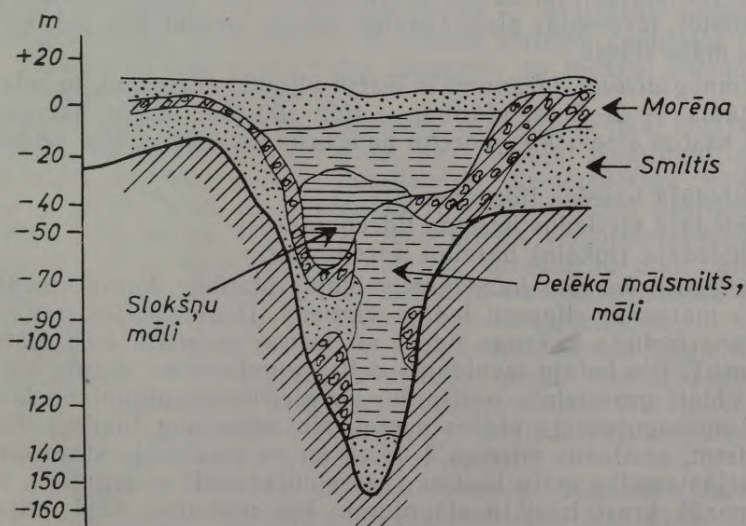
Fluvioglaciālās akumulācijas—erozijas reljefa formas. Pauguraines un līdzenumus bieži šķērso dziļas un platas ielejas, kuras stipri izmaina ūdens režīmu un rada augsnes

dažādību. Liela daļa šo plato ieleju ir poligenētiskas reljefa formas, ko veidojuši ledāja kušanas ūdeņi un lielo baseinu noplūšanas ūdeņi vai arī pēcdeduslaikmeta atmosfēras un gruntsūdeņu noplūšana.

Latvijā bieži sastopamas *pieledāja baseina ūdeņu pārrāvuma ielejas*. Tās ir 2—5 km platas, līdz 80 m dziļas terasētas ielejas, kuras veidojušās, augstākām pieledāja ūdens tilpēm noplūstot uz zemākām. Ilgstoši pastāvošu lielu ūdenstilpju ūdeņim noplūstot, veidojās vairākas virspalu terases. Parasti pa šīm plašajām ielejām tek pēcdeduslaikmeta upes. Piemēram, Abavas—Slocenes ielejā — Abava, Salacas ielejā — Salaca u. c.

Sastopamas ir arī *pieledāja baseina upju pieteku ielejas*, kuras arī ir terasētas, 2—4 km platas, bet tikai 20—40 m dziļas. Tās veidojuši kušanas ūdeņi un nokrišņi, ledājam atkāpjoties. Tā, piemēram, pa šādām ielejām plūst Lielā un Mazā Jugla. Lielās ielejas, kas sastopamas arī augstienēs, veidoja ledāja kušanas ūdeņi, plūstot uz zemienēm (Raunas, Amatas, Tebras ielejas). Ir sastopamas arī ledāja kušanas ūdeņu islaicīgas noplūdes ielejas. Parasti tās ir plašas plakandibena ielejas bez terasēm, kurās upju bieži vien nemaz nav.

Subglaciālās vagas ir īpatnējas taisnvirziena vai likumotas, šauras, līdz 40 km garas gultnes ar nelīdzenu dibenu. Vagas nogāzes parasti ir stāvas, to slīpums — 20° — 40° . Subglaciālās vagas var būt atvērtas vai abos galos slēgtas, tajās parasti atrodas gareni, šauri un dziļi ezeri. Piemēram, tāds ir 50 m dziļais Cieceres ezers, 33 m dziļais Raipaļa ezers, 30 m dziļais Baltiņš, kā arī Valguma, Bānužu, Sārcenes, Raiskuma, Vaidavas ezers, Lielezers u. c. Subglaciālās vagas var būt piepildītas ar iežu materiālu, tad tās sauc par *subglaciālām iegultnēm* (68. att.). Subglaciālās vagas orientētas ledāja



68. Ventspils subglaciālā iegultne.

kustības virzienā un sastopamas kā zemienēs, tā augstienēs. Uzskati par šo vagu veidošanos ir dažādi. Vairums zinātnieku domā, ka tā ir saistīta ar ledāja eksarējošo darbību, ledāja kušanas ūdeņu erodējošo darbību, no ledāju malām tiem gāzoties plaisās. Tās uzskata arī par zemledus kušanas ūdeņu erozijas formām aktīvā ledāja perifērijas zonā, kur erozijas padziļinājumā ūdens sasalis līdz dibenam un nākamajā vasarā vairs nav izkūsis, bet ziemā pārklājies atkal ar jaunu ledus segu. Vagā apraktais ledus izkūsis tikai leduslaikmeta beigu posmā vai holocēnā.

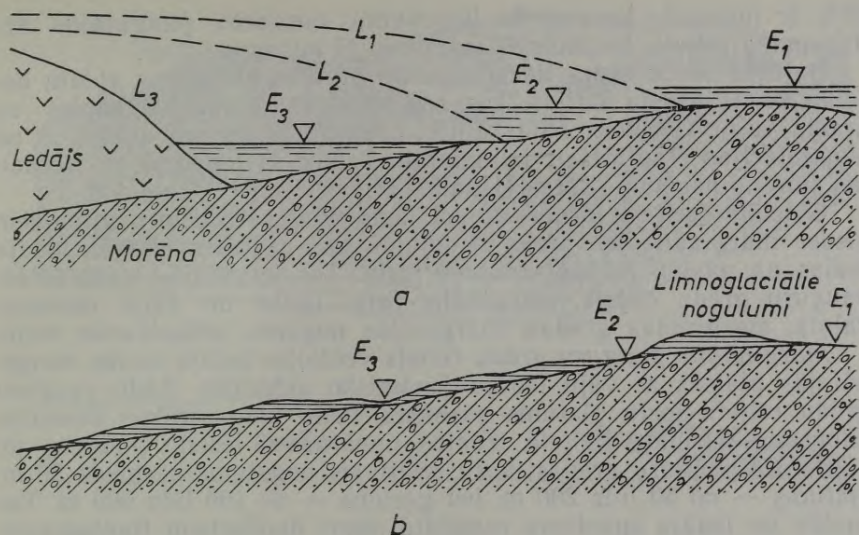
Limnoglaciālās reljefa formas. Limnoglaciālās akumulācijas veidotās reljefa formas sastopamas kā augstienēs, tā zemienēs. Augstienēs dominē pauguru reljefa formas, bet zemienēs — dažāda tipa limnoglaciālie līdzenumi. *Platoveida pauguri* ar limnoglaciālo nogulumu segu sastopami augstienēs. Tie ir dažādi, parasti lieli, ar stāvām nogāzēm norobežoti plakanvirsmas pauguri, kuru pamatā ir morēnas vai fluvioglaciālie nogulumi, ko no virspuses sedz līdz 20 m biezi limnoglaciālie nogulumi. Pauguru augstums sasniedz pat 50 m, platība — no 1 līdz 20 km². Platoveida pauguri sastopami visās salveida augstienēs, un tos sauc par *zvonciem*. Šo pauguru morēnas kodols veidojies aktīvā ledāja apstākļos, no ledus apakšējās daļas nošķeloties ledus plātnei. Aktīvajam ledum pārvēršoties aprimušā ledus masīvā, radās caurkūsumi, kuros izveidojās kušanas ūdeņu baseini un uzkrājās baseina māli.

Limnoglaciālie uvāli (valņūši) ir pozitīvas limnoglaciālās formas — lēzeni, garenī 1—2 km gari pauguri, to relatīvais augstums — līdz 15 m, platums — 50—200 m. Parasti tie sastāv no divām atšķirīgu nogulumu daļām. Kodolu veido pelēki slokšņu māli, bet virsu sedz brūni māli. Pieņem, ka tie sākuši veidoties aprimušā ledāja radiālajās plaisās vai caurkūsumos, bet vēlāk, ledājam intensīvi kūstot, izveidojās plaši kušanas ūdeņu baseini, kur uzkrājās virsējais māla slānis.

Limnoglaciālie līdzenumi ir lēzeni viļņoti, līdzenumi, to relatīvais augstums — 2—5 m, platība — līdz 100 km². Tajos dažreiz salūveidā sastop atsevišķus morēnu paugurus vai kēmus. Pēc veidošanās izšķir

- pieledāja baseina līdzenumus,
- pieledāja virsledus baseina līdzenumus,
- iekšledāja (lokālo) baseinu līdzenumus.

Pieledāja baseina līdzenumi veidojās platībās, kuras atradās pie ledāja malas ar slīpumu ledāja virzienā. Deglaciācijas gaitā šajos baseinos ieplūda kušanas ūdeņi un ienesa sezonālu iežu materiālu (69. att.). Pie ledāja izveidojās deltu nogulumi no grants un smiltīm. Vidēji graudainie smilšainie un aleirītu nogulumi no kušanas ūdeņiem nogulsņējās plašos ezeros aiz deltu nogulumiem. Ezeram aizsalstot, zemledus mērīgajā ūdenī un no zemledāja straumēm nogulsņējās smalka mālu kārtiņa. Tā veidojās māli ar regulāru, vairāk vai mazāk krasi izteiktu slāņojumu, kur mālainie slāņi mijas ar smilšu vai aleirīta slāņiem. Slāņi veidojas sezonāli, atbilstoši gada-laiku maiņām. Abi slāņi (smilšainie un mālainie) veido vienu gada



69. Pieledāja baseina limnoglaciālo līdzenumu veidošanās shēma:

a — pieledāja baseina līmeņu pazemināšanās līdz ar ledāja atkāpšanos;
 L_1 , L_2 , L_3 — iepriekšējie ledāja malas stāvokļi; E_1 , E_2 , E_3 — pieledāja baseinu līmeņi;
b — limnoglaciālais līdzenums pēc baseina nopliūšanas.

sloksni (varvi), tāpēc arī šos nogulumus sauc par *slokšņu māliem*. Īsajās vasarās viļņošanās rezultātā veidojās krastu abraziņas kāples, akumulatīvas krasta formas u. c. Pieledāja baseina nogulumu ir 1—20 m bieži. Baseina dziļākajās daļās nogulsņējās sloksņu māli, seklākajās — aleirīti, bet piekrastes joslās — smilšainie nogulumu. Raksturīgi sloksņu mālu nogulumu baseini atrodas Zemgales līdzenumā, Daudzevas līdzenumā starp Daugavu un Iecavu, Rietumkurzemē — Apriķu mālu baseinā u. c.

Pieledāja virslede baseina līdzenumi veidojās ne tikai ledāja malas priekšā, bet uzslāņojās arī daļai paša ledāja. Nogulumu uzkrājās uz ledu un, tam kustot, nogulsņējās nevienmērīga biezuma (20 cm — 20 m) slāņi uz zemledāja virsmas, veidojot pastiprinātu līdzenuma artikulāciju (70. att.). Seno krastu veidojumi sastopami tikai retās vietās. Radušies nogulumu ir bezakmeņu māli, aleirīti, retāk sloksņu māli. Raksturīgākie pieledāja virslede baseina līdzenumi ir Lubānas līdzenums un Vidusdaugavas līdzenums.

Iekšledāja baseina līdzenumi veidojās leduslaikmeta beigu posmā iekšpus ledāja lokālos baseinos tuvu ledāja malai. Tur uzkrājās kušanas ūdeņu izgulsnētie bezakmeņu māli, aleirīti un smiltis. To slāņu biezums nepārsniedz 6 m. Baseinu krasti ir vāji izteikti, dažreiz līdzenuma centrā atrodas ezers vai purvs.

Arī *Baltijas ledu ezera dažādās stadijās veidotais līdzenums* pieder limnoglaciālās izcelsmes nogulumu. Tas aizņem 5—50 km plašu joslu gar visu Baltijas jūras piekrasti. Līdzenumu veido līdz 20 m biezs smilšaino jūras nogulumu slānis, to sastāvē vairāk par

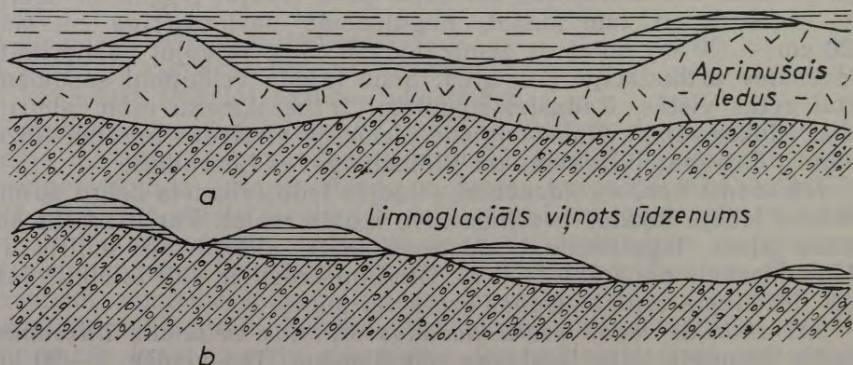
90% ir minerāls kvarcs. Šo līdzenumu norobežo paugurains vai līdzenuma reljefs, ko veidojis ledājs un tā kušanas ūdeņi.

Baltijas ledus ezera līdzenumu no pārējās teritorijas atdala baseina senās krasta līnijas, kas redzamas kā abrāzijas kāpļes un krasta vaļņi (Slīteres Zīlie kalni). Līdzenuma virsma abrāzijas un akumulācijas rezultātā ir izlīdzināta. Tomēr sastopamas arī abrāzijas morēnu pacēluma salas (Ugāles, Popes u. c.).

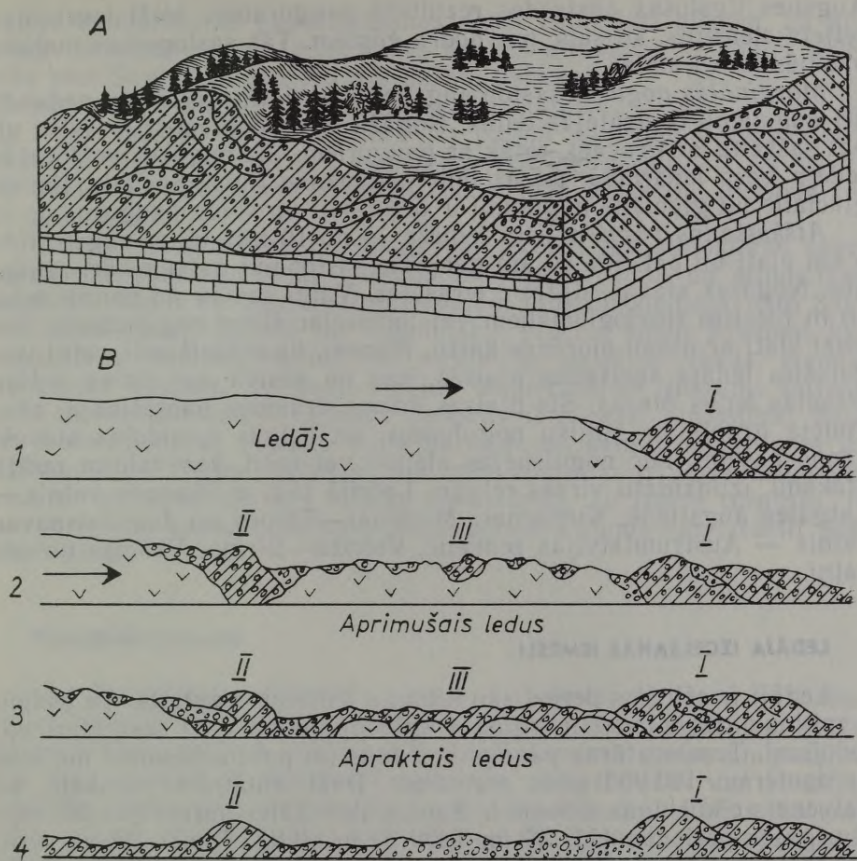
Glaciālās reljefa formas. Glaciāliem poligenētiskiem nogulumiem pieder marginālie jeb malu veidojumi, kas radušies aktīvās ledāja malas un pasīvā ledāja saskares joslā. Tur izveidojās marginālais pauguru grēdu reljefs, marginālie vaļņi (gala un sānu morēnas vaļņi), marginālās grēdas, marginālās nogāzes, atšķelšanās vaļņi.

Marginālais pauguru grēdu reljefs veidojies ledāja malas marginālajās plaisās ar vāju ledāja dinamisko aktivitāti. Šādu pauguru grēdu reljefa joslu platums sasniedz vienu vai vairākus desmitus kilometru garumu. Reljefā izdalās lineāru vai lēzenu pauguru un vaļņveida pauguru grēdas, kuru relatīvais augstums sasniedz 30 m, platums — no 50 līdz 200 m, bet garums — no 100 līdz 500 m. Tas sastāv no ledāja spiediena rezultātā stipri dislocētiem fluvioglaciāliem, glacigēniem un limnoglaciāliem nogulumiem. Šos reljefa veidojumus atdala garumā stiepti pazeminājumi un ieplakas. Šāds reljefs sastopams Augšzemes augstienē un šalveida augstieņu perifērijū zonās.

Marginālie vaļņi veidojušies dinamiskā spiediena rezultātā, un tos veido glacigēnie, fluvioglaciālie un limnoglaciālie nogulumi. Šos marginālos vaļņus sauc par *frontālajām sabīdījuma gala morēnām* (71. att.). Pēc vaļņu novietojuma to veidošanās laikā attiecībā pret ledāju izšķir gala un sānu morēnu vaļņus. Tie ir zemi, lēzeni, relatīvais augstums — no dažiem metriem līdz 30 m, platums — no 100 līdz 200 m, garums — līdz 30 km un vairāk (Linkavas gala morēna).



70. Viļņoto limnoglaciālo līdzenumu veidošanās, nogulumiem uzkrājoties virs ledus:
a — nogulumu uzkrāšanās baseinā, b — reljefs pēc ledus pilnīgas nokušanas.



71. Gala morēnu vaļņu veidošanās shēma:

A — gala morēnu valnis, B — ledāja malas veidojumu attīstības secība;
 I — frontālās gala morēnas aktīvā ledāja priekšā (I); 2 — aktīvā ledāja malas zonas pārvēršanās aprimušā ledū (III); sākas jaunu iekšējo galamorēnu (II) veidošanās; 3 — pilnīga galamorēnu grēdu izveidošanās un aprimušā ledus kušana; 4 — galīgā ledāja malas veidojuma kompleksa izveidošanās.

Sastopami arī *uzbēruma gala morēnu vaļņi*, kuri veidojušies pie ledāja malas ilgstoša stacionārā stāvokļa gadījumā, morēnu materiālam uzkrājoties ledāja priekšā.

Marginālās grēdas veidojās, ledājam ilgstoši oscilējot, kā arī sabīdot un sajaucot nogulumiežu slāņkopas. Šādas morēnu grēdas — ledāja akumulācijas veidotās lielformas — ir, piemēram, Gulbenes valnis u. c. Marginālās grēdas parasti ir lineāras vai vāji likumotas, līdz 50 m augstas un 2—5 km platas. Grēdu virsas ir nelīdzenas un saposmotas. Grēdu pamatu veido morēna, kuru sedz ledāja spiediena rezultātā sakrokoti limnoglaciālie vai fluvioglaciālie nogulumi. Morēnu pauguru grēdu reljefā un morēnu pauguraiņu reljefā ir liela augšņu dažādība un atšķirības vertikālā virzienā.

Augsnes ilgstošas apstrādes rezultātā paugurainēs bieži izveidojas reljefa elements, ko sauc par *noaru kāplēm*. Tās sastopamas nogāžu pakājēs lauku malās.

Marginālās nogāzes sastop augstieņu perifēriju joslās un nedaudz arī augstieņu centrālajās daļās. Nogāžu virsa dažreiz ir terasēta un pat sašķelta ar gravām, retāk ar pauguriem. Šīs nogāzes veidojušās ledāja tiešā iedarbībā, un uz tām sastopamie fluvioglaciālie, limnoglaciālie un glaciālie nogulumi ir deformēti un veido paugurus.

Atšķelšanās vaļņi ir liela izmēra — no 10 līdz 60 m augsti, līdz 5 km plati un pat līdz 50 km gari. Tie sastopami galvenokārt zemienēs. Nogāzes stāvas, dažreiz terasētas. Vaļņi sastāv no vairāk nekā 10 m bieziem fluvioglaciāliem vai limnoglaciāliem nogulumiem, kas bieži klāti ar plānu morēnas kārtu. Pieņem, ka atšķelšanās vaļņi veidojušies ledāja šķelšanās plaisās, kad no pasīvā vai aktīvā ledāja atšķēlās ledus masas. Šīs plaisas ūdens straumes paplašināja, akumulēja grants un smilšu nogulumus, un beigās izveidojās stāvoši ūdens baseini, kur nogulsņējās aleirīti vai māli, kas valnim radīja plakanu, izlīdzinātu virsas reljefu. Latvijā tādi ir Šķaunes valnis — Latgales augstienē, Numernas, Madonas—Trepes un Jaunkalsnavas valnis — Austrumlatvijas zemienē, Vidrižu—Bīriņu, Velēnas un citi vaļņi.

LEDĀJA IZCEĻŠANĀS IEMESLI

Ledāji ir cēlušies periodisku klimata izmaiņu rezultātā. Tā pēdējo 2 miljonu gadu laikā ir bijuši 4 apledojumi un daži sekundāri apledojumi. Temperatūras paaugstināšanās un pazemināšanās notikusi ar apmēram 100 000 gadu periodiem. Daži zinātnieki uzskata, ka galvenais cikliskuma cēlonis ir Saules aktivitātes pārmaiņas tās raksturīgajos periodos (11, 35 un 1800 gadu cikli). Tomēr jāņem vērā, ka apledojumi nav bijuši nepārtraukti un desmitiem miljonu gadu pirms lielajiem kvartāra apledojumiem uz mūsu planētas nebija apledojumu. Bez tam, lai izveidotos ledājs, nepietiek ar temperatūras pazemināšanos vien, nepieciešams arī gaisa mitrums un nokrišņi. Tā Sibīrijā, Zemes aukstuma polā Verhojanskā, kvartāra periodā un arī pašreiz neveidojas ledāji, bet Grenlandē, kur ir daudz siltāks klimats, ir izveidojušies bieži ledāji.

Saules radiācijas izmaiņas uz Zemes rodas, ja Saule virzās caur Visuma telpas dažāda blīvuma miglājiem. Daži zinātnieki uzskata, ka Zemes attīstības tektoniskais cikls atbilst vienam galaktiskajam gadam (180 milj. gadu), tas ir laiks, kurā Saules sistēma aprīņo apkārt Galaktikas centru. Šajā ciklā var izdalīt īsākus un garākus tektoniskos ciklus — no 20 milj. līdz 500 milj. gadu. Tektonisko ciklu fāzēs ir veidojušies dažādi kroku kalni, notikusi jūras atkāpšanās jeb regresija un iestājies auksts klimats. Tā pēc kalnu veidošanās procesiem karbona un perma periodā radušies plaši ledāji. Pēc Alpīnā tektoniskā cikla, kad izveidojās Alpi, Kaukāzs, Pamirs, Himalaji un citi kalni, izmainījās arī jūras un kontinentu attiecības, jūras straumes, vēja virzieni, kalnos veidojās plaši ledāji, kas savukārt

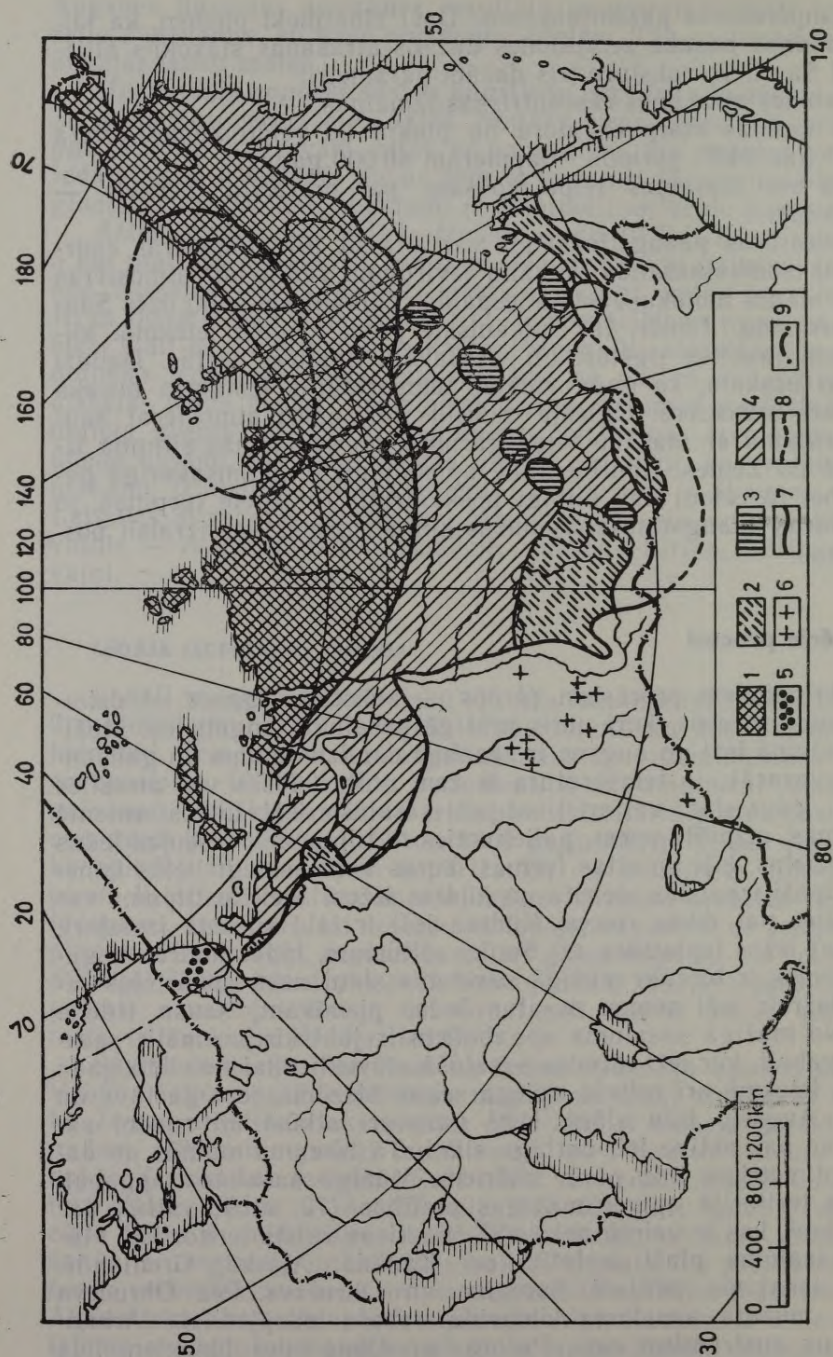
radija temperatūras pazemināšanos. Daži zinātnieki pieņem, ka klimata izmaiņas nosaka zemeslodes dažāds atrašanās stāvoklis attiecībā pret Sauli. To raksturo trīs dažādi parametri:

- zemeslodes atrašanās ekscentriskās izmaiņas,
- leņķa maiņas starp ekvatoru un plakni ko veido Zemes orbīta (no $21,5^\circ$ līdz $24,5^\circ$, periods — apmēram 40 000 gadu),
- Zemes ass izmaiņas telpā, ko sauc par *precesiju* (periods — 21 000 gadu).

Temperatūras paaugstināšanos var izraisīt arī atmosfēras caurspīdīguma samazināšanās vulkānu izvirdumu radīto un atmosfēras augšējos slāņos nonākušo pelnu iespaidā. Vulkāniskie pelni dzēš Saules izstarojumu. Tomēr, lai vulkāniskie procesi spētu ietekmēt klimatu, tiem jānotiek ilgstoši un vienlaicīgi daudzās vietās. Daudzi zinātnieki uzskata, ka gada vidējās temperatūras izmaiņas nosaka CO_2 saturs atmosfērā. Oglekļa dioksīds laiž cauri atmosfērai Saules izstarojumu ar mazāku viļņa garumu, un samazinās siltuma izdalīšanās no Zemes. Kontinentālie apledojumi ir likumsakarīga parādība, bet to cēloņi nav pilnīgi noskaidroti. To izpēte turpinās, jo temperatūras paaugstināšanās dažās klimata zonās var izraisīt postošas sekas.

Kriogēnie procesi

Par kriogēniem procesiem (*kryos* — aukstums, *genos* — dzimšana) sauc procesus, kuri noris mūžīgā sasaluma apgabalos. Mūžīgajā sasalumā ieži un augsne ir sasaluši daudzus gadus un gadsimtus (arī vasarā), jo temperatūra ir zem nulles. Iežos var atrasties ilggadīgi ledus slāņi vai arī tikai paši sasalušie ieži. Ledus cementē iežu daļiņas, aizpilda poras, palielinoties to tilpumam, veidojas ledus masas, dzīslas, ķīļi un citas formas, kuras var sasniegt lielus izmērus, tas īpaši izpaužas aleirītu un kūdras iežos. Aleirītu tilpums var palielināties pat divas reizes. Kūdras ieži ir labi siltuma izolatori, kas neļauj iežos izplatīties arī Saules siltumam, tāpēc kūdras nogulumu rajonos ir biežāki mūžīgā sasaluma slāņi nekā apkārtējos rajonos. Dažreiz ieži nemaz nesatur ledu, piemēram, sausa īrdena smilts. No mūžīgā sasaluma apgabaliem ir jāatšķir sezonālie sasaluma apgabali, kur ieži atrodas sasalušā stāvoklī tikai noteiktu gada daļu. To ietekmē arī reljefs, sniega segas biežums, ieža sastāvs un blīvums. Augšējo iežu slāņi, kurš pavasarī atkūst un rudenī sasalst, sauc par aktīvo jeb darbīgo slāni. Tā biežums mainās no dažiem centimetriem līdz pāris metriem. Mūžīgā sasaluma apgabali Krievijas teritorijā aptver milzīgas platības (72. att.), vairāk par 10 milj. km^2 , kas ir vairāk nekā 45% no visas valsts teritorijas. Mūžīgais sasalums plaši izplatīts arī Kanādā, Aļaskā, Grenlandē. Mūžīgo sasalumu pētījuši Sumgins un Obručevs. Pēc Obručeva uzskata, mūžīgā sasaluma dienvidu robeža stiepjas no Arhanģeļskas uz austrumiem caur Pečoras un Obas upes likumiem līdz Jeņisejai pie Turuhanskas, visu laiku apmēram sakrīt ar 65



72. Mūžīgā sasaluma platības:

1 — blīvie sasaluma apgabali, 2 — salveida sasaluma rajoni, 3 — rajoni ar salveida izkusušām gruntīm, 4 — sasaluma izplatības apgabali ar pārtraukumiem, 5 — sasaluma slāņi tikai purvos, 6 — sasaluma salīgas tikai atsevišķās vietās, 7 — sasaluma dienvidu robeža, 8 — aptuvena sasaluma robeža, 9 — apgabali ar apraktiem ledājiem.

ziemeļu platuma grādu, bet no Turuhanskas asi nolaižas uz dienvidiem gar Jeņiseju, aptver Ziemeļmongoliju un aiziet līdz Amūrai, sekojot gar tās kreiso krastu gandrīz līdz Ohotskas jūrai. Šī robeža ir aptuvena, jo arī tālāk uz dienvidiem, pat Ķīnā un Mongolijā, dažreiz ir mūžīgā sasaluma rajoni, bet dažos rajonos uz ziemeļiem nav mūžīgā sasaluma. Parasti mūžīgais sasalums attīstās, ja gada temperatūra ir zemāka par -2°C . Agri uzkrītusi bieza sniega sega aizsargā augsni no sasalšanas arī tad, ja gada temperatūra ir no -6 līdz -8°C (Turuhanska). Mūžīgo sasalumu var sastapt rajonos, kur gada temperatūra ir $+4^{\circ}\text{C}$ un sniega sega vispār nerodas. Sniega sega, kura biezāka par 0,5 metriem, aizsargā augsni no sasalšanas arī tad, ja gada temperatūra ir -10°C . Iežu sasalšanā liela nozīme ir ūdens tekošajiem slāņiem. Tā stāvošs ūdens četras reizes labāk attīsta sasalumu nekā tekošs. Slapja augsne sasilst dziļāk, bet vasarā atkūst mazāk. Mūžīgā sasaluma slāņa biezums var būt dažāds. Dienvidu rajonos tas ir no 0,4 līdz 80 metriem, bet ziemeļu rajonos — vairāk nekā 100 metri (Alaskā — 300 m, Špicbergenā — 250 m, pie Laptevu jūras — 600 m, Viļujas baseinā — pat 800 metri). Bez klimatiskajiem apstākļiem tas ir saistīts ar ģeoloģiskiem, morfoloģiskiem un hidroģeoloģiskiem faktoriem.

Mūžīgā sasaluma rajonos izveidojas īpatnējas reljefa formas, kas stipri ietekmē augu valsti un ūdens režīmu. Meži mūžīgā sasaluma rajonos ir nelieli, jo saknes neiet dziļi un lielās vētras tie viegli izgāžas. Mūžīgā sasaluma slānis ir ūdens necaurlaidīgs, jo ieža poras aizpildītas ar ledu, bet gruntsūdeņu pārvietošanās iespējama vienīgi pa atkusušā ieža starpkārtām. Izšķir

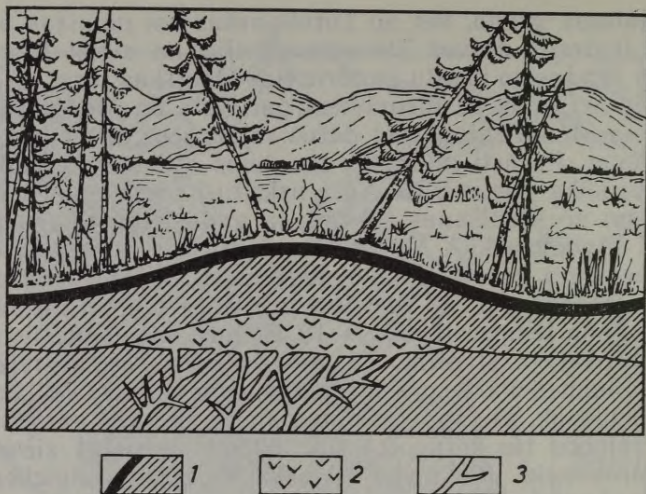
○ *virssasaluma ūdeņus*, kas atrodas aktīvajā slānī un ir ar nelielu minerālsāļu saturu, bet bagātīgu organisko vielu daudzumu;

○ *starpasaluma ūdeņus*, kas ieslēgti sasalušā iežu slānī, tiem raksturīgs paaugstināts spiediens un pastāvīgs režīms;

○ *zemsasaluma ūdeņi* (no 1 līdz 500 m), kuri barojas, nofiltrējoties virssasaluma vai starpsasaluma ūdeņiem. Pateicoties to bagātī-



73. Uzledus veidošanās. Grunts veidotie uzledi, kas applūšina ēkas.



74. Hidrolakolīts (pēc M. Černiševa):

1 — darbīgā slāņa ieži, 2 — ledus, 3 — ūdensnesējplaisas.

giem krājumiem, samērā vienmērīgam ķīmiskajam sastāvam un nemainīgam režīmam, tos izmanto ūdensapgādei. Mūžīgā sasaluma rajonos ir raksturīga *uzledus* veidošanās, gruntsūdeņiem izplūstot zemes virspusē un sasalstot (73. att.). Uzledi var sasniegt pat 6 m biezumu. Tie izplūst uz autoceļiem, dzelzceļiem un it sevišķi tuneļos. Uzledi var veidoties, arī upes ūdeņiem izlaužoties virs ledus segas un pārklājot pat virspalu terases. Uzlediem piesalstot pie tilta balstiem un palu laikā uzpeldot kopā ar ledus slāni, tie var izraut tilta balstus un sagraut tiltus. Ja pazemes ūdeņi nespēj izlauzties Zemes virspusē, tie sasalstot paceļ ieža slāņus, izveido paugurus — *ledus kupolus jeb hidrolakolītus* (74. att.). Hidrolakolīti sasniedz 30 metru augstumu un 100 metru diametru.

Bieži sastopama parādība ir *augšnes plūšana* jeb *soliflukcija*, kas notiek galvenokārt nogāzēs, kad virsējais ledus atkūst, samitrinātā augsne atmiekšķējas un gravitācijas ietekmē plūst pa sasalušo ieža virsmu. Bieži, virsējiem iežiem sasalstot un atkūstot, vasarās notiek *iežu kūkumošanās*, jo, iežiem sasalstot, palielinās to tilpums, izmainās tekstūra, bet atkūstot — tilpums samazinās un tekstūra neizmainās. Iežu kūkumošanās rada ceļu un būvju deformāciju (sevišķi aleirītu iežos). Kūkumošanos var samazināt, iežos ievadot CaCl šķīdumu, tad tie sasalst tikai -12°C temperatūrā un ceļu kūkumošanās mazinās. Celtniecībā jālieto īpaša metodika — fundamentam jābūt ar gludu virsmu un siltumu nevadošam. Ja grunts atkūst, tilpums samazinās, zemes virsa iesligst un sākas ēku pamatu sēšanās. Var rasties arī apakšzemes ledus tukšumi, kas rada iegruvumus, ieslīgumus. Šo procesu sauc par *termokarstu*. Termokarsta procesos veidojas dažāda lieluma iedobes, piltuves, ieplakas, kuras dažreiz piepildās ar ūdeni. Šādas ūdens ieplakas sauc par *termokarstu ezeriem*.

HIDROĢEOLOĢIJA UN TĀS UZDEVUMI

Grāmatas pirmajā daļā aplūkojam ar ūdeni saistītos ģeoloģiskos procesus, kas darbojas uz planētas, pārveido Zemes virsas reljefu, veido sarežģītus nogulumiežu kompleksus u. c. Bez ūdens nebūtu iespējama dzīvības rašanās un attīstība uz Zemes, cilvēces pastāvēšana.

Ūdens piedalās grandiozos termodinamiskos procesos atmosfērā, kas nosaka klimatiskos un meteoroloģiskos apstākļus uz Zemes.

Zemi aptver ūdens apvalks — *hidrosfēra*, tā atrodas starp atmosfēru un litosfēru. Lielāko hidrosfēras daļu (96,53%) veido Pasaules okeāna ūdeņi, kuru kopējais tilpums ir 1338,5 miljoni kubik kilometru. Pēc N. Plotņikova (1976. g.) datiem, pārējie ūdens veidi hidrosfērā sadalās šādi:

- ledāju un sniega (polārais un kalnāju) ūdens — 1,74% (24,13 milj. km³);
- upju, ezeru un purvu ūdens — 0,014% (0,19 milj. km³);
- pazemes ūdens (gravitācijas, karpilārais un ledus) — 1,71% (23,71 milj. km³);
- augsnes ūdens — 0,001% (0,014 milj. km³);
- bioloģiskais ūdens — 0,0001% (0,001 milj. km³);
- atmosfēras ūdens — 0,001% (0,014 milj. km³).

Sie skaitļi liecina, ka 2% no visas hidrosfēras ir pazemes ūdens. Tas veido hidrosfēras apakšzemes daļu, t. s. *hidroģeosfēru*.

Pazemes ūdeņus pēta speciāla ģeoloģijas nozare — hidroģeoloģija. Tās uzdevums ir pētīt pazemes ūdeņu attīstības vēsturi, veidošanos, izplatību, režīmu, bilanci, dinamiku, fizikālās un ķīmiskās īpašības, kā arī šo ūdeņu praktiskās izmantošanas problēmas.

Hidroģeoloģijā attīstījušies vairāki teorētiski novirzieni: vispārīgā un planetārā hidroģeoloģija, hidroģeoķīmija, hidroģeodinamika (pazemes ūdeņu dinamika), hidroģeotermija u. c. Ar tiem cieši saistītas praktiskās hidroģeoloģijas nozares: reģionālā hidroģeoloģija, hidroģeoloģiskā izlūkošana, naftas hidroģeoloģija, melioratīvā hidroģeoloģija, inženierģeoloģija u. c. Hidroģeoloģija darbojas un attīstās mijiedarbībā ar daudzām radniecīgām zinātnēm: hidroloģiju, tehnisko

meliorāciju, meteoroloģiju, klimatoloģiju, augsnes zinātni, ģeomorfoloģiju un kvartārģeoloģiju. Hidroģeoloģijā tiek izmantoti hidraulikas, hidrogrāfijas, ģeofizikas un ģeoķīmijas likumi. Bez teorētiskām atziņām, ko sniedz hidroģeoloģija, tai ir liela praktiska nozīme lauksaimniecībā nosusināšanas, apūdeņošanas, ūdens apgādes problēmu risināšanā, kā arī celtniecībā — hidrotehnisko būvju, ūdenstilpju projektēšanā un celšanā, kūrortu un sanatoriju ierīkošanā u. c.

Akas un apūdeņošanas sistēmas ir saglabājušās no senās Babilonijas, Ēģiptes, Ķīnas, tās atrastas Tuvajos Austrumos, Vidusāzijā, Grieķijā, Itālijā un Amerikā.

Jau pirms 2000 gadiem Pollijs pierādīja, ka pazemes ūdeņi rodas infiltrācijas procesā, ko uzskatāmi parāda ūdens daudzuma maiņa akās dažādos nokrišņu periodos. Krievijā hidroģeoloģijas pamatlicējs ir M. Lomonosovs. Viņš uzskatīja, ka ūdens apritē dabā pazemes ūdeņi rodas no nokrišņu ūdeņiem. 18. gs. parādījās plaši pētījumi hidrodinamikā (D. Bernulli, L. Eilers u. c.). 19. gs. ļoti svarīgi ir franču inženiera A. Darsī veiktie filtrācijas procesa pētījumi, kuru rezultātā viņš 1856. gadā izstrādāja ūdens filtrācijas likumu porainos iežos (Darsī likums). Balstoties uz Darsī likumu, franču hidraulīķis Z. Dipī uzrakstīja pazemes ūdeņu kustības pamatvienādojumu (Dipī vienādojums). 19. gs. beigās radās jauna vācu inženiera O. Folgera pazemes ūdeņu kondensācijas teorija un 20. gs. sākumā — austriešu ģeologa E. Zisa teorija par pazemes ūdeņu rašanos no magmas ūdens tvaikiem.

Krievijā 19. gs. pirmos plašākos pazemes ūdeņu pētījumus veica 1882. g. nodibinātā Viskrievijas Ģeoloģiskā komiteja (I. Mušketovs, P. Otockis, G. Visockis u. c.). Pirmo hidroģeoloģisko staciju (Kamenijas stepē) noorganizēja augsnes pētnieks V. Dokučajevs. 20. gs. sākumā fundamentālus pētījumus veica fiziķis A. Lebedevs (1881—1946). Viņš pierādīja pazemes ūdens pārvietošanās likumības augsnē, ka tas pārvietojas ne tikai smaguma spēka, bet arī molekulāro spēku ietekmē plēvīšu ūdens veidā. Hidroģeoloģijas attīstību veicināja daudzās risināmās tautsaimnieciskās problēmas, kas bija saistītas ar iedzīvotāju strauju pieaugumu pilsētās un to apgādi ar ūdeni, kā arī lielu hidrotehnisko būvju celšanu u. tml. Tā pirmo hidroģeoloģijas mācību grāmatu Padomju Savienībā sarakstīja F. Savarenskis. Pirmos fundamentālos datus par artēziskiem ūdeņiem ieguva A. Semihatovs. Savukārt pie hidrotehniskajām celtnēm ir strādājis N. Pavlovskis, bet pie pazemes ūdeņu kustības likumbām — G. Kamenskis, N. Zukovskis. Pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu pētījis V. Vernadskis, A. Aleksandrov, Aļokins. Šo ūdeņu klasifikāciju izstrādājuši N. Iljins, O. Lange.

Latvijā pirmie pazemes ūdeņu pētījumi saistīti ar vispārīgās ģeoloģiskās pētniecības darbiem, īpaši ar dziedniecības ūdeņu izmantošanas pētījumiem. Ir saglabāties B. Grāfa 1739. gadā Kurzemes hercogam iesniegtais apraksts par sērūdeņraža avotu dziednieciskajām īpašībām. Baldones sēravotu kūrvietas vajadzībām izmanto kopš 1784. gada, un to aprakstīja I. Ferbers. Drīz pēc tam sāka izmantot Ķemeru sēravotus, kuru pētīšanu 1801. gadā veicis Pēterburgas Me-

dicīnas padomes pārstāvis T. Lovics. Par to ķīmisko sastāvu 1818. gadā ziņas sniedzis Rīgas aptiekārs Grindelis. Ķemeru un Baldones sēravotu hidroģeoloģiskos apstākļus 1891. gadā raksturojis kalnu inženieris K. Rugēvics. Trīsdesmitajos gados sērūdeņradī un minerālūdeņš saturošo ūdeņu atradnes pētījis I. Kupcis. Pētījumus par dziedniecības ūdeņu izmantošanu Latvijā veica Vidzemes ekonomiskā biedrība; 1833. g. Allažos Pullēnu mājas tuvumā tika izdarīts urbums 71 metru dziļumā. Latvijā viens no pirmajiem plaši pazīstamajiem minerālūdeņiem ir Valmieras minerālūdens, ko atklāja 1928. gadā vidusdevona smilšakmeņos 240 m dziļumā. 1937. g. pazemes ūdeņu pētījumus Baldonē veica J. Vītiņš, V. Ducmanis un K. Cukermans. 1939. gadā pētījumus par Ķemeru sēravotu apkārtni izdarīja Zemes bagātību pētīšanas institūts. 1961. g. par Ķemeru sēravotu apkārtnes tektoniskām struktūrām plašus pētījumus veica A. Indāns. 1946. gadā uz Zemes bagātību pētīšanas institūta bāzes pie LPSR ZA tika organizēts Ģeoloģijas un derīgo izrakteņu institūts, kurā darbojās arī hidroģeoloģijas daļa; tā pētīja pazemes ūdeņu veidošanos, izvietojumu, režīmu un izmantošanu. No 1962. līdz 1967. gadam plašus hidroģeoloģiskos pētījumus veica Ģeoloģijas institūts Rīgā, kas atradās PSRS ģeoloģijas ministrijas pakļautībā. Šos darbus turpināja pārveidotais Vissavienības Jūras ģeoloģijas un ģeofizikas zinātniskās pētniecības institūts Rīgā.

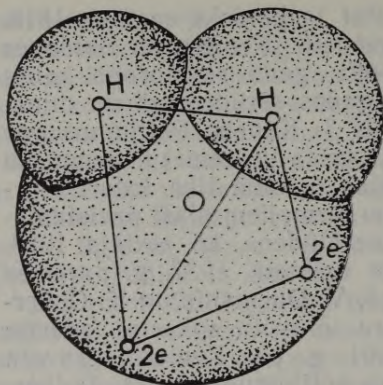
Liels ieguldījums Latvijas teritorijas hidroģeoloģiskajā izpētē pašreiz ir A. Freimaņa, I. Danilāna, V. Kropa, I. Dzilnas, R. Ozolas, P. Mihailovska, P. Deņisova un citu zinātnieku darbi. Uzmanību pelna arī J. Tolstova, A. Venska, N. Ļevickas hidroģeoloģiskie pētījumi pazemes ūdeņu režīma un bilances noteikšanā, kā arī G. Trocevska un G. Bičko devums reģionālajā hidroģeoloģijā.

Ar pazemes ūdeņu pētīšanu un to praktisku izmantošanu Latvijā nodarbojas Ģeoloģijas un zemes dzīļu aizsardzības komiteja un ražošanas apvienība «Latvijas ģeoloģija».

ŪDENS IZPLATĪBA UN APRĪTE DABĀ

ŪDENS ĪPAŠĪBU VISPĀRĪGS APSKATS

Ūdens ir viena no izplatītākajām vielām uz mūsu planētas, saistītā veidā tas ir minerālu un iežu neatņemama sastāvdaļa. Dabiskais ūdens ir molekulārs savienojums, kura sastāvā ir 11,11 masas procenti ūdeņraža un 88,89% skābekļa. Ūdens var sastāvēt no dažādiem ūdeņraža un skābekļa izotopiem. Dažādās kombinācijās tie izveido atšķirīgas ūdens molekulas. Bez parastā ūdeņraža — proti ^1H (atommasa 1) ūdens molekulās ir arī smagais ūdeņradis — deitērijs ^2H (atommasa 2). Reti sastopams ir radioaktīvais ūdeņradis trijijs ^3H (atommasa 3). Skābeklim ir trīs stabili izotopi: ^{16}O , ^{17}O , ^{18}O . Pašreiz ir zināmi vairāk nekā 18 ūdens molekulu veidi. Vienu no ūdens veidiem, kurā parastais ūdeņradis aizvietots ar deitēriju, sauc par smago ūdeni jeb deitērija oksīdu. Parastā ūdens sastāvā smagā ūdens ir nedaudz (0,02%). Tam ir atšķirīgas fizikālās īpašības:



75. Ūdens molekula (pēc C. Devisa un P. Uista).

Ūdeņraža un skābekļa atomu saspiešanās. Divu ūdeņraža atomu kodolu un divu elektronu pāru atrašanās tetraedra galos un skābekļa atoma novietojums to centrā.

vārīšanās temperatūra — $101,42^{\circ}\text{C}$, sasaldšanas temperatūra — $3,82^{\circ}\text{C}$, blīvums (20°C) — $1,105\text{ g/cm}^3$. Smaigais ūdens palēnina un dažreiz arī paātrina ķīmiskās reakcijas. Tas ir kaitīgs dzīvīem organismiem. Lieto atomreaktoros kā neitronu palēninātāju. Tālāk aplūkosim detalizētu ūdens molekulas uzbūves un ar to saistīto īpašību raksturojumu.

Ūdens molekulām var būt atšķirīga struktūra. Ūdens molekula ir polāra, leņķveidīga. Šāds ūdeņraža atomu novietojums attiecībā pret skābekļa atomu rada valences elektronu nesimetrisku izvietojumu. Tāpēc ūdens molekulā nesakrīt pozitīvo un negatīvo lādiņu smaguma centri un izveidojas divi poli. Molekulu polaritāti raksturo dipolmoments, molekulas elektriskā lādiņa reizinājums ar attālumu starp pozitīvo un negatīvo lādiņu smaguma centriem.

Ūdens molekulai dipolmomenta vērtība ir liela, tāpēc tai ir izteikta polaritāte. Tāpēc ūdens ir labs šķīdinātājs, tajā šķīst gandrīz visi Zemes garozas minerāli. Polārās ūdens molekulas spēj savienoties asociātos. Tas nosaka dažādas ūdens fizikālās īpašības, ūdens anomālijas un struktūras īpatnības. Pēc rentgenodifrakto metriskās un spektrālās analīzes konstatēts, ka ūdens molekulas veido kristālisku tetraedrisku tīklu, kur molekulas citu ar citu savieno ūdeņraža saites (75. att.). Ūdens molekulu koordinācijas skaitlis ir 4 un tas saistīts ar lādiņiem polos (-2) un ($+2$). Ūdens molekulu grupējumi elementslānī saskaņojas ar fizikālo stāvokli (cietā, šķidrā, gāzveida).

Polārās ūdens molekulas veido dažāda lieluma modeļus, kuri sastāv no *klasteriem* — molekulu asociātiem. Pie tam molekulu skaits tajos var būt dažāds. Molekulu apmaiņas ātrums klāsteros nosaka to, vai ūdens atrodas cietā vai šķidrā agregātstāvoklī (Frenkeļa modelis). Vēl ir arī ūdens abažūras struktūras modelis, kas rada *ūdens anomālijas*.

Polārās ūdens molekulas nosaka šādas fizikālo īpašību anomālijas.

○ Vislielākais blīvums ir $+4^{\circ}\text{C}$ temperatūrā, bet, temperatūrai pazeminoties līdz 0°C vai paaugstinoties līdz 100°C , blīvums samazinās.

○ Ūdenim sasilstot, tā tilpums palielinās par 10%, ledus kļūst vieglāks par ūdeni.

○ Ūdenim piemīt liela siltumietilpība, kura palielinās, temperatūrai paaugstinoties līdz 40°C , tad samazinās un pēc tam atkal palielinās.

○ Ūdens sasalst 0°C temperatūrā. Paaugstinātā spiedienā sasalša-

nas temperatūra pazeminās un var sasniegt minimālo robežu (-28°C), ja spiediens ir $20\,727 \cdot 10^4 \text{ Pa}$.

○ Vislielākais iztvaikošanas siltums (539 J/kg) ūdenim ir 100°C temperatūrā.

○ Gaismas laušanas koeficients ūdenim ir 1,3.

Ūdenim vislielākā dielektriskā caurlaidība ($\epsilon \approx 81,0$) ir 20°C . Ūdens maksimālais blīvums pie $+4^{\circ}\text{C}$ izskaidrojams ar to, ka šajā temperatūrā ūdens molekulas novietojas visblīvāk, tādējādi molekulu daudzums vienā tilpuma vienībā ir vislielākais. Temperatūrai paaugstinoties, starpmolekulu attālumi palielinās un blīvums samazinās, izmainās vielas struktūra. Augstās temperatūrās ūdens molekulas zaudē savu slēptkristālisko struktūru un molekulu izvietojums kļūst haotisks.

Hidroloģiskajos pētījumos tiek aplūkotas ūdens fizikālās īpašības: temperatūra, caurspīdīgums, krāsa, smarža, garša, blīvums un elektrovadītspēja.

Hidraulikā svarīgākās ūdens fizikālās īpašības ir virsmas spraigums un viskozitāte. Ūdens iekšienē atsevišķas molekulas kohēzijas spēku ietekmē pievelk apkārtējās daļiņas no visām pusēm ar viennādu spēku un šie pievilkšanās spēki savstarpēji iznīcinās. Toties molekulas, kas atrodas ūdens virspusē, molekulāro spēku iedarbības rezultātā izveido plānu, bet diezgan stipru nesaskatāmu plēvīti, kas atrodas saspringtā stāvoklī. Šo parādību sauc par ūdens *virsmas spraigumu* un to raksturo ar *virsmas spraiguma koeficientu* — spraigumu šķīduma virskārtā uz garuma vienību. Virsmas spraiguma koeficients atkarīgs no temperatūras un ūdenī izšķīdinātām vielām, kuras spraigumu var samazināt (piemēram, ziepes). Virsmas spraiguma koeficienta mērvienība ir ņūtons uz metru (N/m). Tas mainās atkarībā no šķīduma blīvuma.

Šķīdumos un gāzēs, ja to slāņi savstarpēji pārvietojas, starp slāņiem rodas iekšējie pretestības spēki, kas bremzē to kustību. Šķīdumu un gāzu iekšējo berzi sauc par *viskozitāti*. Šķīdumos to izsaka ar t. s. *kinemātiskās viskozitātes koeficientu*

$$\nu = \frac{\eta}{\rho},$$

kur η — dinamiskās viskozitātes koeficients. Dinamiskās viskozitātes koeficients ir skaitlis, kas vienāds ar viskozitātes spēku, kas darbojas starp diviem savstarpējā kustībā esošiem šķīduma slāņiem, ja ātruma gradients ir vienu vienību liels un saskares laukums ir 1 m^2 .

Vielas blīvumu ρ izsaka kg/m^3 , kinemātiskās viskozitātes koeficientu ν — Nsm^2/kg . Ūdens viskozitātes koeficients ir atkarīgs no temperatūras.

ŪDENS RIŅĶOJUMS DABĀ

Atšķirībā no citām vielām, kas veido Zemes garozu, ūdenim dabā piemīt kustīgums. Šis ūdens riņķojums ir cieši saistīts ar zemeslodes ūdens un sauszemes virsu, kur noris sarežģīti procesi: iztvaikošana,

kondensācija, sublimācija, ūdens tvaiku pārvešana ar gaisa plūsmām, mākoņu un atmosfēras nokrišņu veidošanās, virszemes un pazemes ūdens plūsma uz okeānu u. c.

Visu Zemes sfēru (atmosfēras, hidrosfēras, biosfēras, litosfēras un kriosfēras) ūdeņi ir savstarpēji saistīti. Attiecīgi mainoties spiedienam, temperatūrai, transpirācijai, dehidratācijai, kondensācijai, filtrācijai, ūdens, izmaiņot savu fizikālo stāvokli, pāriet no vienas sfēras otrā. Katru dienu Zemes virsma no Saules saņem ap $13,4 \cdot 10^{20}$ kilokaloriju siltuma. Apmēram 22% no šīs enerģijas tiek patērēti ūdens iztvaikošanai no okeāniem, jūrām, ezeriem, upēm, mitrām augsnēm, augiem, kā arī no lietus mākoņiem un ūdens pilieniem. Ūdens tvaiku daudzums, kas iztvaikošanas ceļā veidojas atmosfērā, ir atkarīgs no temperatūras, atmosfēras spiediena, gaisa mitruma, vēja stipruma, iztvaikojošās virsmas izmēriem un formas, ūdens avotu ģeogrāfiskās atrašanās vietas, reljefa.

Lai risinātu virkni problēmu, kas saistītas ar nosusināšanu, apūdeņošanu, ūdens apgādi, hidroģeologi ar empīrisku formulu, kas noteikta uz eksperimentu bāzes, pēc Daltona likuma aprēķina ūdens daudzumu, kas veidojas, iztvaikojot ūdens virsmām.

$$Q = k \frac{d}{p} S,$$

kur Q — iztvaikojušā ūdens daudzums no kādas virsmas laika vienībā,

k — proporcionalitātes koeficients,

d — gaisa mitruma deficīts,

p — piesātināta tvaika spiediens,

S — iztvaikošanas virsmas lielums.

Gaisa mitruma deficītu aprēķina pēc formulas

$$d = E - e,$$

kur d — mm Hg stabiņa vai milibāros;

E — piesātināta tvaika elastība dotā temperatūrā, mm Hg stabiņa vai milibāros;

e — ūdens tvaika elastība dotā temperatūrā, mm Hg stabiņa vai milibāros.

Gludām ūdens virsmām E aprēķina pēc formulas

$$E = 6,1 \cdot 10^{\frac{7,63t}{242+t}},$$

kur t — temperatūra virs iztvaikošanas virsmas, $^{\circ}\text{C}$.

Piesātināta tvaika elastību E var aprēķināt arī pēc psihrometriskām tabulām.

Stipri sarežģītāk ir noteikt mitruma iztvaikošanu no augiem. Šo fizioloģisko iztvaikošanu sauc par *transpirāciju*. Tā ir saistīta ar augu barošanos un augšanu. Augi mitrumu iegūst no augsnes un gruntsūdeņiem. Iztvaikošana ir atkarīga no auga mitruma deficīta, temperatūras, vēja ātruma, augsnes mitruma un temperatūras, rel-

jefa vietas orientējuma pret debess pusēm, nogāžu slīpuma, grunts-ūdeņu dziļuma u. c. Zināms, ka gadā kultūraugi iztvaiko 230—254 mm mitruma, lapu koki — 200—305 mm, skujkoki — 102—154 mm. Lai raksturotu augu ūdens izmantošanu, lieto t. s. *transpirācijas koeficientu*, kas ir ūdens masa gramos, ko veģetācijas periodā patērē augs, lai uzkrātu 1 g sausas. Procesu, ko veic augi un to sakņu sistēma, iegūstot mitrumu, sauc par *desukciju*.

Ūdens nepārtraukti maina savu fizikālo stāvokli. Tipiskie ūdens stāvokļi dabā ir tvaiki, šķidrums ūdens un ledus. Katram no tiem raksturīgi savi pārvēršanās procesi (kondensācija, sublimācija).

Kondensācija un sublimācija. Kondensācija ir process, kurā gāzes pārvēršas šķidrumā, sublimācija ir gāzu pāreja cietā agregātstāvoklī (vai otrādi) bez šķidrā stāvokļa starpstadijas. Kondensācijas un sublimācijas iemesls ir gaisa atdzišana līdz piesātinājuma punktam. Gaisa temperatūru, kurā ūdens tvaiks kļūst piesātināts, sauc par *rasas punktu*. Ja rasas punkts ir augstāks par kristalizācijas temperatūru, tad dabā kondensācijas ceļā veidojas mākoņi, migla vai rasa. Ja rasas punkts zemāks par kristalizācijas temperatūru, notiek sublimācija un veidojas ledus kristāliņi mākoņos, sarma. Ūdens pilieni mākoņos, miglā un ledus kristāliņi mākoņos ir tik mazi, ka tie atrodas suspendētā stāvoklī. Gaisam ceļoties uz augšu, kondensācijas procesā ūdens pilienam piesaistās putekļi vai sāls daļiņas, kas atrodas atmosfērā. Šos procesus izmanto mākslīgā lietus radišanai vai miglas izkliedēšanai aerodromos.

Atmosfēras nokrišņi. Ūdens pilieni un ledus kristāliņi dažos mākoņos aug tik ilgi, līdz konkrētos meteoroloģiskos apstākļos tie kondensējas un pilienu veidā nolīst kā nokrišņi. Atkarībā no veidošanās vietas izšķir divus nokrišņu tipus:

- nokrišņi, kuri veidojas, ūdens tvaikiem kondensējoties uz Zemes virsmas vai citiem virszemes objektiem (rasa, sarma, kailsals u. c.);
- nokrišņi, kuri veidojas atmosfērā (lietus, sniegs, krusa).

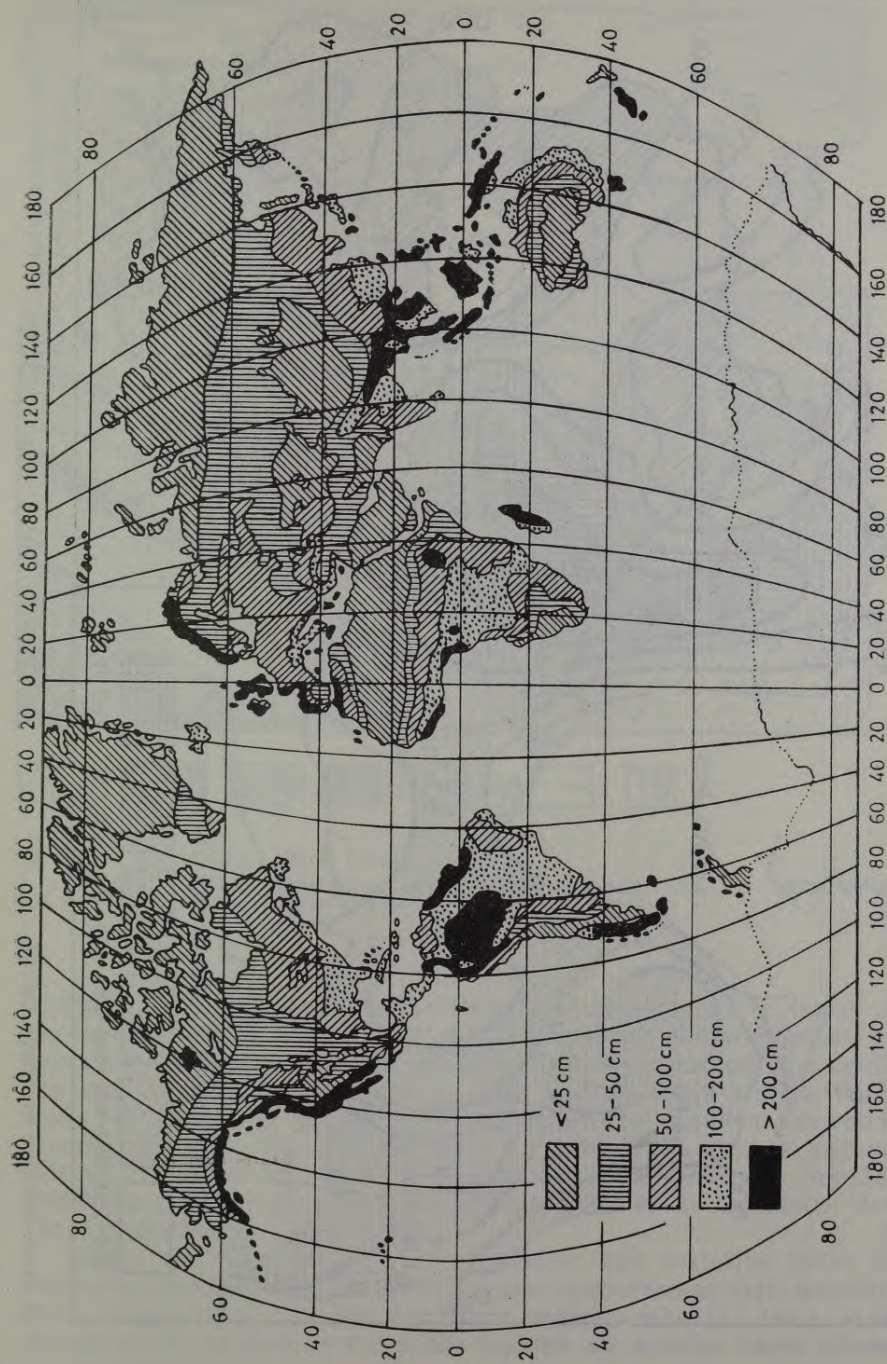
Mākoņu augšanu veicina turbulentu gaisa plūsmu sadursmes ar mākoņiem vai to plūšana garām. Lielākā daļa pilienu lietus veidā nolīst uz Zemes, daži, pateicoties kāpjošām gaisa strāvām, paliek suspendētā stāvoklī gaisā, turpretī citi iztvaiko, krītot uz leju. Galvenie nokrišņu veidi ir lietus un sniegs, tikai nedaudz ir krusa vai slapjdranķis. Nokrišņu intensitāti raksturo nokrišņu daudzums, kas minūtē nolīst uz zemes. Ja vienā minūtē nolijušā slāņa biezums ir 0,5—1 mm vai vairāk, tad nokrišņus sauc par *lietavām*. Kopējo gada nokrišņu daudzumu kādā apgabalā nosaka, izmērot nolijušā slāņa biezumu mm. Vidēji uz zemeslodes nolīst 1000 mm nokrišņu gadā. Okeānos nokrišņi nolīst vairāk nekā uz sauszemes (vidēji uz sauszemes nolīst 660 mm). Nokrišņi uz zemeslodes sadalās ļoti nevienmērīgi. Tā Indijā, musonu apgabalā Assami provincē gadā nolīst 15 m, bet Sahārā mazāk par 250 mm. Dažos tuksnešos starplaiks starp lietus nokrišņiem ir daži gadi. Vismazāk nokrišņu ir Kizilkuma tuksnesī (70—80 mm gadā), bet Kaukāza mitrajos subtropu apgabalos — 2500 mm. Latvijā vidējais nokrišņu daudzums gadā ir 635 mm, no kuriem, pēc A. Pastora datiem, iztvaiko vidēji 397 mm, apmēram

228 mm ir virszemes notece un tikai 10 mm veido pazemes infiltrāciju. Nokrišņu daudzuma atšķirības uz sauszemes atkarīgas no ģeogrāfiskā platuma, jūras tuvuma, reljefa, dominējošā vēja, vētrām, taiļiņiem, gadalaika u. c. (76. att.). Visbagātākās lietavas nolīst ap ekvatoru tropu zonā, kur uz augšu paceļas mitrs gaiss un lietus nolīst katru dienu. Daudz lietus līst arī kalnu apgabalos, kur nogāzes vērstas pret mitrā gaisa masu plūsmām. Tas labi novērojams arī Latvijas teritorijā, kur nokrišņu daudzums pieaug Rietumkurzemes augstienes un Vidzemes Centrālās augstienes rietumu nogāzēs, bet uz rietumiem no Ventas ieplakas un Vidzemes Centrālās augstienes austrumu nogāzēs nokrišņu ir mazāk (77. att.). Atkarībā no klimata nokrišņu daudzums mainās arī pa mēnešiem un pa sezonām. Latvijā vislielākais nokrišņu daudzums ir vasarā, īpaši augustā, kad vienā mēnesī var nolīst 100 mm un pat vairāk. Vismazāk nokrišņu ir ziemā, kad vidējais nokrišņu daudzums ir 20–40 mm gadā. Jau sen tika novērots, ka upes ūdeņus nes mūžīgi, bet okeāna līmenis nepaaugstinās. Lietus nokrišņu daudzumu un upju ūdens daudzumu jau 17. gs. aprēķināja Makiots un Galejs, radot jaunu koncepciju — *hidroloģiskā cikla koncepciju*. Hidroloģiskais cikls ietver mitruma pārvietošanos no okeāniem atmosfērā, no atmosfēras uz sauszemi nokrišņu veidā, no sauszemes atpakaļ uz okeāniem. Noris iztvaikošana no okeānu ūdens virsmas, mitruma kondensācija atmosfērā un nokrišņu nolīšana okeānos un nedaudz uz sauszemes, bez kuras nav iespējama dzīvība (78. att.). Pasaules okeāns dod 85% mitruma daudzuma. Hidroloģiskais cikls uz sauszemes sastāv no vairākām

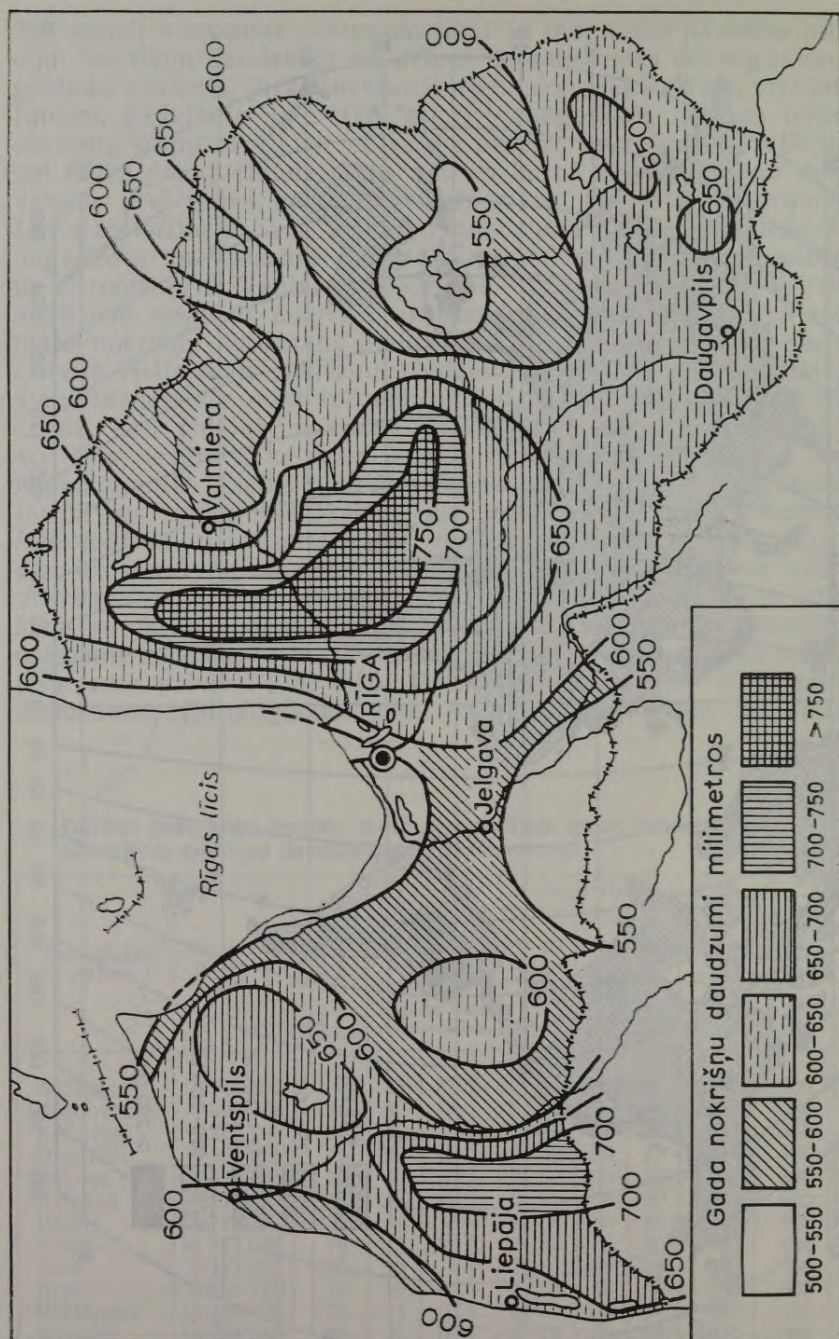
17. tabula

Dažādu ģeoloģisko periodu sauszemes platības, gaisa temperatūras, atmosfēras nokrišņu daudzumi (pēc A. Borisova)

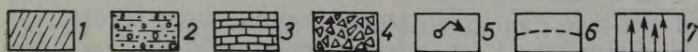
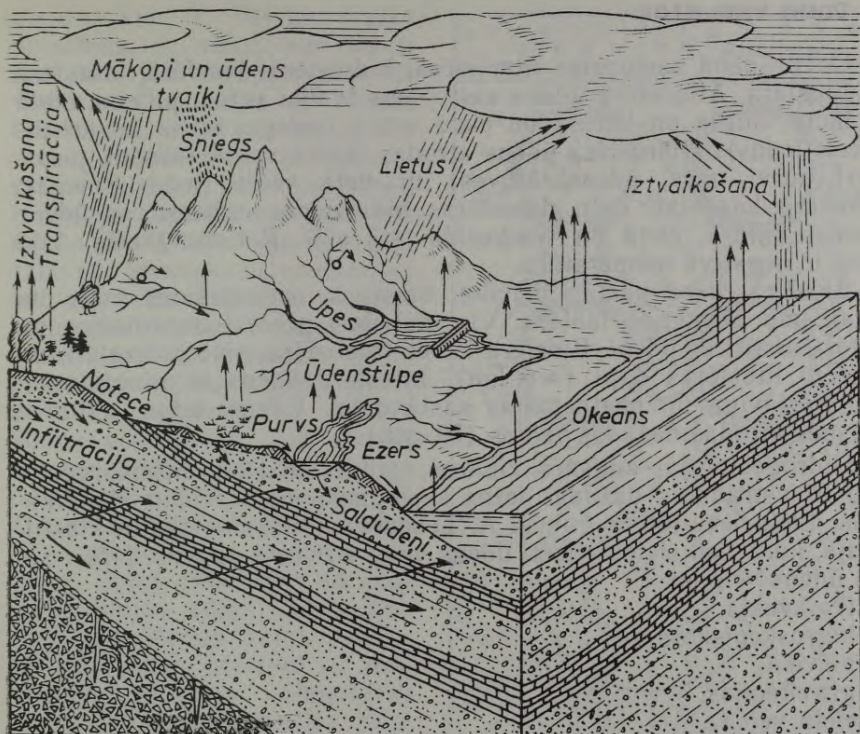
Ģeoloģiskais periods	Sauszemes platības, km ²	Sauszemes platību attiecība pret pašreizējo, %	Ģeogrāfiskais platums, Zp								
			45°	60°	75°	45°	60°	75°	45°	60°	75°
			gada vidējā temperatūra, °C			mākoņainība			nokrišņu daudzums, mm		
Arhajs	2 960 649	18	34	33	32	miglas masa			1800	1500	1200
Proterozojs	4 500 380	26	30	15	5				1800	1000	600
Kembrijs	4 205 299	23	20	14	10	62	72	92	600	600	1000
Ordoviks	4 497 968	25	20	12	6	58	68	88	600	400	400
Devons	4 497 968	30	18	14	10	53	63	83	700	300	400
Karbons	5 419 127	32	18	10	6	60	70	60	800	600	400
Perms	5 764 177	35	14	8	4	58	68	88	600	400	300
Triass	13 577 086	79	16	12	6	55	65	85	800	600	400
Jura	8 411 392	50	16	4	2	60	70	90	800	600	300
Krīts	8 968 209	53	16	10	4	55	65	85	800	600	400
Paleogēns	13 426 126	79	14	3	0	—	—	—	600	400	300
Miocēns	15 034 304	88	20	10	—2	48	58	78	600	600	400
Neocēns	16 851 976	99	12	3	—15				400	400	200
Holocēns	17 000 000	100	10	5	0	50	60	80	500	600	200



76. Gada nokrišņu daudzums pasaulē.



77. Gada nokrišņu daudzums Latvijā.



78. Ūdens aprite dabā (pēc R. Uista):

1 — nokrišņi, 2 — ūdens caurlaidīgie ieži, 3 — vāji caurlaidīgie ieži, 4 — necaurlaidīgie ieži, 5 — avoti, 6 — gruntsūdens līmenis, 7 — iztvaikošana.

stadijām. Daļa no okeānu nokrišņiem tiek pārnesta, un tie nolist uz sauszemes. Neliela daļa (20%) uz sauszemes nonākušo nokrišņu no jauna atgriežas okeānos, daļa iztvaiko un atkal nolist nokrišņu veidā, nedaudz nokrišņu iztvaiko gaisā, daļa tiek aizturēta sniega, ledus veidā vai uzsūkta ar augu valsti, daļa noplūst reljefa zemākās vietās (ezeros, purvos). Tikai neliela daļa uz sauszemes iesūcas augsnē, īrdenos un pat cietos iežos un papildina pazemes ūdeņus. Noplūde notiek, ja ūdeņi augsnē nespēj iesūkties. Pilsētās ar to saistās drenāžas problēmas un kanalizācija.

Zemes ģeoloģiskajos vēstures periodos, kad mainījās jūras un sauszemes platības, izmainījās arī meteoroloģiskie apstākļi: iztvaikošana, temperatūra, nokrišņu daudzums, mākoņainība (17. tab.). Mūsdienās cilvēki ar savu saimniecisko darbību arī izmaina ūdens bilanci uz sauszemes.

ŪDENS VEIDI IEŽOS

Ūdens dabā sastopams atmosfērā, hidrosfērā, biosfērā, kriosfērā un litosfērā. Atmosfērā ūdens sastopams tvaiku veidā, pilienu veidā (mākoņi, migla un lietus) un cietā veidā (sniegs, krusa un kristālisks ledus). Hidrosfērā ūdens atrodas šķidrā veidā (okeāni, jūras, ezeri, purvi, upes, ūdenskrātuves) un cietā veidā (ledus, sniegs). Kriosfērā, kas ietver daļu atmosfēras, hidrosfēras un litosfēras, ūdens atrodas šķidrā, cietā un tvaikveida stāvoklī. Raksturīgākais šajā sfērā ir negatīvā temperatūra.

Biosfērā, kurā pastāv dzīvība, ūdens ir nepieciešams augu un organismu augšanas faktors. Visi dzīvības procesi organismos un augos saistīti ar ūdeni. Biosfēra ietver troposfēru, visu hidrosfēru un augšējo litosfēras daļu (≈ 6 km). Litofērā ūdens ir minerālu un iežu pastāvīga un neatņemama sastāvdaļa. Ūdens iežos, gruntīs, augsnēs atrodas dažādos veidos (79. att.).

Hidroģeoloģijā, augsnes zinātnē, grunts mācībā, inženierģeoloģijā ir izstrādātas dažādas iežos sastopamo ūdens veidu klasifikācijas. Lielu ievēribu ir guvusi A. Ļebedeva (1918) sastādītā klasifikācija, kurā tiek sistematizēti ūdens veidi iežos un augsnē. Izšķir šādus ūdens veidus:

- tvaikveida,
- higoskopisko,
- plēvīšu,
- gravitācijas,
- cietā veida,
- kristalizācijas un ķīmiski saistīto.

Šo jautājumu pētījuši daudzi zinātnieki: S. Dolgovs, B. Derjagins, A. Rode, E. Sergejevs, V. Lomtadze, G. Bogomolovs, J. Muhina u. c. Ņemot vērā kolēģu atziņas un datus, E. Sergejevs (1973) ir izstrādājis iežos sastopamā ūdens klasifikāciju:

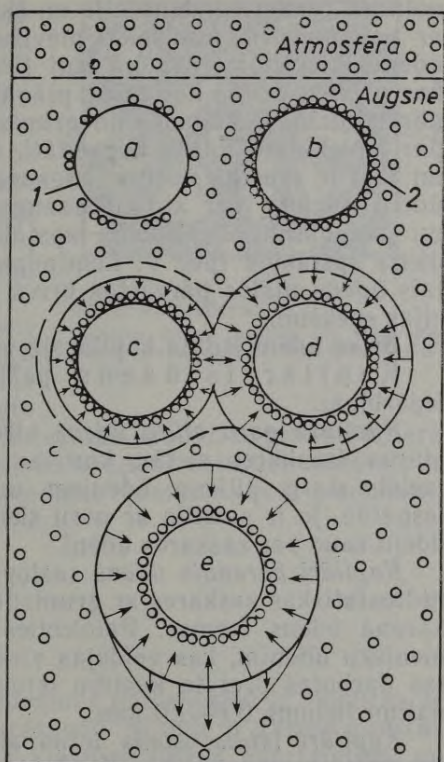
- tvaikveida ūdens;
- saistītais ūdens:
 - stipri saistītais jeb adsorbcijas ūdens,
 - vaļīgi saistītais jeb plēvīšu ūdens;
- brīvais ūdens:
 - kapilārais ūdens:
 - kapilāro poru stūra ūdens (kapilāri nekustīgais),
 - kapilāri kareņais ūdens (kapilāri kustīgais),
 - kapilāri īstais ūdens (viegli kāpjošais),
 - gravitācijas ūdens:
 - infiltrācijas ūdens,
 - gruntsūdens;
 - cietā veida ūdens;
 - kristalizācijas, ceolītu un konstitucionālais ūdens.

Tvaikveida ūdeni satur gaiss, kas aizpilda augsnes un iežu sausās vai ar ūdeni nepilnīgi piesātinātās iežu poras, plaisas un tukšumus. Ūdens tvaiki atmosfērā atrodas pastāvīgā dinamiskā līdzsvarā ar ūdens tvaikiem iežos un augsnē. Tvaikveida ūdens pārvietojas no

vietas, kur ir lielāks tvaika spiediens, uz vietu, kur tas ir mazāks jeb temperatūras ir vienādas, no vietas ar lielāku blīvumu uz vietu ar mazāku blīvumu. Pazeminoties temperatūrai, tvaiki iežos kondensējas un izveidojas brīvais vai saistītais ūdens. So tvaika kondensāciju sauc par termisko kondensāciju, bet uz iežu daļiņām virsmas molekulāro spēku ietekmē noris molekulārā kondensācija. Šiem procesiem ir liela ietekme (īpaši dienvidu rajonos) uz dažādu ūdeņu veidošanos, kad virsējā augsnes kārtā dienā sakarst un izžūst, bet naktis, augsnei stipri atdziestot, ūdens tvaiki kondensējas un palielina augsnes mitrumu. Starp atmosfēru un augsni veidojas stipra gaisa kustība, gaisa ūdens tvaiki, nokļūstot iežu porās, atdziest un kondensējas vai arī atmosfēras ūdens tvaiki kondensējas augsnes virskārtā rasas veidā. Sausos iežos dienvidu rajonos var veidoties kondensācijas ūdens horizonts, kuram milzīga nozīme augu attīstībā.

Saistītais ūdens iedalās stipri un vaļīgi saistītajā ūdenī. **Stipri saistītais** jeb **higroskopiskais** ūdens (pēc A. Ļebedeva) rodas, iežiem saistot ūdens tvaikus, galvenokārt no augsnes gaisa. Veidojas slānītis dažu molekulu diametru biezumā, stūros izliecoties un veidojot biežāku slānīti, bet ieliecoties citās vietās. Uz iežu daļiņām tas noturas ar milzīgu spēku — ap $98\,000 \cdot 10^4$ Pa, un pārvietojas tikai tad, ja pārvēršas tvaikā. Pēc īpašībām stipri saistītais ūdens atšķiras no parastā ūdens, jo tā īpašības tuvojas cieto ķermeņu īpašībām: blīvums — ap 2 g/cm^3 , liels lipīgums, sasalst -78°C temperatūrā. Stipri saistītā ūdens daudzums atkarīgs no iežu mineralogiskā un granulometriskā sastāva. Jo smalkāks iežu granulometriskais sastāvs, jo vairāk stipri saistītā ūdens var veidoties. Grūti to sauc par gruntu higroskopiskumu; šo ūdeni augi nevar izmantot.

Vaļīgi saistītais jeb **plēvišu ūdens** (pēc A. Ļebedeva) paliek uz iežu daļiņām simts un tūkstoš molekulu biezumā, pēc tam kad iežos



79. Ūdens veidi iežos:

1 — iežu daļiņas, 2 — ūdens tvaika molekulas; a — nepilnā piesātinājumā stipri saistītais tvaikveida ūdens, b — pilnā piesātinājumā stipri saistītais tvaikveida ūdens, c, d — plēvišu ūdens pārvietojas no vienas daļiņu virsmas uz otru molekulu pievilkšanas spēku ietekmē, e — gravitācijas ūdens, kas veido plīteni, kurš smaguma spēka ietekmē plūst lejup.

notikusi tvaiku kondensācija un šķidru pilienu atdalīšanās. Tas turas ar nelielu spēku un veido plēvīšu ūdens kārtu ap higroskopisko ūdeni. Pārvietojas samērā lēni (lēnāk par kapilāro ūdeni) no biežākas plēvīšu ūdens kārtas uz plānāku, līdz plēvīšu biezums iežu daļiņās izlīdzinās. Augsnes un grunts spēju uzņemt plēvīšu ūdeni sauc par molekulāro ūdens kapacitāti. So ūdeni var saistīt augu saknes, un tam ir svarīga nozīme augsnes auglībā. Stipri un vaļīgi saistīto ūdeni no ieža var atdalīt paaugstinātā temperatūrā ($105-110^{\circ}\text{C}$) un paaugstināta spiediena apstākļos. Tā $29,4 \cdot 10^7 - 49 \cdot 10^7$ Pa spiediena apstākļos (pēc V. Lomtadzes u. c.) vaļīgi un pat cieši saistītais ūdens mālos pārvēršas brīvā stāvoklī un tiek pakļauts gravitācijas spēkiem.

Brīvo ūdeni iedala kapilārajā un gravitācijas ūdenī.

Kapilārais ūdens pakļauts galvenokārt kapilāro spēku iedarbībai.

Kapilāro poru stūra ūdens atrodas šauros lielāko kapilāro poru stūros (saskares vietās, kur tas turas ar kapilāro spēku). Tas ir izolēts starp pilienu ūdeņiem un nepārvietojas smaguma spēka iespaidā, jo ir saistīts ar poru sienām (80. att.). Pēc S. Dolgova šo ūdeni sauc par saskares ūdeni.

Kapilāri karenaiss ūdens sastopams kapilārās porās, un tam nav hidrostatiskas saskares ar gruntsūdeņiem, veidojot virs tiem dažādas karena ūdens formas. Pateicoties karenas apmales apakšējo poru menisku ūdenim, kas veidojas virsmas pievilkšanas spēku rezultātā, tas darbojas pret to kustību lejup. Sastopams parasti gruntīs, kur daļiņu lielums $0,1-1,0$ mm.

Kapilāri īstais ūdens iežos aizpilda kapilārās poras un veido kapilāro zonu virs gruntsūdeņiem, kuras augstums atkarīgs no grunts granulometriskā sastāva. Sasalst, ja temperatūra zemāka par 0°C , un tā kustība atkarīga no virsmas spraiguma.

Gravitācijas ūdens raksturīgs pazemes ūdeņiem. To nespēj aizturēt molekulārie vai meniska spēki, un smaguma spēka iespaidā tas kustas pa iežu poru savienojumiem, tukšumiem, plaisām. Gravitācijas ūdeņi veidojas iežos, ja tajos nokļūst lietūs, sniega, upju vai mākslīgi pievadīti ūdeņi. Pēc kustības virziena var izdalīt *infiltrācijas ūdeni*, kas kustas no augšas uz leju (filtrējošie), un *slāņu ūdeni*, kurš iežu slāņos plūst mazākas pretestības, zemāka līmeņa vai spiediena krituma virzienā.

Cietā veida ūdens ir ledus, ledus līnzas, starpslāņu sasalušie ūdeņi iežos u. c.

Kristalizācijas ūdens parasti sastopams minerālos tā kristalogrāfiskā tīkla struktūras ūdens molekulu veidā. No minerāliem izdalās, karsējot virs 400°C , kad veidojas jauni minerāli ar citu kristālisko struktūru. Kristalizācijas ūdeni satur virkne minerālu, piemēram, gipsis $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, mirabilīts $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, karnalīts $\text{KClMgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$. Ja no gipša atdala kristalizācijas ūdeni, izveidojas anhidrits CaSO_4 .

Ceolīta ūdens ir sastopams galvenokārt ceolītu grupas minerālos. Tas līdzīgs kristalizācijas ūdenim, bet neietilpst minerālu

kristalogrāfiskajā tīklā, un tā molekulu skaits var būt ļoti dažāds. Ceolīta ūdeni var atdalīt no $+80^{\circ}\text{C}$ līdz 400°C temperatūrā. Minerālu struktūra, ūdenī atdalot, neizmainās, bet īpašības — nedaudz mainās (caurspīdīgums, relatīvais blīvums u. c.). Ar laiku minerāls var atgūt ceolītu ūdeni un agrākās īpašības. Ceolītu minerāls ir, piemēram, $\text{Ca}_2\text{NaAl}_5\text{Si}_5\text{O}_{20} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$.

Konstitucionālais ūdens ir ūdens, kura ūdeņraža un skābekļa atomi ietilpst minerālu molekulas uzbūvē. Lai to atdalītu, ir jāpielieto spēks, kas pilnīgi izjauc minerālu molekulas uzbūvi, to parasti izdara virs 400°C temperatūrā. Konstitucionālo ūdeni saturoši minerāli ir reti, un tie veidojas palielināta spiediena apstākļos, kā, piemēram, diaspors (AlOOH).



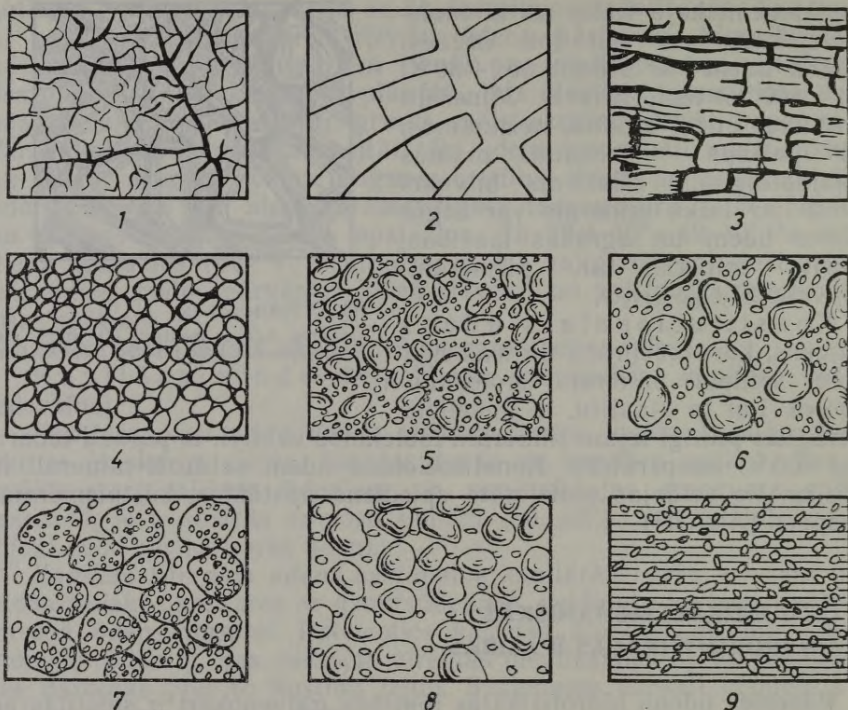
80. Brīvais ūdens:

saskares ūdens meniski (1) starp cietajām gruntis daļiņām (2) (pēc S. Dolgova).

IEŽU FIZIKĀLI MEHĀNISKĀS UN HIDROFIZIKĀLĀS ĪPAŠĪBAS

Pazemes ūdeņu hidrofizikālās īpašības galvenokārt ir saistītas ar vidi, kurā notiek to kustība un uzkrāšanās. Šī vide ir Zemes garozas dažādie ieži, kurus hidroģeoloģijā klasificē ūdens caurlaidīgos un ūdens necaurlaidīgos iežos. To nosaka iežu fizikāli mehāniskās īpašības (porainība, iežu granulometriskais sastāvs, blīvums, tilpummasa) un hidrofizikālās īpašības (ūdens kapilaritāte, ūdens kapacitāte, ūdens atdeve, iežu dabiskais mitrums, plastiskums, lipīgums, tiksotropija, uzbriešana, ūdens filtrācijas spēja). Ūdenscaurlaidīgos iežos gravitācijas ūdens brīvi pārvietojas pa porām, plaisām un citiem tukšumiem. Ūdens necaurlaidīgos iežos gravitācijas ūdens nespēj pārvietoties. Ūdens necaurlaidīgi ir blīvie masīvie magmatiskie un metamorfie ieži un dažreiz arī blīvie nogulumieži (dolomīts, kaļķakmens u. c.), kā arī stipri smalkgraudainie ieži (māls). Par ūdens necaurlaidīgiem pieņem tos iežus, kuri pie neliela hidrostatiskā spiediena ūdeni nelaiž cauri. Palielinot hidrostatisko spiedienu, daži necaurlaidīgie ieži var kļūt ūdens caurlaidīgi. Iežu ūdens caurlaidība un necaurlaidība ir svarīga īpašība, jo tā nosaka pazemes ūdeņu daudzumus, izplatību, kustības likumības, kā arī daudzus ģeoloģiskos procesus. Ūdens caurlaidība ir atkarīga no iežu fizikāli mehāniskām īpašībām, īpaši porainības.

Porainība. Iežos ieslēgtais ūdens var aizpildīt lielas un nelielas plaisas, lūzuma zonas, tukšumus un poras, kas veidojas starp minerālu daļām un parasti ir pildītas ar gaisu. Poru un tukšumu rašanās iežos ir atkarīga no daudziem faktoriem. Magmatiskos iežos tie rodas, atdziestot magmai. Viegli šķīstošos nogulumiežos (ģipšos,



81. Poru veidi iežos:

1 — mikroplaisais un makroplaisais blīvā iežā, 2 — lieli tukšumi iežā, kas veidojušies šķīšanas un izskalošanas rezultātā, 3 — plaisu tīkls dolomitā, 4 — poras labi šķīrotā smiltī, 5 — tukšumus starp smiltis graudiņiem aizpilda smalkās frakcijas, samazinot kopējo iežu porainību, 6 — tukšumu starp smiltis graudiņiem aizpilda putekļu un koloidālās daļiņas, 7 — poras starp agregātiem un mikroporas agregātos, 8 — cementētas smilšakmens poras, 9 — māls ar nelielu porainību (stipri palielināts).

kaļķakmeņos) tie rodas, izšķīstot un izskalojot šos iežus. Pēc veidošanās poras un tukšumus iežos iedala primāros, kuri veidojas vienlaicīgi ar iežiem, un sekundāros, kuri rodas pēc iežu izveidošanās. Poru lielums un forma atkarīga no daļiņu izvietojuma, to sašķirojuma, cementēšanās, sablīvēšanās un citiem procesiem, kas noris laika gaitā (81. att.). Iežu un grunts* kopējo tilpumu V , kurā vienu daļu V_{sk} aizņem grunts minerālā daļa (grunts skelets), pārējo daļu V_p tukšumi (poras, plaisas), raksturo vienādojums

$$V = V_{sk} + V_p.$$

Pēc poru, plaisu un tukšumu lieluma iežos izšķir trīs iežu porainības veidus:

○ nekapilāro porainību, ko veido poras, plaisas un tukšumi, kuru izmēri lielāki par 1 mm;

* Grunts — lieto tādu iežu slāņu apzīmēšanai, kuriem ir inženierģeoloģiska nozīme.

○ kapilāro porainību, kur poru diametrs mazāks par 1 mm un plaisas — šaurākas par 0,25 mm;

○ subkapilāro porainību, kur poru diametrs mazāks par 0,0002 mm un plaisas — šaurākas par 0,0001 mm.

Visu poru, plaisu un citu tukšumu kopējo tilpumu starp cietajām daļām sauc par *porainību*, un to vērtē ar porainības koeficientu, kas ir poru tilpuma un iežu tilpuma attiecība, izteikta daļskaitlī vai procentos

$$n = 100 \frac{V_p}{V},$$

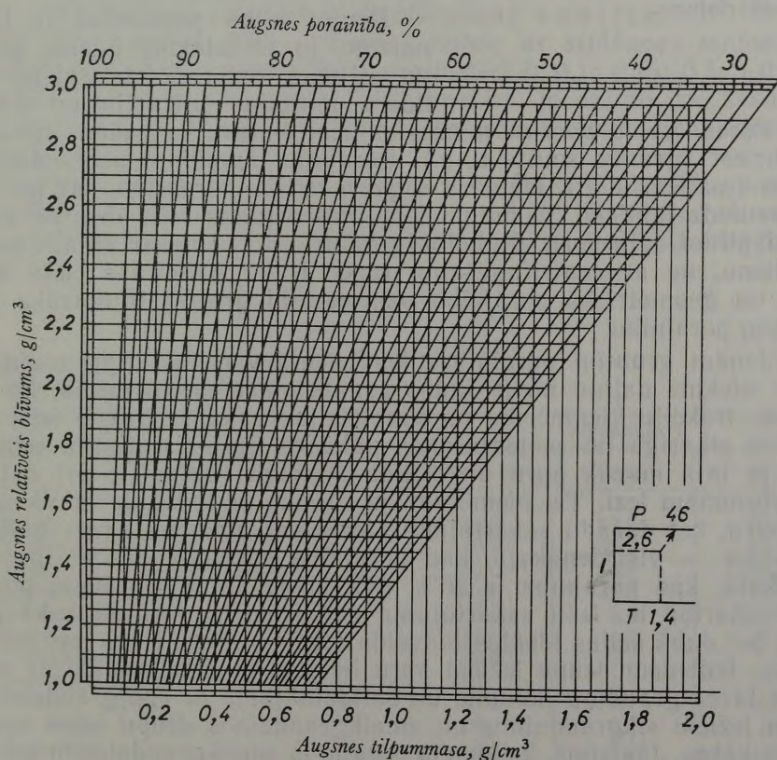
kur n — iežu porainības koeficients, %;

V_p — poru tilpums;

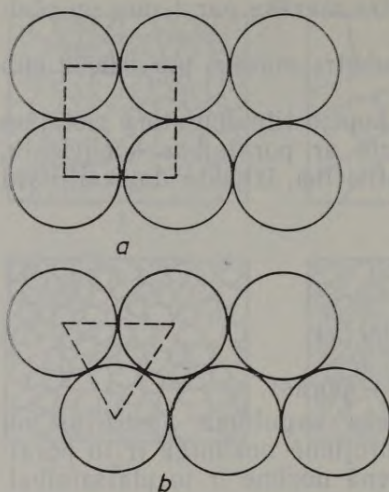
V — iežu tilpums (cietā bāze + poras).

Porainības koeficients raksturo arī ieža saguluma apstākļus un blīvumu. Drupu iežu un grunšu raksturojumā nozīmīga ir to porainība, bet cietās monolītu gruntīs galvenā nozīme ir to plaisainībai.

Augsnes porainību nenosaka tieši, bet nolasa no nomogrammas (82. att.) vai aprēķina, dalot tilpumvienības masu (T) ar augšnes



82. Nomogramma augšnes porainības noteikšanai.



83. Ieža porainība.
Irdens (a) un blīvs (b) ieža graudiņu sakārtojums.

blīvumu (I), un uzzina augšnes daļiņu tilpumu (C). Tā, piemēram, ja augšnes 1 cm^3 masa ir $1,60 \text{ g}$, bet blīvums $2,80 \text{ g/cm}^3$, tad cieto daļiņu tilpums ir 57% [$C_t(T/I) \cdot 100$], bet poras aizņem pārējo augšnes tilpumu, t. i., 43% no kopējā augšnes tilpuma. Lauksaimniecībā auglīgākajās augsnēs kapilāro un nekapilāro poru attiecība ir tuva $1:1$, ja kopējā porainība ir ap 50% (kapilārās poras 25% , nekapilārās poras 25%). Optimālākos apstākļos nekapilārā porainība ir 50% no kopējās porainības. Jāatzīmē, ka augsne nevar tā sablīvēties, ka nekapilāro poru nebūtu nemaz. Vismazāk to ir augsnes garozā ($<1\%$). Mežu augsnēs lielāka mežu bonitāte novērojama tur, kur ir lielāka nekapilārā porainība.

Drupu iežos porainībai ir liela nozīme, jo tā ietekmē ūdens, gaisa un siltuma režīmu, kas saistīti ar ūdens ietilpību, filtrāciju un ūdens

pacelšanos. *Reālo porainību* nosaka tiem iežiem, kas ūdens ietekmē neuzbriest (grants, smilts u. c.). Porainību aprēķinot uzbriestošiem iežiem (māliem u. c.), iegūst t. s. *ģeometriskā porainību*, kas parasti nepārsniedz faktisko, jo daļu ūdens, kas atrodas iežā, absorbē koloīdi, aizpildot daļu poru. Šo koloīdu saistīto ūdeni nevar atdalīt ne ar spiedienu, ne ar centrifugēšanu, tāpēc it kā palielinās cietā iežu fāze, un ģeometriskā porainība uzbriestošai gruntij ir mazāka par faktisko porainību.

Irdenām gruntīm porainības koeficients var būt stipri mainīgs, jo to ietekmē daļiņu novietojums grunts masā un to forma, kā arī dažādo frakciju vienmērība un agregācijas pakāpe. Irdeno iežu porainība atkarīga no cementēšanās pakāpes, jo izeis stiprāk cementēts, jo tajā mazāk poru un otrādi. Svarīga nozīme ir arī daļiņu sakārtojumam iežā. Tā, piemēram, ja daļiņas ir lodveida ar vienādu diametru, bet dažādu sakārtojumu, izeis var atrasties divos galējos stāvokļos — visirdenākajā, kad porainība sasniedz $47,6\%$, un visblīvākajā, kad porainība ir 26% (83. att.). Tātad teorētiski porainība atkarībā no iežu sakārtojuma var atšķirties vairāk nekā par 20% , bet dabā šādas ideālas lodveida formas drupu iežos nav sastopamas. Irdeniem drupu iežiem poru lielums ir cieši saistīts ar iežu cietās fāzes graudiņu lielumu, un salīdzinājumā ar rupjgraudainiem drupu iežiem sīkgraudainos un smalkgraudainos drupu iežos poras ir smalkākas. Jāatzīmē, ka kopējā porainība smalkgraudainiem iežiem ir lielāka nekā rupjgraudainiem iežiem. Tā, piemēram, grantij porainība ir aptuveni 35% , rupjai smiltij — 40% , smalkai smiltij — 42% ,

mālsmitij — 45%, smilšmālam — 50%, mālam — 50—60% (18. tabula).

Ja rupjgraudaini ieži ir samaisīti ar vidēji graudainiem vai sīkgraudainiem iežiem, to porainība samazinās. Grants porainība ir 35%, bet, ja grants ir sajaukta ar smilti, porainība nav augstāka par 20%. Dati rāda, ka māliem ir liela porainība, tomēr māli ir ūdens necaurlaidīgi ieži. Tātad ūdens caurlaidība ir atkarīga ne tikai no kopējās porainības, bet to ietekmē arī poru lielums un citi faktori, piemēram, tas, ka mālos ir tikai kapilārās un subkapilārās poras. Irdeno iežu porainība un citas hidroģeoloģiskās īpašības ir cieši saistītas ar šo iežu granulometrisko sastāvu.

Granulometriskais sastāvs. Irdenie nogulumieži, kas galvenokārt veidojušies no primārajiem iežiem, tiem fiziski sadēdot — sadrūpot un sasmalcinoties —, sastāv no dažādā pakāpē sašķīrotām iežu drupatām, smilšu, putekļu, mālu daļiņām un koloidu dispersām daļiņām. Šo dažāda lieluma sīko daļiņu un graudu daļu no visas iežu masas, izteiktu procentos, sauc par dotā ieža *granulometrisko sastāvu*. Lauksaimniecības literatūrā parasti lieto terminu *mehāniskais sastāvs*. Vienāda lieluma iežu daļiņas veido atsevišķas grupas un frakcijas. Lai noteiktu, kāda daļa no visām grupām ir katra frakcija, jāveic t. s. *granulometriskā (mehāniskā) analīze*.

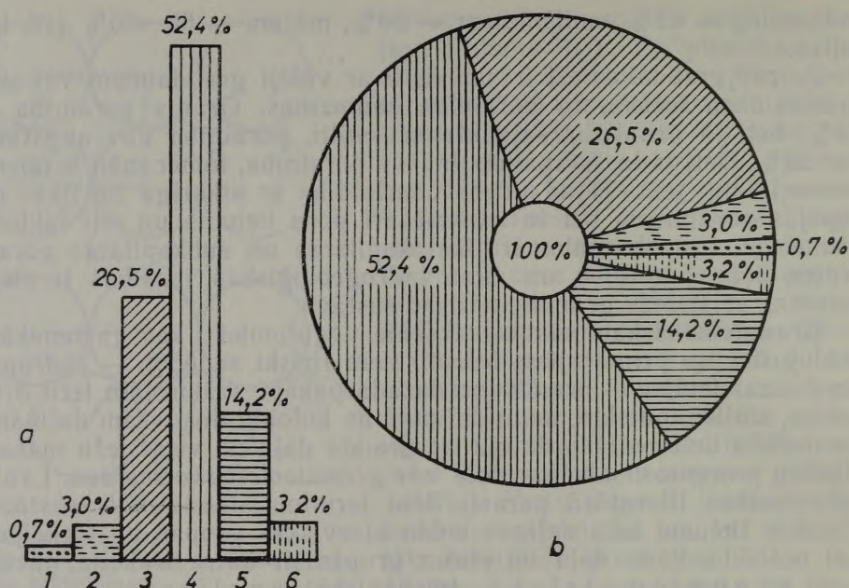
Rupjas frakcijas (0,1—10 mm) noteic ar *sijāšanas metodi*. To veic ar speciāliem sietiem, kuru acu izmēri ir 0,1; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 5,0; 7,0; 10,0 mm. Sietu acīm jābūt apaļām, jo daļiņu izsijāšanās ir atkarīga ne vien no daļiņu lieluma, bet arī no formas un sijāšanas ilguma.

Daļiņas, kuras smalkākas par 0,1 mm, frakcijās sadala, nostādinot ūdenī, — *dekantēšanas metode*. Šī metode pamatojas uz uzduļķoto daļiņu krišanas ātruma noteikšanu kā stāvošā, tā arī tekošā ūdenī.

18. tabula

Dažu tipisko iežu porainība
(pēc G. Maksimoviča 1959. g.)

Ieža nosaukums	Porainība, %		
	maksimālā	minimālā	vidējā
Smilts	48,0	17,3	35,0
Smilšmāls	50,0	35,3	45,0
Māls	55,0	18,3	35,0
Lesveida, māls	60,0	35,3	45,0
Smilšakmens, irdens	42,0	2,2	20,0
Smilšakmens, cementēts	26,5	1,1	12,0
Kaļķakmens, porains	34,0	0,2	5,0
Dolomīts, porains	33,0	1,5	5,0
Kūdra	89,0	76,0	80,0
Marmors	6,0	0,1	1,0
Kvarcīts	3,4	0,01	1,0
Gneiss	2,4	0,3	1,0
Granīts	1,9	0,02	1,0



84. Mālsmilts grunts granulometriskā sastāva stabīņveida diagramma (a) un ciklogramma (b).

Frakciju apzīmējumi:

1 — 1—0,5 mm; 2 — 0,5—0,25 mm; 3 — 0,25—0,05 mm; 4 — 0,05—0,01 mm; 5 — 0,01—0,005 mm; 6 — <0,005 mm.

Pastāv arī pipetēšanas, svaru maiņas, aerometriskā un citas metodes. Druvu iežu granulometriskajā analizē iegūto frakciju procentuālo sastāvu var attēlot dažādās diagrammās vai ciklogrammā (84. att.). Pēc tā nosaka *iežu litoloģisko tipu*. Atkarībā no frakciju sastāva iežiem vai gruntij veido pareizu nosaukumu. Tas atkarīgs no divu vai trīs dominējošo frakciju attiecības. Tāpēc izšķir divu locekļu klasifikāciju, kurā izdala divas galvenās frakciju daļiņas. Ja daļiņas mazākas par 0,01 mm, ieži sauc par fizisko mālu, ja tās ir lielākas par 0,01 mm, — fizisko smilti. Šo klasifikāciju parasti lieto augšnes mehāniskā sastāva noteikšanā (19. tab.). Zinātniskās pētniecības darbos lieto triju locekļu klasifikāciju, raksturīgās frakcijas ir māls, putekļi un smiltis. Šo klasifikāciju izmanto Latvijas izplatītāko grunts un cilmiežu morēnas raksturošanai, kā arī hidroģeoloģijas un inženierģeoloģijas pētījumos. Hidroģeoloģijas un inženierģeoloģijas aprēķinos bieži lieto t. s. neviendabīguma koeficientu

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}},$$

kur d_{60} — grunts sastāvdaļu diametrs, kādu nesasniedz 60% daļiņu no grunts kopējās masas;

d_{10} — grunts sastāvdaļu diametrs, kādu nesasniedz 10% daļiņu; to sauc par grunts efektīvo diametru, kas at-

Iežu klasifikācija pēc fiziskā māla un fiziskās smilts masas daļas
(pēc N. Kačinska)

Fiziskā māla daļiņu (<0,01) saturs, %	Fiziskās smilts daļiņu (>0,01) saturs, %	Augsnes apzīmējums pēc mehāniskā sastāva
0—5	100—95	Irstoša smiltis
5—10	95—90	Saistīga smiltis
10—20	90—80	Mālsmitls
20—30	80—70	Viegls smilšmāls
30—40	70—60	Vidējs smilšmāls
40—50	60—50	Smags smilšmāls
50—65	50—35	Viegls māls
65—80	32—20	Vidējs māls
>80	<20	Smags māls

bilst tāda sieta acu diametram, caur kuru izsijājas tikai 10% no visa neviendabīgā grunts parauga.

Granulometriskās analīzes rezultāti jāattēlo grafiski uz summārās līknes, lietojot t. s. puslogaritmisko tīklu. Uz horizontālās ass tiek atlikti daļiņu diametra logaritmiskie lielumi, bet uz vertikālās — nevis katras atsevišķas frakcijas daļiņu daudzums procentos, bet visu to frakciju daļiņu summa procentos, kuru diametrs vienāds un mazāks par dotās frakcijas daļiņu diametru; sk. paraugu 20. tabulā.

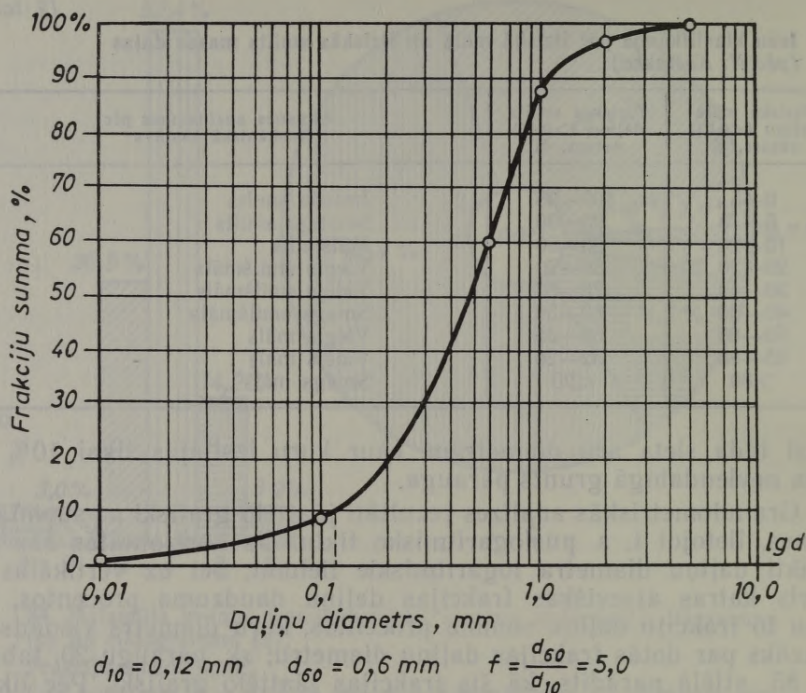
85. attēlā parādīts, kā šīs frakcijas jāattēlo grafiski. Pēc līknes var ātri noteikt grunts efektīvo diametru; caur 10% novelk līniju; vietā, kur tā krusto summāro līkni, no krustpunkta velk perpendikulu uz horizontālo asi un nolasa daļiņu diametru, kas atbilst grunts efektīvajam diametram. Lai aprēķinātu neviendabīguma koeficientu C_n , to izsaka ar attiecību $C_n = d_{60}/d_{10}$. Ja C_n ir vienāds vai lielāks par 5, grunts ir neviendabīga.

Relatīvais blīvums. To nosaka ar absolūti sausu iežu cietās fāzes masas un tāda paša tilpuma ūdens masas attiecību. Ņem blīvu iežu bez porām tilpuma vienību un nosaka tās masu g/cm^3 vai kg/m^3 .

Iežu relatīvais blīvums atkarīgs no to veidotājminerālu vai rūdu procentuālā sastāva. Parasti relatīvais blīvums var sasniegt $5 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, bet minerālu tīrradnēs, piemēram, zeltam $23 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Granulometriskā sastāva grafikam nepieciešamie dati

Frakcijas daļiņu diametrs, mm	Frakcijas daļa (%) no visa parauga	Daļiņu summa (%), kuru diametrs $\leq$ par konkrēto frakciju
2—5	2,4	100
1—2	8,2	97,6
0,5—1	29,4	89,4
0,1—0,5	51,5	60,0
0,01—0,1	7,3	8,5
<0,01	1,2	1,2



85. Granulometriskā sastāva puslogaritmiskais grafiks (summārā likne).

Relatīvais blīvums smiltīm ir $2.66 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, mālsmiltīm — $2.70 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, smilšmālam — $2.71 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$.

Relatīvo blīvumu lieto, raksturojot iežu fizikālās un mehāniskās īpašības.

Tilpummasa. Iežu tilpummasa ir ieža tilpuma vienības masa dabiskā saguluma un dabiskā mitruma apstākļos. To nosaka kg/m^3 un aprēķina pēc šādas formulas:

$$\gamma = \frac{m}{V},$$

kur γ — dabiskā saguluma ieža tilpummasa, kg/m^3 ;

m — parauga masa, kg ;

V — parauga tilpums, m^3 .

Nogulumiežiem tilpummasas ir šādas: smiltij $1.45 \cdot 10^3$ — $1.70 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, smilšmāliem un māliem $1.35 \cdot 10^3$ — $1.65 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$. Tilpummasu var noteikt arī šķidriem un gāzveida iežiem. Tā atkarīga no iežu struktūras, tekstūras, porainības un mainās plašās robežās. Tilpummasu nosaka uz lauka un laboratorijās. Paraugus ņem griezumos, šurfos, atsegumos. Tilpummasa jāzina, aprēķinot spiedienu uz at-

balstsienām, nogāžu noturību, būvju sēšanās lielumu, pieļaujamo slodzi uz gruntīm u. c.

Kapilaritāte. Sīkās iežu, grunts un augšņu porās, plaisās var novērot kapilārās parādības, kas saistītas ar kapilāriem spēkiem. Šī ūdens kapilārā pacelšanās atkarīga no dažādo kapilāro poru un plaisu šķēsgriezuma un orientācijas telpā. Aerācijas zonā virs gruntsūdeņiem novērojama kapilārā ūdens pacelšanās. Dažreiz kapilārais ūdens var būt izolēts no gruntsūdeņiem. A. Ļebedevs šādu kapilāro ūdeni nosaucis par *kareno kapilāro ūdeni*. Kapilārais ūdens labi pārvietojas no mitriem smilšainiem iežiem uz sausākiem puteļainiem vai mālainiem iežiem. Kapilārā ūdens pacelšanās augstums ir atkarīgs no kapilāro poru un plaisu izmēriem, no iežu granulometriskā sastāva, daļiņu formas, viendabīguma, blīvuma, temperatūras, ūdens sāļuma un citiem faktoriem. Tāpēc arī kapilārais ūdens nepakļaujas drenāžai. Kapilārā ūdens pacelšanās augstumu nosakāmajam paraugam aprēķina pēc formulas laboratorijās, kā arī pētot kapilaritāti uz lauka. Kapilārais pacelšanās augstums ir tieši proporcionāls virsmas spraigumam un slapināšanas leņķim, bet pretēji proporcionāls kapilāra rādiusam, šķiduma blīvumam un brīvā krituma paātrinājumam, kas nosakāms pēc formulas

$$h_k = \frac{2\delta \cos \alpha}{r\rho g},$$

kur h_k — kapilārās pacelšanās augstums, cm;

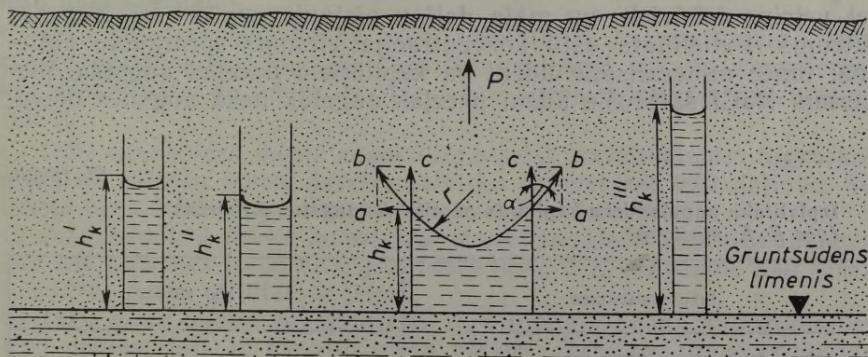
δ — virsmas spraigums, din/cm;

α — leņķis starp kapilāra sienu un spēka b virzienu (86. att.);

r — kapilāra rādiuss;

ρ — šķiduma blīvums, g/cm³;

g — brīvās krišanas paātrinājums.



86. Kapilārā ūdens pacelšanās shēma:

h_k — kapilārā ūdens pacelšanās augstums, cm;

P — summārais pacelšanās spēks līdz pacelšanās augstumam h_k ;

α — leņķis starp kapilāro sienu un spēka b virzienu;

r — kapilārais rādiuss.

Viena no pazīstamākajām empīriskajām formulām kapilārās pacelšanās augstuma noteikšanai ir Kozeni formula

$$h_k = 0,446 \frac{1-n}{n} \cdot \frac{1}{d_{10}},$$

kur h_k — ūdens kapilārās pacelšanās augstums, cm;
 n — kopējā porainība, izteikta kā daļa no viena vesela,
 d_{10} — grunts efektīvais diametrs.

Kapilārā ūdens pacelšanās iežos un augsnē galvenokārt ir atkarīga no to granulometriskā sastāva. Novērojumi rāda, ka smilšainos iežos kapilārā pacelšanās ir strauja, bet augstums nav liels, turpretī mālainos iežos tā ir lēna un augstums ir liels (21. tab.). Ūdens kapilārās pacelšanās ātrums var būt stipri dažāds. Tā smiltīs maksimālais pacelšanās augstums tiek sasniegts 3—80 dienās, bet mālos — 1—3 gados un ilgāk. Mālos, kur daļiņu diametrs mazāks par 0,001 mm, šķidrums kapilārās pacelšanās augstums teorētiski varētu sasniegt 12 metrus, bet praktiski tas nepārsniedz 9 metrus, jo kapilāro kustību bremzē mālu daļiņu uzbriešana, bieži arī kapilārās poras aizpilda plīvīšu ūdens, kas cieši turas pie poru sienām, un virsmas spraiguma spēks ir par mazu, lai pārvarētu šo pretestību. Zināms, ka ūdens kapilāro celšanos iežos, gruntī un augsnē ietekmē arī poru lielums, optimālais poru diametrs parasti ir no 0,05 līdz 0,1 mm. Šādas poras sastopamas galvenokārt lesveida iežos un lesos, kur šķidruma pacelšanās augstums tuvs teorētiski iespējamajam.

Kapilārā ūdens pacelšanās augstuma noteikšanai iežos un īpaši augsnē ir liela praktiska nozīme, jo augi šo ūdeni var izmantot. Kapilārā ūdens pacelšanās augstums augsnē jāzina, lai pareizi noteiktu nosusināšanas normu, t. i., vēlamu gruntsūdens līmeņa attālumu no Zemes virsmas. Augsnes kapilāro pacelšanos bremzē irdena drupataina struktūra, akmeņainība, sāļu sastāvs un koncentrācija, bet veicina trūdvielu un māla daļiņu piejaukums, kā arī augsnes mitrums. Palielināta sāļu koncentrācija virsmas spraigumu palielina, tāpēc mineralizētie ūdeņi pa kapilāriem paceļas augstāk, piemēram, NaCl saturošie ūdeņi paceļas augstāk nekā augsnes ūdeņi,

21. tabula

Izplatītāko nogulumiežu kapilārās pacelšanās augstuma robežas
 (pēc P. Kļimentova)

Iežu nosaukums	h_k , cm
Smilts, rupjgraudaina	2,0—3,5
Smilts, vidēji graudaina	12—35
Smilts, smalkgraudaina	35—120
Mālsmilts	120—350
Smilšmāls	350—650
Māls	650—1200

kuri satur Na_2SO_4 . Ūdens pacelšanās augstums palielinās arī trūdvielām un māla daļiņām bagātās augsnēs.

Kapilārā ūdens pacelšanos jāaprēķina arī celtniekiem, ceļot ēku pamatnes, ceļu un dzelzceļu uzbērumus, dambjus un citus būvobjektus, kur ir jācinās ar grunts kapilaritāti, lai pasargātu to no kapilāriem ūdeņiem. Svarīgi zināt arī naftas kapilāro pacelšanos sausos smilšainos iežos, ko nosaka ar empīriskām formulām. Laboratorijās ūdens kapilāro pacelšanos smilšainos iežos nosaka, lietojot G. Kamenska kapilarimetru (sk. 88. att.). Cilindru *a* piepilda ar grunti un uzliek uz turētāja *b*, tad atver aizspiediņi *1*, bet aizver aizspiediņi *2*, grunti piesātina ar ūdeni. Lai aizvadītu grunti ietilpstošo gaisu, atver aizspiediņi *3* un, kad grunts piesātināšana beigusies (virs grunts parādās ūdens kārtiņa), aizspiediņi *1* noslēdz un atver aizspiediņi *2*. Caurulē *c* līmenis sāk lēni kristies, līdz ūdens virsma *c* atraucas no grunts stabiņa apakšas. Šajā brīdī nolasītais ūdens līmenis *c* atbilst kapilārās pacelšanās augstumam (cm) dotajā gruntī.

Iežu ūdens kapacitāte. Iežu (augšnes) ūdens kapacitāte jeb ūdens ietilpība ir spēja uzņemt, saistīt un noturēt kādu noteiktu ūdens daudzumu. To raksturo ar *ūdens kapacitātes koeficientu*, ko izsaka masas vai tilpuma %, t. i., ūdens masas un sausa ieža masas attiecību procentos. Starp ūdens kapacitātes koeficientu, izteiktu tilpuma un masas %, pastāv šāda sakarība

$$W_t = W_m \gamma,$$

kur W_t — ūdens kapacitāte, tilpuma %;

W_m — ūdens kapacitāte, masas %;

γ — sausa ieža tilpummasa, g/cm^3 .

Nosakot ieža ūdens kapacitāti, ir jāņem vērā, kādi ūdens veidi sastopami iežos. Izšķir higroskopisko, molekulāro, kapilāro un pilno iežu ūdens ietilpību.

○ Iežu *higroskopiskā ūdens kapacitāte* atbilst maksimālajam ūdens tvaiku daudzumam, ko spēj absorbēt gaissausi ieži no atmosfēras, kas piesātināta ar ūdens tvaikiem jeb kuras relatīvais mitrums ir 100 %.

○ Iežu *molekulārā ūdens kapacitāte* atbilst maksimālajam higroskopiskā un plēvīšu ūdens daudzumam, ko var saturēt iežu daļiņas. Šo ūdens kapacitāti sauc arī par lauka mitruma kapacitāti.

○ Iežu *kapilārā ūdens kapacitāte* ir maksimālais ūdens daudzums, kas var atrasties iežos virs gruntsūdeņiem, t. i., stāvoklis, kad visas kapilārās poras pildītas ar ūdeni.

○ Iežu *pilna ūdens kapacitāte* ir maksimālais ūdens daudzums, ko spēj uzņemt ieži ar higroskopisko plēvīšu, kapilāro un gravitācijas ūdeni.

Lauksaimniecībā nozīmīgs ir augsnes *dabiskais mitrums* dotajā augsnē, ko nedrīkst sajaukt ar augsnes ūdens kapacitāti. Augsnes dabiskais mitrums ir dinamisks un atkarīgs ne tikai no ūdens ietilpības, bet arī no caurlaidības, iztvaikošanas. Augsnes

dabisko mitrumu W raksturo augsnē esošā ūdens un augsnes cieto sastāvdaļu masu attiecība, kas izteikta daļas veidā vai procentos:

$$W = \frac{m - m_{izz}}{m_{izz}},$$

kur $m - m_{izz}$ — ir ūdens masa, ko nosaka dabiskā augsnes parauga masai (m), atņemot augsnes masu pēc izžāvēšanas 105—110 °C (m_{izz}).

Augsnei nosaka arī tās relatīvo mitrumu, kas raksturo augsnes kopējo mitrumu. To izsaka procentos no augsnes pilnas ūdens kapacitātes. Kopējo mitrumu (t/ha) noteikta tilpuma augsnes slānim var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$D = W_a h \gamma,$$

kur D — ūdens masa (t/ha),

W_a — augsnes mitruma masas daļa procentos no absolūti sausas augsnes masas,

h — augsnes slāņa biezums (cm),

γ — augsnes tilpummasa.

Pētot gruntis hidroģeoloģiskās īpašības, svarīga nozīme ir maksimālajai molekulārajai ūdens kapacitātei, ko parasti nosaka ar centrifugēšanas vai augsto kolonu metodi. Šī ūdens ietilpība norāda, cik lielu ūdens daudzumu grunts spēj aizturēt pēc gravitācijas ūdens noteces.

Pilno ūdens kapacitāti var aprēķināt pēc grunts kopējās porainības

$$W_p = \frac{n}{\gamma},$$

kur W_p — pilna ūdens kapacitāte,

n — porainības koeficients,

γ — grunts cietās fāzes tilpummasa.

Pēc grunts ietilpības izšķir ūdens ietilpīgos iežus (kūdra, sapropelis, māls, smilšmāls), ūdens mazietilpīgos iežus (mālsmits, mergelis, krīts, less) un praktiski ūdens neietilpīgos iežus (monolīti magmatiskie un metamorfie ieži, grants).

Ūdens atdeve ir ar ūdeni maksimāli piesātinātu iežu spēja atdot daļu ūdens, kas brīvi pārvietojas smaguma spēka ietekmē. Iežos, kur dominē kapilārās un subkapilārās poras, ir maz gravitācijas ūdens un ūdens atdeve ir ļoti neliela. To izsaka ar ieža pilnās ūdens kapacitātes un molekulārās ūdens kapacitātes starpību. Ūdens atdevi raksturo *gravitācijas ūdens atdeves koeficients*, ko izsaka kā daļu no viena vesela vai procentos:

$$K_a = W_p - W_m,$$

kur K_a — ūdens atdeves koeficients, %;

W_p — ieža pilna ūdens kapacitāte, %;

W_m — ieža maksimālā molekulārā mitruma kapacitāte, %.

Iežu ūdens atdeves koeficienti
(pēc O. Skirgello)

Ieža nosaukums	Ūdens atdeves koeficienti, daļskaitļos
Smalkgraudaina smiltis vai mālsmilts	0,10—0,15
Sīkgraudaina smiltis	0,15—0,20
Vidējgraudaina smiltis	0,20—0,25
Rupjgraudaina vai granšaina smiltis	0,25—0,35
Smilšakmeņi ar māla cementu	0,02—0,03
Brūnogles	0,02—0,05
Plaisaini kaļķakmeņi	0,008—0,10

Iežu ūdens atdevi aprēķina ar laboratorijas metodēm vai pēc ūdens atsūkšanās metodes. Smilšainiem iežiem to parasti nosaka ar laboratorijas metodēm, jo izmēģinājumu laukos pēc ūdens atsūkšanās iežu struktūra izjūk.

Ūdens atdeves koeficients ir atkarīgs no iežu granulometriskā sastāva (22. tab.). Rupjām smiltīm un grantij ir lielāka ūdens atdeve nekā mālainām gruntīm un māliem, turpreti ūdens kapacitāte lielāka ir smiltij un māliem.

Plastiskums ir iežu spēja ārējās slodzes iedarbībā deformēties (izmainīt formu), neizjaucot iekšējo struktūru, un saglabāt formu pēc ārējo spēku iedarbības izbeigšanās. Iežu (grunts) plastiskumu nosaka māla minerālu daudzums un sastāvs. Mālaina grunts kļūst plastiska, ja tās mitrums pārsniedz molekulāro mitruma kapacitāti. Grunts konsistenci (cieta, puscietā, sīksti plastiska, plastiska, mīksti plastiska, plūstoši plastiska, plūstoša) nosaka mitruma diapazons, kuru eksperimentāli aprēķina laboratorijās.

Drupšanas robeža ir grunts ūdens ietilpība W_d , kuru nesasniedzot grunts pāriet no plastiska stāvokļa puscietā stāvoklī.

Plūstamības robeža atbilst grunts ūdens ietilpībai W_p , kuru nedaudz pārsniedzot grunts no plastiska stāvokļa pāriet plūstošā stāvoklī.

Starpību starp W_p un W_d apzīmē par **plastiskuma skaitli** un to izsaka daļas veidā:

$$I_p = W_p - W_d$$

Pēc plastiskuma skaitļa māla grunts iedala

- ļoti plastiskās (māli) — $I_p > 0,17$;
- plastiskās (smilšmāls) — $0,07 < I_p \leq 0,17$;
- vāji plastiskās (mālsmilts) — $0,01 < I_p \leq 0,07$.

Liels spiediens un augsta temperatūra palielina arī nemālu iežu plastiskumu. Tāpēc Zemes garozas dziļumā (15—20 km) visi cietie ieži kļūst plastiski.

Lipīgums ir grunts spēja, atrodoties noteiktā mitruma intervālā, pielipt priekšmetiem. Lipīgums īpaši raksturīgs mālainām gruntīm.

To mēra MPa. Lipīgumu nosaka, lai zinātu, cik tas samazina ekskavatora, zemes racēju, grunts transportieru pielietošanas efektivitāti un ceļu būvēšanas lietderības koeficientu.

Uzbriešana ir mālu grunts tilpuma palielināšanās, to samitrinot, un uzbriešanas spiediena rašanās, ko mēra MPa. Uzbriešanas lielums atkarīgs no minerālu dispersitātes, ūdens ķīmiskā sastāva, spiediena. Uzbriešanu raksturo *uzbriešanas koeficients*, kas parāda ieža relatīvo pieaugumu, ko parasti nosaka laboratorijas apstākļos:

$$k = 100(V - V_1) / V_1,$$

kur V — pēc samitrināšanas uzbrieduša ieža tilpums,

V_1 — gaissausa ieža tilpums.

Uzbriešana jāņem vērā celtniecības darbos ar dispersām gruntīm, kā arī ierīkojot dambjus un ūdenstilpes. Vislielākā uzbriešana ir montmorilonītu māliem, to uzbriešanas tilpums var palielināties 10—20 reizi. Vismazākā uzbriešana māliežos ir kaolīna māliem. Neliels kaļķu un trūdu daudzums palēnina iežu samitrināšanos. Mitrumam palielinoties ilgstoši, grunts struktūrās saites var pavājināties tiklīdz, ka grunts sairst.

Tiksotropija ir iežu (grunts) spēja mehāniskas iedarbības rezultātā (vibrācija, triecieni u. c.) pāriet no plastiskā stāvokļa plūstošā un pēc laika bez mitruma samazināšanās pāriet atpakaļ plastiskā stāvoklī. Process rodas tāpēc, ka vāji saistītais ūdens šīs iedarbības rezultātā pāriet brīvā ūdenī. Parādība sevišķi raksturīga iežos, kuri satur organiskas vai minerālas izcelsmes koloīdus. Māla un lesa iežos tiksotropiskā sašķidrināšanās rada grunts mehāniskās stiprības samazināšanos un noslīdeņu deformāciju veidošanos. Tas novērojams dzelzceļa uzbērumos. Savukārt celtniecībā tiksotropiju izmanto augstceltņu pamatpāļu iegremdēšanai ar vibratoru palīdzību.

PAZEMES ŪDEŅU VEIDOŠANĀS

Pazemes ūdeņu izcelšanās apstākļi var būt sarežģīti un daudzveidīgi. Pēc to īpatnībām izšķir vairākus pazemes ūdeņu ģenētiskos tipus.

Infiltrācijas (meteorie) ūdeņi veidojas, nelielai daļai atmosfēras nokrišņu un virszemes ūdeņu infiltrējoties iežos. Infiltrācija ir atkarīga no iežu sastāva, nokrišņu daudzuma, virszemes noteces un klimatiskajiem apstākļiem. Virszemes noteces noplūšanas lielums saistīts ar reljefu un iežu caurlaidību. Vismazākā ūdens infiltrācija ir vietās, kur stāvas nogāzes un iežiem slikta ūdens caurlaidība. Tādos pašos klimatiskajos apstākļos, ja reljefs ir līdzens un ieži ūdenscaurlaidīgi, ūdens infiltrācija var būt laba. Virszemes noteci ietekmē augu sega, piemēram, koku vainagi aiztur daļu nokrišņu, un tie nemaz nenonāk līdz zemes virsmai. Virszemes noteci var stipri ietekmēt arī cilvēku darbība (augšnes meliorācija, irigācija, mežu izciršana, augšnes ielabošana u. tml.). Svarīgākie klimatiskie faktori, kas ietekmē ūdens infiltrāciju iežos, ir absolūtais un relatīvais gaisa mit-

rums, iztvaikošana, gaisa un augsnes temperatūra, vēja stiprums u.c. Infiltrācijas ūdeņi ir gandrīz 90% no visiem pazemes ūdeņiem, kas piedalās zemeslodes hidroloģiskajā ciklā.

Kondensācijas ūdeņi veidojas iežu porās un citos tukšumos, temperatūrai pazeminoties līdz rāsas punktam, kad sākas ūdens kondensācija.

Jau 19. gs. Folgers izvirzīja teoriju, ka gandrīz visi pazemes ūdeņi rodas kondensācijas ceļā no gaisā esošajiem ūdens tvaikiem, tiem nokļūstot iežu slāņos, kuros ir zemāka temperatūra. Teorija pamatojas uz to, ka starp atmosfēru un augsni notiek gaisa kustība. Gaisa ūdens tvaiki, nokļūstot iežu porās, atdziest un kondensējas. Var notikt arī pretējs process. Citi zinātnieki šo teoriju apstrīdēja, norādot, ka gaisā nav tik daudz ūdens tvaiku, lai varētu radīt tik lielus pazemes ūdens krājumus. Daļēji šo teoriju apstiprināja Ļebedeva pētījumi par pazemes ūdens izcelšanos infiltrācijas ceļā un kondensācijas procesā. Ļebedevs pierādīja, ka ūdens tvaikiem augsnē un gaisā ir dažāds spraugums. Ūdens tvaiki pārvietojas no atmosfēras uz iežiem līdz pastāvīgas temperatūras zonai, kur tie kondensējas. Tā vasarā augsnes virsējie horizonti stipri sasilst un ūdens tvaiku spiediens pieaug, tas palielinās arī dziļākos slāņos, kur temperatūra ir zemāka. Notiek piesātināšanās un kondensācija — rodas grunts-ūdeņi. Odesas apkārtnē gadā ir 200 naktis, kad notiek kondensācija; gada laikā rodas 66 mm bieza ūdens kārtā un veidojas $\frac{1}{4}$ grunts-ūdeņu. Latvijā šādi pētījumi nav veikti.

Pēc Ļebedeva kondensācijas teorijas redzams, ka, ja ir temperatūru starpība un ūdens caurlaidīgi slāņi ar labu siltumvadītspēju, arī dziļākos slāņos zem pirmā ūdens necaurlaidīgā slāņa var izveidoties kondensācijas ūdens slāņi. Ļebedevs pierādīja, ka ziemas periodā kondensācijas procesā augsnē un iežos tvaiki plūst augšup un šādi tiek pārnesti daudz ūdens, kas pavasarī, zemei atkūstot, rada šķidoni. Kondensācijas teorija izskaidro arī pazemes ūdens tvaiku esamību tuksnešos, kur nokrišņu infiltrācija nav iespējama, un mūžīgā sasaluma apgabalos.

Apraktie sedimentācijas ūdeņi (reliktie) ir tie, kas saglabājušies dziļākos nogulumiežos no tā laika, kad tie nogulsņējušies jūru, ezeru un citu ūdenstilpju dibenos. Šie ūdeņi satur dažādus minerālsāļus, kuru ķīmiskais sastāvs atšķiras no pašreizējā jūras ūdens sāļu sastāva. Ģeoloģiski ilgā laikā, kad sedimentācijas ūdeņi atradās iežos, tajos palielinājās sāļu saturs, izšķīstot nogulumiežu minerālvielām. Apraktie sedimentācijas ūdeņi nepiedalās hidroloģiskajā ciklā, bet, ja pārsedzošie necaurlaidīgie ieži tektoniskos procesos tiek noārdīti un sajaucas ar infiltrācijas ūdeņiem, veidojas jauktas izcelsmes pazemes ūdeņi.

Magmatiskie jeb juvenilie ūdeņi (latīņu *juvenilis* — jauns) veidojas no magmas, kura satur līdz 10% ūdens. Austriešu ģeologs E. Ziss (1902) izstrādāja teoriju, ka, magmai iekļūstot Zemes garozā un atdziestot, izdalās liels tvaika daudzums, kas kondensējas un veido juvenilos ūdeņus. Magmai kristalizējoties, kondensācijas procesos veidojas arī rūdu minerāli, piemēram, Cu, Pb, Zn un Ag rūdas.

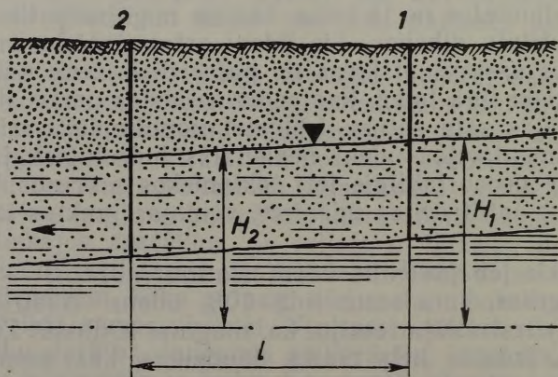
Lielākā daļa magmatisko ūdeņu iespiedušies apkārtējos nogulumiežos pie magmas masīva. Ir iespējams, ka visi ūdeņi radušies magmatiskos procesos, bet tagad šāda veidošanās ir ļoti niecīga, salīdzinot ar atmosfēras ūdeņiem. Arī daļa vulkānu karsto ūdeņu pieder magmatiskās izcelsmes ūdeņiem.

PAZEMES ŪDEŅU DINAMIKA

Pazemes ūdeņu dinamika izpēta pazemes ūdeņu kustības likumības porainos, plaisainos un citos iežos, kuros atrodas ūdeņi nesošais horizonts, aplūko šīs likumības hidroģeoloģisko struktūru kompleksos baseinos, mākslīgās ūdenstilpēs u. c., kā arī pēta meliorējamo zemju, derīgo izrakteņu atradņu ūdens režīmu un veic Zemes siltuma izpēti.

Iežu aerācijas zonā pazemes ūdeņi gravitācijas spēku iedarbībā pārvietojas atsevišķu strūklu vai pilienu veidā uz leju līdz piesātinājuma zonai (infiltrācija). Piesātinājuma zonā (87. att.) gravitācijas ūdens pārvietojas horizontālā virzienā atkarībā no līmeņu augstumu starpības un iežu pretestības (filtrācija), jo uz leju to aiztur ūdens balstītājslānis. Pazemes ūdeņu kustība piesātinājuma zonā pakļaujas hidraulikas likumiem, un, ja visi plūsmas parametri (hidrauliskais gradients, ātrums un caurteces plūsmas šķērsriezums) ir nostabilizējušies, tad ūdeņu kustība nostabilizējas. Izšķir vienmērīgu ūdens kustību, kad plūsmas ātrums ir nemainīgs, un nevienmērīgu kustību, kad ātrums dažādos plūsmas virzienos ir atšķirīgs. Dabā faktiski nav pilnīgi vienmērīgi nostabilizējušās ūdens kustības, tomēr minētais nosacījums ir nepieciešams, lai vienkāršotu hidroģeoloģiskos aprēķinus. Praktiskos hidroģeoloģiskos aprēķinos ūdens kustību pieņem par nostabilizējušos, jo pazemes ūdeņu pieplūde (barošana) un noplūde maz mainās.

Pirmais šo pazemes ūdeņu filtrācijas likumības sāka pētīt franču zinātnieks A. Darsī 19. gs. vidū. Viņš pirmais noteica pazemes ūdeņu



87. Ūdens pārvietošanās piesātinājuma zonā.

filtrācijas likumības smilšainos iežos, tāpēc to sauc par Darsī likumu. Saskaņā ar šo likumu ūdens filtrācija piesātinājuma zonā caur iežu porām vai nelielām plaisām noris lamināri (paralēla lēna plūsma bez virpuļošanas), ko var izteikt ar šādu formulu:

$$Q = kF \frac{\Delta H}{l},$$

kur Q — plūsmas caurtece jeb ūdens tilpums, kas filtrējas caur iežu slāņa šķērsriezuma laukumu laika vienībā, m^3/dien -naktī;

F — ūdens plūsmas ieža šķērsriezuma laukums, m^2 ;

ΔH — līmeņu starpība (metros) divos plūsmas šķērsriezumos, ($\Delta H = H_1 - H_2$) spiediena salīdzināšanai izmanto brīvi izraudzīto horizontālo virsmu;

l — filtrācijas ceļu garums, m ;

k — filtrācijas koeficients, kas raksturo ieža ūdenscaurlaidību, $\text{m}/\text{diennaktī}$.

Attiecību $\frac{\Delta H}{l}$ sauc par hidraulisko jeb spiediena gradientu, un to apzīmē ar I . Darsī likumu izsaka ar šādu formulu:

$$Q = kFI.$$

Darsī likumu var formulēt šādi: ūdens daudzums, kas filtrējas caur slāņa šķērsriezumam, ir tieši proporcionāls šķērsriezuma laukumam un līmeņu starpībai, pretēji proporcionāls filtrācijas attālumam un atkarīgs no filtrācijas koeficienta. Ja abas vienādojuma puses izdala ar F un iegūto $\frac{Q}{F}$ apzīmē ar V , tad iegūst formulu

$$V = \frac{Q}{F} = kI,$$

kur V — filtrācijas ātrums, to raksturo ūdens daudzums, kas laika vienībā izfiltrējas caur ieža šķērsriezuma laukumu; V izsaka ātruma vienībās.

Filtrācijas ātrums ir tieši proporcionāls hidrauliskajam gradientam. Sakarībai starp filtrācijas ātrumu un hidraulisko gradientu ir lineārs raksturs. Ja pieņem, ka $I = 1$, tad $V = k$. Ja hidrauliskais gradients ir vienāds ar 1, tad filtrācijas koeficients skaitliski vienāds ar filtrācijas ātrumu, un to mēra ātruma vienībās — metros diennaktī vai centimetros sekundē. Faktiski filtrācijas ātrums neatbilst ūdens kustības īstajam ātrumam, jo V aprēķina, pieņemot, ka ūdens filtrācija notiek visā iežu šķērsriezuma laukumā F . Patiesībā ūdens pārvietojas caur porām, plaisām, kas aizņem tikai daļu no šķērsriezuma laukuma. Isto kustības ātrumu V_1 var aprēķināt, dālot plūsmas caurteci Q ar iežu poru šķērsriezuma laukumu f :

$$V_1 = \frac{Q}{f}.$$

Tā kā caurtece Q ir tieši proporcionāla filtrācijas ātrumam V un kopējam šķērsgriezuma laukumam F , iežu porainību n var izteikt kā poru laukuma $\bar{f}$ un visa ieža šķērsgriezuma laukuma F attiecību

$$n = \frac{\bar{f}}{F}.$$

Līdz ar to

$$V_1 = \frac{Q}{\bar{f}} = \frac{V \cdot F}{\bar{f}} = \frac{V}{n}.$$

Tā kā iežu porainība vienmēr ir mazāka par 1, tad faktiskais ūdens plūsmas ātrums V_1 iežu porās un plaisās ir lielāks nekā filtrācijas ātrums. V . Darsī likums attiecas uz smilšainiem iežiem, kur filtrācijas ātrums nepārsniedz 1000 m/diennaktī.

Ja pazemes ūdeņi plūst pa lielākām plaisām, caurulēm, kur atsevišķas ūdens straumes ar lielu ātrumu pārvietojas virpuļveidīgi, nevis lineāri, tad plūsmas caurteci var izteikt ar A. Krasnopoļska formulu

$$Q = \bar{f} k \sqrt{I}.$$

Turbulentas plūsmas filtrācijas ātrumu V nosaka pēc formulas

$$V = k \sqrt{I}.$$

Dabā pazemes ūdeņu laminārais filtrācijas ātrums gandrīz nekad nav lielāks par 1000 m/diennaktī, tāpēc, risinot hidroģeoloģiskos uzdevumus, izmanto Darsī likumu. Darsī likumā svarīga nozīme ir iežu hidroģeoloģisko īpašību rādītājam — *filtrācijas koeficientam*, pēc kura var spriest par pazemes ūdeņu kustību pētāmajos iežos.

FILTRĀCIJAS KOEFICIENTA NOTEIKŠANAS METODES

Iežu caurlaidība, ko raksturo filtrācijas koeficients, ir atkarīga no to plaisainības, granulometriskā sastāva, struktūras, tekstūras, temperatūras un citiem faktoriem. Īpaši svarīga nozīme ir to granulometriskajam sastāvam, kas izmaina filtrācijas koeficienta vērtības (sk. 23. tab.).

Iežu granulometriskā sastāva un tekstūras izmaiņas izraisa izmaiņas arī iežu caurlaidībā horizontālā vai vertikālā virzienā. Piemēram, slokšņu mālos, kur putekļainas kārtiņas mainās ar māla starpkārtiņām, horizontālajā virzienā filtrācijas koeficients ir 10 reizi lielāks nekā vertikālajā virzienā. Filtrācijas koeficients mainās arī no hidrauliskā gradienta, katjonu sastāva un citiem faktoriem. Filtrācijas koeficientu ietekmē uz mālu daļiņu virsmas adsorbēto katjonu sastāvs. Ieža ūdens caurlaidību palielina Ca^{2+} un Mg^{2+} joni, bet Na^{+} un K^{+} joni to samazina. Lai samazinātu pazemes ūdens filtrācijas zudumus meliorācijas darbos, ūdenstilpē mālsmilts virsmu apstrādā ar vārāmo sāli. Filtrācijas koeficients raksturo arī augsnes auglību. Bez humusa sastāva, aktīvās reakcijas, makroelementu un

Irdeno iežu filtrācijas koeficientu aptuvenās vērtības
(pēc N. Bindemaņa)

Iežu nosaukumi	Filtrācijas koeficients, m/diennakti	Iežu nosaukumi	Filtrācijas koeficients, m/diennakti
Māls	<0,01	Smilts, vidējgraudaina	5—20
Smilšmāls	0,01—0,1	Smilts rupjgraudaina	20—50
Mālsmilts	0,1—0,5	Grants	20—150
Less	0,25—0,5	Oļi ar smiltīm	100—500
Smilts, puteklaina	0,5—1,0	Oļi	500—1000
Smilts, smalkgraudaina	1—5		

Filtrācijas koeficienta izmaiņas atkarībā no iežu sastāva, augšņu genētiskā horizonta, gadalaika, lauksaimniecības kultūras un meliorācijas rakstura
(pēc K. Bamberga)

Ieža nosaukums	Augsnes tips	Genētiskais horizonts	Klimatiskais raksturojums	Kultūra	Meliorācijas raksturs	Filtrācijas koeficients, m/diennakti
Puteklains smilšmāls (Pēterlauki)	Velēnu karbonātu izskalota	A ₁	1967. g. VI (saus periods)	kvieši	drenēts	0,04
"	"	A ₁	1987. g. VIII (saus periods)	kvieši	drenēts	0,35
"	"	B/C	"	kvieši	drenēts	3,24
"	"	A ₁	"	mieži, pēc sēšanas	drenēts	2,16
"	"	A ₁	1981. g. X (mits periods)	kvieši	drenēts	1,62
"	"	A ₁	"	3 gadīga lucerna	drenēts	3,77
Smilšmāla morēna (Tērvete)	"	A ₁	1987. g. VIII (saus periods)	mieži	drenēts	1,08
Smilšmāla morēna (Pūņi)	Velēnu glejota nepiesātināta	B A ₁	1976. g. V (saus periods)	mieži mieži	drenēts drenēts	0,90 0,72
Smilšmāla morēna (Vaive)	Velēnu podzolēta	A ₁ A ₁	1983. g. VI (saus periods)	mieži mieži	nedrenēts nedrenēts	1,89 1,20
Vidējgraudaina smilts	Palieņu	A ₁	1972. g. VI (saus periods)	zālājs	nedrenēts	12,95

mikroelementu satura svarīgs augsnes auglības parametrs ir augsnes ūdens fizikālās īpašības, īpaši ūdenscaurlaidība. Augsnes filtrācijas koeficienta vērtības ietekmē ne tikai iežu granulometriskais sastāvs, bet arī augšņu tipa ģenētiskie horizonti, klimatiskie apstākļi, augu kultūra un meliorācijas raksturs (24. tab.).

Māliežu ūdenscaurlaidība atkarīga no hidrauliskā gradienta I un māla minerālu sastāva. Katram mālu sastāvam filtrācija sākas no noteiktas hidrauliskā gradienta vērtības. Sākuma gradients ir atkarīgs no mālu blīvuma.

Filtrācijas koeficienta noteikšanai lieto dažāda tipa metodes:

○ filtrācijas koeficientu aprēķina pēc empīriskām formulām;
○ filtrācijas koeficientu pētāmajam gruntis paraugam nosaka laboratorijā;

○ filtrācijas koeficientu nosaka tieši uz lauka: urbumos, akās u. c.

Filtrācijas koeficienta aprēķināšana pēc empīriskām formulām.

Ar šo metodi iegūst aptuvenu filtrācijas koeficienta vērtību. Aprēķinos tiek izmantoti dati par pētāmā ieža granulometrisko sastāvu un porainību. Smilšainiem iežiem var izmantot Hāzena, Šlihtera, Kriģera, Zamarina, Kozena un citu autoru formulas (25. tab.).

Pēc šīm formulām aprēķinātie dati ir stipri aptuveni un atšķirīgi. Precīzākus datus iegūst laboratorijās un ar lauka metodēm.

Filtrācijas koeficienta noteikšana laboratorijā. Parasti lieto Tima vai Kamenska aparātu, kā arī Znamenska vai Kamenska cauruli.

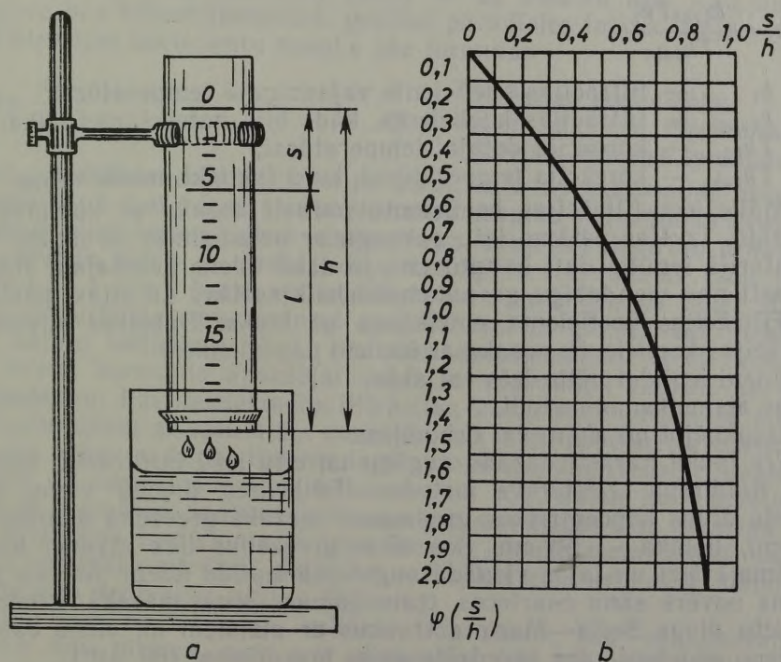
25. tabula

Filtrācijas koeficients

Formulas	Eksplikācija	Lietošanas nosacījumi
Hāzena $k = Cd_{10}^2(0,7 + 0,3t)$	k — filtrācijas koeficients, m/diennakti; c — empīriskais koeficients, mainās no 400 (mālsmitļi) līdz 1200 (smilti); d_{10} — frakciju efektīvais diametrs, mm; t — ūdens temperatūra	Smiltīm $d_{10} = 0,1 + 3,0$ (mm)
Šlihtera $k = Ad_{10}^2 m \frac{1}{\mu}$	A — skaitļu koeficients (88,3); m — atkarīgais porainības koeficients; μ — ūdens viskozitātes koeficients	Vidēji graudainai smiltij
Zamarina $k_0 = 4100 \frac{n^3 a^2}{(1-n)} d_{10}^2$	k_0 — filtrācijas koeficients (0°C ūdens temperatūrā), m/diennakti; a — koeficients, ko aprēķina pēc formulas $a = 1,275 - 1,5n$; d_{10} — efektīvais diametrs, ko nosaka pēc formulas $d_{10} = A_1 \Delta p_1 + A_2 \Delta p_2 + \dots + A_n \Delta p_n$, kur $A_1, A_2, \dots, A_n$ pēc tabulas noteic katrai grunts frakcijai; $\Delta p_1, \Delta p_2$ utt. — frakciju daudzums, izteikts daļskaitļos.	Sīkgraudainai un vidēji graudainai smiltij

Visu šo metožu būtība ir tā, ka cilindriskā traukā ievieto pētāmā ieža paraugu un tam pievada ūdeni. Pastāvot spiedienam starpībai cilindra galos, ūdens filtrējas caur iezi. Izmērot filtrācijas ūdens daudzumu Q , hidroilisko spiedienu I , filtrācijas laiku t un zinot šķērsriezuma laukumu F , pēc Darsī formulas var aprēķināt k .

Parasti smiltīm ar sajauktu struktūru lieto visvienkāršāko Kamenska cauruli, to viegli izgatavot jebkurā laboratorijā no stikla (88. att.). Caurules garums — 25 cm, diametrs — 4 cm. Uz caurules atzīmē 20 iedaļas 1 cm attālumā citu no citas. Apakšējo galu aizsien ar marli vai smalku metāla sietu. Grunti caurulē iepilda pakāpeniski pa 2—3 cm. Lai no grunts porām izspiestu gaisu, cauruli uzpildīšanas laikā ievieto lielā stikla glāzē ar ūdeni, kurā ūdens līmenis nedrīkst pārsniegt grunts līmeni caurulē. Kad virs grunts parādījies 2—3 mm ūdens slānis, uzpildīšanu un piesātināšanu pārtrauc. Caurulē virs grunts uzber 2 cm biezu grants aizsargslāni. Piepilda cauruli ar ūdeni, lai līmenis būtu pāris cm virs 0 līnijas. Tad cauruli ātri izceļ no glāzes, iestiprina statīvā un sāk filtrāciju caur pētāmās grunts stabīgu. Ar hronometru jāuzņem laiks, kurā ūdens līmenis caurulē krīt no 0 līdz 5 cm iedalījuma zīmei (mālainai



88. Kamenska caurule filtrācijas koeficienta noteikšanai (a) un funkcija $\varphi\left(\frac{s}{h}\right)$ grafiks (b).

grantij — 2—3 cm). Noteikšanu atkārto 3 reizes un izmēra ūdens temperatūru. Filtrācijas koeficientu aprēķina pēc formulas

$$k = \frac{1}{t} \varphi \left(\frac{S}{h} \right),$$

kur k — filtrācijas koeficients, cm/s;

l — smilts stabiņa garums, cm;

t — ūdens līmeņa krišanās laiks no 0 līdz 5 cm (vai 3 cm), sekundēs;

S — līmeņa pazemināšanās caurulē (cm) laikā t ;

h — sākotnējais hidrauliskais augstums, cm.

Funkciju $\varphi \left(\frac{S}{h} \right)$ noteic pēc grafika (sk. 88. att.).

Tā kā filtrācijas koeficients atkarīgs no ūdens temperatūras, nepieciešams aprēķināt temperatūras korekciju (Tk) un koriģēt k atbilstoši temperatūrai °C:

$$Tk = 1 + 00337t + 0,000221t^2.$$

Lai iegūto k koriģētu atbilstoši vajadzīgajai temperatūrai, lieto šādu formulu:

$$k_t = \frac{k_{\text{fakt}} Tk_t}{Tk_{\text{fakt}}},$$

kur k_t — filtrācijas koeficients vajadzīgajā temperatūrā;

k_{fakt} — filtrācijas koeficients, kāds bija noteikšanas laikā;

Tk_t — korekcija dotajai temperatūrai;

Tk_{fakt} — korekcija temperatūrai, kurā faktiski noteikts k_{fakt} .

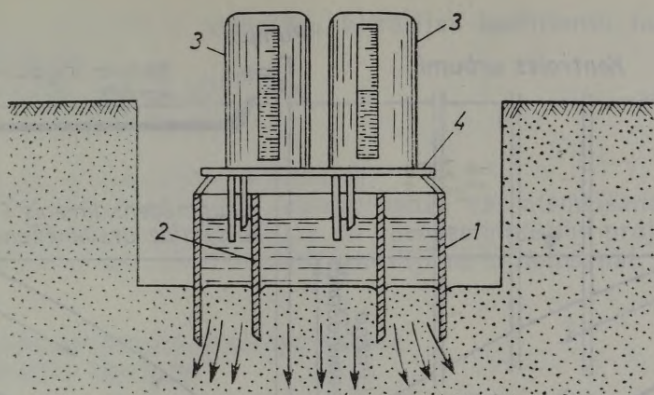
Māliežiem filtrācijas koeficientu parasti nosaka ar kompresijas aparātu. Izvēlas pētāmo iežu paraugu ar neizmainītu struktūru. Laboratorijā iegūtie dati ir aptuveni, jo dabā ūdens nesošajam slānim parasti nav viendabīgs granulometriskais sastāvs un citas īpašības.

Filtrācijas koeficienta noteikšana uz lauka. Dabiskos apstākļos filtrācijas koeficientu nosaka ar šādiem paņēmieniem:

- ūdeni iepildot pētbedrēs vai akās,
- ar atsmelšanas metodi,
- izsūkņējot no akām vai urbumiem.

Uz lauka parasti dažādu augšņu un citu iežu infiltrāciju nosaka pēc Boldireva—Nesterova metodes. Pētbedres dibenā vienu otrā ievieto divus koncentriskus gredzenus; mazākā gredzena diametrs ir 25 cm, lielākā — 50 cm. Šos abus gredzenus līdz atzīmei iebīda pētāmajā iezī un tajos vienādā augstumā iepilda ūdeni. Ārējais gredzens novērš sānu caurteces traucējumus. Virs mazākā gredzena novieto divus Boila—Mariota traukus ar atzīmēm un vienu cauruli savieno ar ūdeni, otra paredzēta gaisa ievadīšanai (89. att.).

Eksperimenta laikā ūdens līmenim abos cilindros jābūt vienādam. Ar hronometru uzņem laika intervālu un ūdens caurteces daudzumu (l), ko nolasa uz Boila—Mariota trauka. Rezultātus ieraksta tabulā vai attēlo grafiski. Ūdens caurteci Q (l/min) atliek uz ordi-



89. Filtrācijas koeficienta noteikšana (pēc Boldireva-Ņestorova):

1 — ārējais gredzens, 2 — iekšējais gredzens, 3 — ūdens mērturki, 4 — statīvs.

nātu ass, bet laika intervālu (min) — uz abscisu ass. Kad ūdens caurtece būs nostabilizējies, grafikā parādīsies taisna līnija.

Filtrācijas koeficientu nosaka pēc formulas

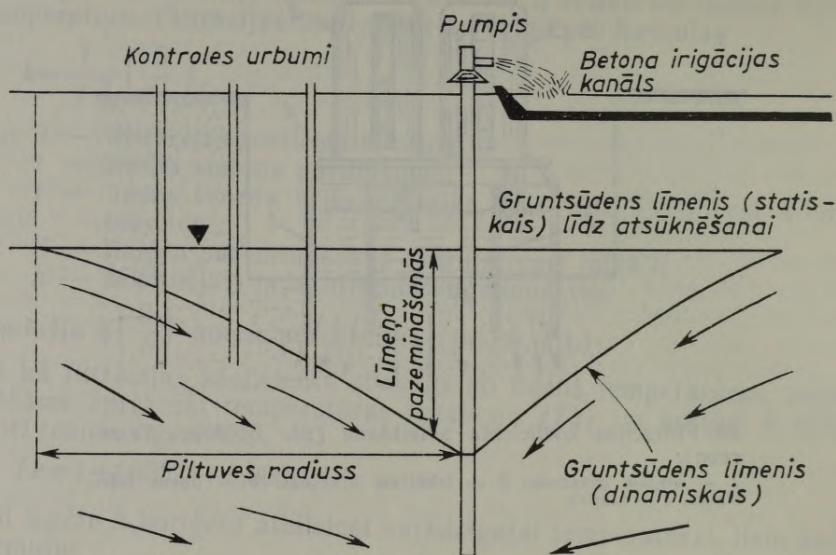
$$k = \frac{Q}{F},$$

kur k — filtrācijas koeficients;
 Q — ūdens caurtece, m/diennaktī;
 F — iekšējais cilindra laukums.

Visprecīzākos datus filtrācijas koeficienta aprēķināšanai piesātinājuma zonā dod ūdens atsūkņēšana no urbuma vai urbuma grupas. Urbumu, kurā izdara ūdens atsūkņēšanu, sauc par *centrālo urbumu*. Tajā ievieto filtru — neliela diametra perforētu cauruli (acu diametrs s — 1 mm), kurai aptīta stieple un smalks misiņa siets. Starp filtru un urbuma apvalkcauruli parasti iepilda granti, kas aizkavē siko daļiņu iekļūšanu filtrā. Pēc tam apvalkcauruli paceļ urbumā līdz ūdens horizonta apakšējai daļai, ievada sūkņa cauruli un sāk atsūkņēšanu. Lai neietekmētu filtrācijas koeficientu pētāmajā zonā, atsūkņēto ūdeni ar speciālām caurulēm aizvada. Atsūkņējot ūdeni no centrālā urbuma, ūdens līmenis tajā pazeminās. Jānovēro arī papildu urbumi. Ja ūdens daudzums laika vienībā (Q), ūdens horizonta biežums H nemainās, tad ūdens līmeņa pazeminājums s ir atkarīgs no ieža filtrācijas koeficienta. Ūdens līmenis atsūkņēšanas gaitā pazeminās ne tikai centrālajā daļā, bet arī apkārtējos urbumos, veidojot tā saucamo *depresijas piltuvi* (90. att.).

Attālumu no centrālā urbuma līdz vietai, kur atsūkņēšanas ietekme nav jūtama, sauc par *depresijas jeb ietekmes rādiusu* R . Tas atkarīgs no iežu ūdens caurlaidības K , ūdens horizonta biežuma H un centrālā urbuma līmeņa pazeminājuma s . Šo likumsakarību atspoguļo I. Kusakina formula

$$R = 575 S \sqrt{HK}.$$



90. Depresijas piltuve un gruntsūdens līmenis atsūkņēšanas laikā.

Ūdens līmeni pirms sūkņēšanas sauc par *statisko līmeni*, bet ūdens līmeni, kurš nostabilizējas sūkņēšanas gaitā, sauc par *dinamisko ūdens līmeni*. Sūkņēšanu pārtraucot, dinamiskais līmenis pakāpeniski tuvojas sākotnējam statiskajam līmenim. Smalkgraudainā smiltī depresijas rādiuss ir līdz 200 m, bet rupjgraudainā smiltī — līdz 600 m. Atsūkņēšanas rezultātā var noteikt līmeņa pazeminājuma s izmaiņas atkarībā no atsūkņētā ūdens daudzuma Q . Precīzai filtrācijas koeficienta noteikšanai no centrālā urbuma atsūkņēšanu parasti izdara 3 reizes ar dažāda līmeņa pazeminājumiem (ne mazākiem par 1 m). Attālumi no centrālā urbuma līdz novērojuma urbumiem ir no 5 līdz 100 metriem.

Filtrācijas koeficienta aprēķināšanai var lietot vēl citas formulas (Kažanova, Zivertā, Donatā, Erkina), tikai jāatzīmē, kura autora formula aprēķinos izmantota. Ja gruntsūdens atsūkņēts pilndziļuma urbumā vai akā cauri visam ūdens horizontam līdz ūdensnecaurīdīgajam slānim (balstītājslānim), iežu filtrācijas koeficientu var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$k = Q \frac{\ln R - \ln r}{(2H - s)s},$$

kur Q — nostabilizējušās ūdens plūsmas caurtece urbumā pie pastāvīga pazeminājuma s ;

H — ūdens horizonta biezums dabiskos apstākļos, m;

$\ln R$ — ietekmes rādiusa (m) naturālais logaritms;

$\ln r$ — centrālā urbuma rādiusa (m) naturālais logaritms.

Ja ūdens horizonts ir artēzisks, filtrācijas koeficientu nosaka pēc šādas formulas:

$$k = Q \frac{\ln R - \ln r}{2\pi sh},$$

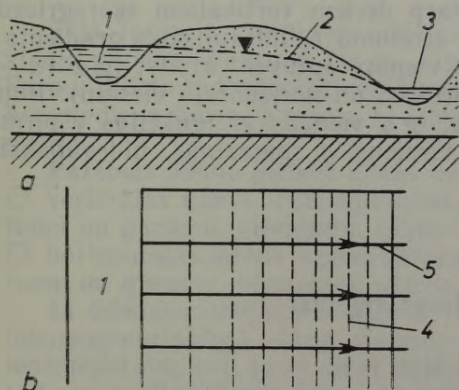
kur h — ūdens horizonta biezums, m.

Filtrācijas koeficientu ar atsūkņēšanas vai atsmelšanas metodi samērā plaši nosaka meliorācijas un ūdenssaimniecību projektēšanas iestādēs, kurās izstrādāti speciāli norādījumi to lietošanai.

NOSTABILIZĒJUŠOS GRUNTSŪDEŅU PLŪSMA VIENDABĪGĀ IEZU SLĀNĪ

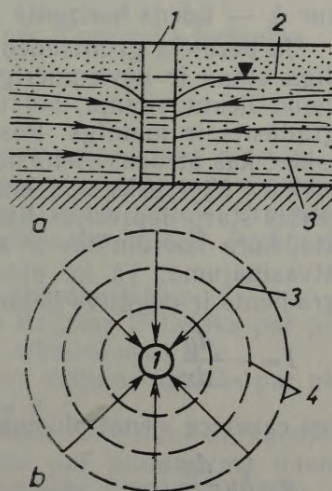
Šī plūsma var būt vienmērīga vai nevienmērīga. Vienmērīgai gruntsūdeņu plūsmai raksturīgs ūdensnecaur laidīgā slāņa virsmai paralēls gruntsūdens līmenis.

Pazemes ūdeņu plūsma var būt arī radikāla. Paralēlai plūsmai raksturīgs vienāds platums, hidroizohipšu kartē to attēlo kā paralēlu taisnu plūsmas līniju sistēmu — piemēram, gruntsūdens plūsma, kas virzās uz taisnu upes vai grāvja posmu (91. att.). Radikālai plūsmai raksturīgas liektas hidroizohipses. Plūsmas līnijas vai nu saplūst vienā punktā, vai arī no viena punkta ir virzītas radiāli uz visām pusēm (92. att.).



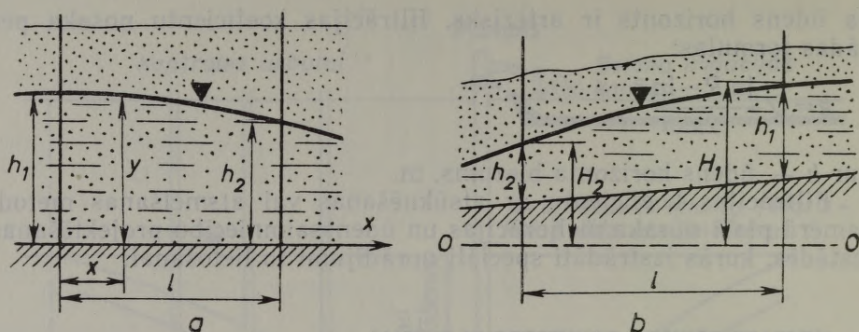
91. Gruntsūdeņu plūsma uz taisnu upes vai grāvja posmu:

a — šķērsgriezums, b — plāns;
1 — upe, 2 — gruntsūdens līmenis, 3 — grāvis,
4 — hidroizohipses, 5 — plūsmas līnijas.



92. Gruntsūdeņu radiālās plūsmas shēma:

a — šķērsgriezums, b — plāns;
1 — urbums, 2 — gruntsūdens līmenis, 3 — plūsmas līnijas,
4 — hidroizohipses.



93. Nevienmērīga gruntsūdeņu plūsma:

a — ūdenscaurlaidīgais slānis horizontāls, *b* — ūdensnecaurlaidīgais slānis slīps.

Paralēlas gruntsūdeņu plūsmas caurteces aprēķins. *Plūsmas caurteci* caur platuma vienību apzīmē ar *q*:

$$q = \frac{Q}{B},$$

kur *Q* — ir visas plūsmas caurtece;

B — plūsmas platums, m.

Lielumu *q* var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$q = khI,$$

kur *h* — ūdens horizonta biezums, m.

Ja paralēla gruntsūdeņu plūsma virs horizontāla ūdensnecaurlaidīga slāņa ir nevienmērīga (93. att.), tad gruntsūdeņu līmenis izveido liektu virsmu, bet ūdens horizonta biezums un hidrauliskais gradients ir mainīgs. Posmā starp diviem vertikāliem šķērsgrīzumiem, kas atrodas viens no otra attālumā *l*, hidrauliskais gradients *I* jebkurā šķērsgrīzuma laukumā vienībā aptuveni atbilst $\tan \alpha$ (α — leņķis starp depresijas līknes pieskari un horizontālo virsmu). Punkta, kura koordinātas ir *x* un *y*, $\tan \alpha$ vienāds ar funkcijas *y* pirmo atvasinājumu. Tā kā plūsmas virzienā *y* samazinās, hidrauliskais gradients ir negatīvs lielums

$$I = -\frac{dy}{dx},$$

bet caurtece vienai plūsmas platuma vienībai

$$q = ky \frac{dy}{dx}.$$

Integrējot iegūst

$$\frac{q}{k} = \frac{y_1^2 - y_2^2}{2(x_2 - x_1)}.$$

Tā kā $x_2 - x_1 = l$, bet plūsmas biezums mainās no h_1 līdz h_2 , tad

$$q = k \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l}.$$

Visas plūsmas caurteci Q aprēķina pēc formulas

$$Q = kB \frac{h_1^2 - h_2^2}{2l},$$

kur B — plūsmas platums metros.

Šo formulu lieto paralēlas gruntsūdens plūsmas noteikšanai, ja ūdensnecaurļaidīgais slānis ir horizontāls. Formula nosaukta franču zinātnieka Ž. Dipī vārdā.

Ja ūdensnecaurļaidīgais slānis ir slīps, tad aprēķinos jāizmanto horizontāla virsma 0—0 (sk. 92. att. b).

Hidrauliskais gradients

$$I = \frac{H_1 - H_2}{l},$$

bet plūsmas vidējais biezums

$$h_{\text{vid}} = \frac{h_1 + h_2}{2}.$$

Caurteci katrai atsevišķai plūsmas platuma vienībai (q) aprēķina šādi:

$$q = k \frac{(H_1 - H_2)(h_1 + h_2)}{2l}.$$

Visas plūsmas caurteci Q parasti nosaka pēc Kamenska formulas

$$Q = kB \frac{(H_1 - H_2)(h_1 + h_2)}{2l}.$$

Šajā formulā mainīgais plūsmas biezums aprēķinos aizstāts ar vidējo plūsmas biezumu (h_{vid}), tāpēc iegūtais rezultāts nav precīzs. Formulu lieto hidroģeoloģiskajā praksē, jo kļūda ir neliela. Precīziem bezspiediena ūdens plūsmas caurteces aprēķiniem lieto N. Pavlovska metodi.

Pazemes ūdeņu pietece ūdens ieņēmējietaisēm. Izšķir

- vertikālās ūdens ieņēmējietaisēs, kuru dziļums ir lielāks par platumu un garumu, piemēram, raktas akas, urbumu akas u. c.,
- horizontālās ūdens ieņēmējietaisēs, kuru dziļums mazāks par platumu un garumu, piemēram, grāvis, дрена u. c.

Ja ūdensieņēmējietaisē šķērso visu ūdens nesējslāni un sasniedz ūdensnecaurļaidīgā slāņa virsmu, to sauc par pilndziļuma ūdensieņēmējietaisi, bet, ja tā tikai daļēji iegremdēta ūdens nesējslānī, — tad par nepilndziļuma ūdens ieņēmējietaisi.

Ūdens daudzumu, kas pieplūst ūdens ieņēmējietaisēm, sauc par *akas urbuma debītu*, ko parasti apzīmē ar Q (l/min vai m³/h).

Ūdens daudzumu, ko sūknējot iegūst no akas, ja līmenis pazeminās par vienu metru, sauc par *akas ipatnējo debītu*.

Ūdens ieņēmējietaišu debīta aprēķiniem lieto dažādas formulas. Formulu izvēlas atkarībā no ūdens ieņēmējietaišu veida, ūdens nesēj-slāņa hidroloģiskajām īpašībām, pazemes ūdens kustības režīma, urbumu vai aku atrašanās attāluma no upēm vai citām ūdenstilpēm. Tehniskā projekta izstrādāšanā aprēķinus izdara pēc eksperimentālās sūkņēšanas datiem, pilndziļuma bezspiediena gruntsūdens akas, kurai ūdens pieplūst tikai no sāniem (94. att.), debītu aprēķina pēc formulas

$$Q = \frac{1,366k(2H - S)S}{\lg \frac{R}{r}},$$

kur Q — debīts, $\text{m}^3/\text{diennakti}$;

S — pazeminājums, m;

R — akas iespaida rādiuss, m;

r — akas rādiuss, m;

k — filtrācijas koeficients, m/diennakti;

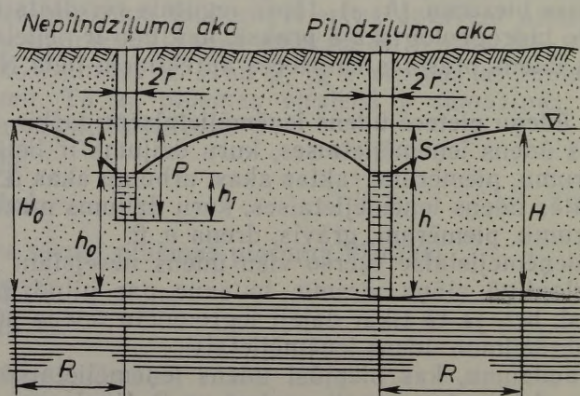
H — ūdens nesējslāņa biezums, m;

h — ūdens slāņa biezums akā pēc izsūkņēšanas, m.

Nepilndziļuma akām, ja ūdens pietiek tikai no t. s. aktīvās zonas P , ūdens pietece ir apgrūtināta, tāpēc, pastāvot vienādiem pazeminājumiem, nepilndziļuma akas debīts ir mazāks par pilndziļuma akas debītu. Atkarībā no akas konstrukcijas ūdens nepilndziļuma akās var ieplūst vienlaikus caur akas sienām un dibenu, tikai caur sienām vai tikai caur dibenu. Nepilndziļuma aka izmanto tikai daļu ūdens nesēj-slāņa — zonu H_0 , kuru aprēķina pēc Parkera formulas

$$H_0 = \frac{4}{3}P = 1,3P \text{ jeb } H_0 = 1,3(S + h_1),$$

kur h_1 — ūdens slāņa biezums nepilndziļuma akā pēc izsūkņēšanas, m.



94. Pilndziļuma un nepilndziļuma bezspiediena aku debīta aprēķini.

Tālāk nepilndziļuma akas debitu aprēķina pēc pārveidotās Dipī formulas

$$Q = 1,366k \frac{H_0^2 - h_0^2}{\lg \frac{R}{r}}$$

Pilndziļuma spiedienūdeņu akas (artēziskas akas) debitu, ja ūdens kustība ir lamināra, aprēķina pēc Dipī formulas

$$Q = 2,73kM \frac{H-h}{\lg \frac{R}{r}},$$

bet, tā kā $H-h=S$, tad

$$Q = 2,73kM \frac{S}{\lg \frac{R}{r}},$$

kur Q — debits, $\text{m}^3/\text{diennakti}$;
 k — filtrācijas koeficients, $\text{m}/\text{diennakti}$;
 M — artēziskā ūdens nesējslāņa biezums, m ;
 S — pazeminājums, m ;
 R — akas iespaida rādiuss, m ;
 r — akas rādiuss, m .

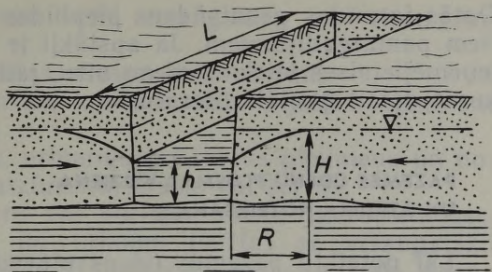
Ja akas ūdens nesējslānis sastāv no plaisainiem iežiem, t. i., ja ūdens kustība ir turbulenta, tad lieto šādu formulu:

$$Q = 6,28kM\sqrt{rS}.$$

Gruntsūdens pieplūde grāvīm. Grāvji ir vieni no visizplatītākajiem horizontālajiem ūdens ieņēmējietaišu veidiem, ko lieto zemju nosusināšanai lauksaimniecībā. Gruntsūdens pieplūdi no abām pusēm horizontālam pilndziļuma grāvim jeb drenai (95. att.), ja kustība ir lamināra, plūsmā — bezspiediena un ūdens balstītājslānis atrodas horizontāli, var aprēķināt pēc šādas formulas:

$$Q = \frac{kL(H^2 - h^2)}{R},$$

kur Q — debits, $\text{m}^3/\text{diennakti}$,
 k — filtrācijas koeficients,
 L — grāvja (drenas) garums metros,
 R — grāvja iespaida rādiuss, m (100—200 m — smalkā un vidēji rupjā smilti, 300—500 m — rupjgraudainā smilti),
 H — gruntsūdeņa līmeņa augstums,
 h — gruntsūdeņa līmeņa augstums grāvī.



95. Gruntsūdeņu pieplūde pilndziļuma grāvīm.

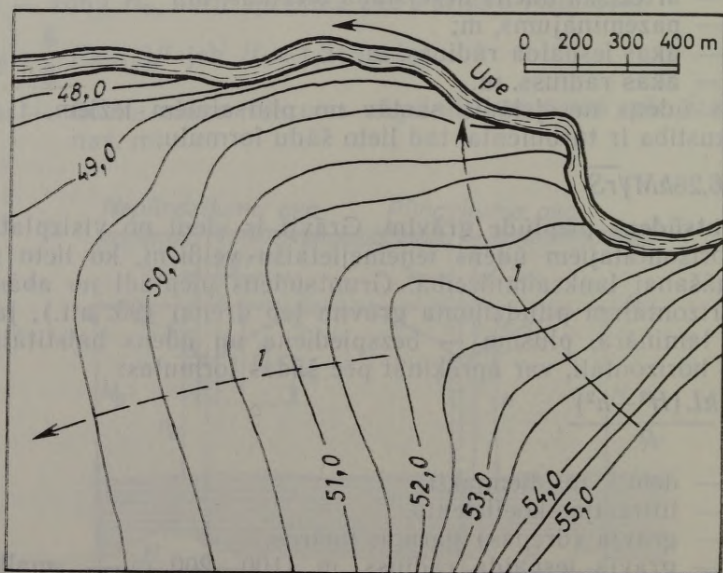
Dotās formulas gruntsūdens pieplūdes aprēķini paredzēti vienkāršotiem pamatgadījumiem. Ja apstākļi ir sarežģītāki, piemēram, ūdens ieņēmējietais ietekmē vienu otru, jālieto vienādojumi un formulas, kuras dotas speciālā literatūrā.

PAZEMES ŪDEŅU PLŪSMAS VIRZIENA UN ĀTRUMA NOTEIKŠANA

Lai noteiktu pazemes ūdens plūsmas faktisko ātrumu, uz lauka jāiekārto speciāli izmēģinājumi, bet vispirms jāzina ūdens plūsmas virziens. Pazemes ūdens plūsmas virzienu nosaka

- pēc hidroizohipšu kartes (artēziskiem ūdeņiem — hidroizopjēzu kartes),
- uz lauka pēc trim vai vairākiem urbumiem vai šurfiem.

Hidroizohipses ir līnijas, kas uz kartes savieno punktus ar vienādu gruntsūdens līmeņa absolūto augstumu (96. att.). Šīs līnijas ir analogas horizontālām uz topogrāfiskām kartēm. Pazemes ūdens plūsmas virzienu attēlo perpendikuls, kas novilkts no augstākās hidroizohipses uz zemāko hidroizohipsi. Lietojot hidroizohipšu karti, ir jāsaprot, ka gruntsūdeņu virsma, ko attēlo hidroizohipses, nav pastāvīga, jo tās augstums pakļauts sezonālām klimata maiņām. Tā rezultātā var izmainīties arī pazemes ūdens plūsmas virziens. Risinot meliorācijas un gruntsūdeņu sasāļošanas problēmas, hidro-



96. Hidroizohipses.

Hidroizohipšu karte mērogā 1 : 10 000.
1 — gruntsūdens plūsmas virziens.

izohipsu kartes sastāda, ņemot vērā visaugstāko un viszemāko gruntsūdens līmeni.

Uz lauka gruntsūdens plūsmas virzienu nosaka šādi:

- izveido 3 urbumus vai šurfus, kurus izvieto trijstūrī apmēram 100 m attālumā vienu no otra;
- sastāda topogrāfisko plānu, urbumus vai šurfus pielīmeņo un nosaka ūdens līmeņa absolūtās atzīmes urbumos vai šurfos;
- interpolējot starp urbumiem vai šurfiem iezīmē hidroizohipses.

Linija-bultiņa, kuru zīmē no urbuma (šurfa) ar visaugstāko ūdens līmeņa atzīmi perpendikulāri hidroizohipsēm, parāda ūdens plūsmas virzienu dotā trijstūra robežās.

Pazemes ūdens kustība pat viendabīgos iežos ir dažāda, tāpēc plūsmas faktisko ātrumu nosaka uz lauka ar indikatoru vai ģeofizikālām metodēm. Lietojot indikatoru metodi, parasti izmanto krāsvielas (fluoresānu, anilīnu, eozīnu, Kongo sarkano, bet skābos ūdeņos — metilēnzilo u. c.). Izmanto arī dažādus sāļus (vārāmo sāli, amonija hlorīdu u. c.), kurus var viegli konstatēt ar ķīmiskām metodēm, kā arī nekaitīgas baktēriju kultūras un specifiskas smaržas. Iegūtos datus parasti attēlo grafiski. Līkne ataino indikatoru koncentrācijas izmaiņas. Lai ar šīm metodēm noteiktu pazemes ūdens plūsmas faktisko ātrumu, ir jāierīko centrālais urbums un novērošanas urbumi. Iekārto vienu centrālo urbumu un 2—5 novērošanas urbumus, kurus novieto uz leju no centrālā urbuma ūdens plūsmas virzienā. Attālumu no centrālā urbuma līdz novērošanas urbumiem nosaka atkarībā no iežu ūdenscaurlaidības spējas. Mālsmitļi un smilšmālos tas ir 0,5—1,5 m, sīkgraudainā smiltī — 1—2 m, rupjgraudainā smiltī — 2—5 m, grantī — 5—7 m, stipri plaisainos iežos — līdz 15 m.

Pazemes ūdens plūsmas *faktisko ātrumu* aprēķina, dalot attālumu starp centrālo urbumu un novērošanas urbumu (L) ar laiku, kas pagājis no indikatora ievadīšanas centrālajā urbumā (t_1), un tā parādīšanos novērošanas urbumā (t_2):

$$V_f = \frac{L}{t_2 - t_1},$$

kur L — attālums, m;

$t_2 - t_1$ — laiks, s.

Praktiskajā darbā lieto filtrācijas ātruma jeb pazemes ūdens plūsmas ātruma jēdzienu, ko izsaka ar formulu

$$V = \frac{Q}{F},$$

kur V — filtrācijas ātrums, m/diennakti;

Q — caurplūstošā ūdens tilpums, m³/diennakti;

F — plūsmas šķērsgriezuma laukums, m².

Pazemes ūdens plūsmas ātruma noteikšanai visbiežāk lieto ģeofizikālās metodes, īpaši vāji mineralizētiem ūdeņiem. Parasti lieto rezistivimetrisko metodi, kurā pamatotas ir ūdens īpatnējās elektris-

kās pretestības noteikšana. Ar rezistīvmetru vispirms izmēra elektrisko pretestību ūdenim dabiskos apstākļos. Pēc tam urbumā ievada elektrolītu un mērījumus periodiski atkārt. Ūdens kustības ātrumu nosaka pēc formulas

$$V = \frac{1,81r}{t_2 - t_1} \lg \frac{c_1 - c_0}{c_2 - c_1},$$

kur r — urbuma rādiuss, cm;
 c_0 — dabiskā sāļu koncentrācija ūdenī, g/l;
 c_1 un c_2 — sāļu koncentrācijas laikā t_2 un t_1 pēc elektrolīta ievadīšanas.

Ūdens plūsmas ātruma noteikšanai izmanto arī radioaktīvo metodi. Lieto izotopu metodi, nosakot radioaktīvos un stabilos izotopus (trītijū, deiteriju u. c.). Šo metodi lieto, nosakot pazemes un virsūdeņu saistību, kā arī augšņu mitruma mērījumos un augu transpirācijas procesu noteikšanai.

PAZEMES ŪDEŅU ĶĪMISKAIS SASTĀVS

PAZEMES ŪDEŅU ĶĪMISKĀ SASTĀVA VEIDOŠANĀS

Pazemes ūdeņi savā riņķojumā saskaras ar dažādām vielām, kuras var pāriet ūdenī. Noris nepārtraukta ķīmiska, fizikāla un cita veida mijiedarbība starp ūdeni, Zemes garozas iežiem un augsni. Galvenie procesi ir šķīšana, šķīdumu iztvaikošana, kondensācija, jonu apmaiņas reakcijas, gāzu absorbcija, oksidēšanās, reducēšanās, bioķīmiskās pārvērtības, fotosintēze u. c. Ūdens ķīmiskais sastāvs var mainīties arī temperatūras un spiediena maiņu rezultātā. Tā starp augsnes adsorbcijas kompleksu un ūdenī esošajiem katjoniem pastāv dinamisks līdzsvars un var notikt jonu apmaiņa, piemēram, vienvērtīgie katjoni K^+ un Na^+ var apmainīties ar divvērtīgiem katjoniem Ca^{2+} un Mg^{2+} . Līdz ar to izmainās arī ūdens ķīmiskais sastāvs. Purvos un to tuvumā gruntsūdeņi ir bagāti ar trūdskābēm, savukārt dienvidu rajonos — sāļaini un stipri mineralizēti. Liela nozīme ķīmiskā sastāva veidošanā ir minerālu ķīmiskai sadēdēšanai, it īpaši laukšpatu sadēdēšanai. Pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu stipri ietekmē arī hidroģeoloģiskie faktori: ūdens atrašanās dziļums, ūdensnesēju iežu sastāvs, pieplūde no citiem ūdensnesējslāņiem (filtrācijas procesi no jūras, upēm, ezeriem). Dziļākie pazemes ūdeņi, kas atrodas zem pirmā ūdens necaurlaidīgā slāņa (artēziskie ūdeņi, starpslāņu ūdeņi, plaisu ūdeņi) un nav saistīti ar virsūdeņiem un atmosfēru, ir ar atšķirīgu ķīmisko sastāvu. Zināms, ka Zemes dziļās pieaug temperatūra, spiediens, nepieplūst gaisa skābeklis, līdz ar to iežu un ūdens mijiedarbība notiek intensīvāk, ūdeņi satur daudz minerālvielu, un tiem ir augstāka temperatūra. Dažu dziļāko slāņu ūdens izmaiņas notiek tikai vienu vai vairāku ģeoloģisko periodu laikā. Turpretī seklo pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs atkarībā no klimatiskajiem faktoriem mainās pat gada un sezonas laikā.

PAZEMES ŪDEŅU ĶĪMISKIE KOMPONENTI

Pazemes ūdeņos ķīmiskie elementi sastopami jonu, nedisociētu molekulu, arī gāzu un koloīdu veidā. Tikai nedaudzi no vairāk nekā 60 elementiem pazemes ūdeņos sastopami lielākā daudzumā. Nozīmīgākie katjoni ir K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , Fe^{2+} , Mn^{2+} , NH_4^+ , H^+ , bet anjoni — OH^- , Cl^- , NO_2^- , NO_3^- , HCO_3^- , CO_3^{2-} , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , PO_4^{3-} . No nedisociētiem savienojumiem ūdenī sastopami Fe_2O_3 , Al_2O_3 , H_2SiO_3 , S , O_2 un izšķīdušas gāzes CO_2 , H_2S , O_2 , CH_4 . Pazemes ūdeņos bez izplatītajiem makrokomponentiem (Ca , Na , Mg , Fe , Si , Al , C , S) niecīgā daudzumā var būt sastopami tā saucamie mikrokomponenti (Zn , Cu , Pb , As , Mo , U , Ro , B , J), kuru saturs ūdenī parasti nepārsniedz 10 mikrogramus litrā. Dažreiz pazemes ūdeņi satur vairāk mikrokomponentu, pat gramu litrā, piemēram, boru, bromu, jodu, cinku, varu. Tad šos ūdeņus var izmantot derīgo izrakteņu iegūšanai. Dažus mikrokomponentus nedrīkst saturēt dzeramais ūdens, tā, piemēram, As , Pb , Se , Hg , V u. c. Turpretim citiem ir liela nozīme ārstniecībā. Pazemes ūdeņu gāzu sastāvs var būt ļoti dažāds, izplatītākās gāzes ir skābeklis, slāpeklis, metāns, oglekļa dioksīds, sērūdeņradis, inertās gāzes u. c. Raksturojot pazemes ūdeņu ķīmisko sastāvu, vispirms nosauc anjonus lādiņa samazināšanās secībā, pēc tam katjonus tādā pašā secībā, piemēram, bikarbonātu, sulfātu, hlorīdu, kalcija, nātrija, magnija ūdeņi. Pazemes ūdeņu ķīmiskos elementus nosaka laboratoriski. Parasti ņem 5—8 l nosakāmā ūdens parauga (aku, upju, urbumu, avotu vai citu ūdeni). Mikrokomponentu noteikšanai lieto ķīmiskās, kolorimetriskās, spektrofotometriskās, spektrālās, polarogrāfiskās, fluorimetriskās un citas metodes.

Jonu saturu pazemes ūdeņos parasti izsaka mg/l vai g/l . Saskaņā ar valsts standartu ūdens cietību izsaka ar Ca^{2+} un Mg^{2+} jonu ekvivalentu milimoliem (miligramekvivalentiem) 1 l ūdens.

26. tabula

Dažādu katjonu un anjonu saturs 1 l ūdens

Joni	mg/l	mmol ekv/l	mol daļa, %
Katjoni:			
Ca^{2+}	95,3	4,75	44,86
Mg^{2+}	42,4	3,48	32,86
K^+	15,5	0,40	3,78
Na^+	45,1	1,96	18,50
Kopā	198,3	10,59	100,00
Anjoni:			
SO_4^{2-}	18,9	0,39	3,68
Cl^-	3,2	0,09	0,84
HCO_3^-	617,0	10,11	95,48
Kopā	639,1	10,59	100,00

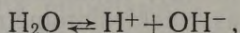
Lai salīdzinātu ūdeņu dažādo mineralizāciju, rezultātus atbilstoši mmolekv/l pārrēķina mola daļās procentos. To izdara, katjonu un anjonu koncentrācijas summas pieņemot par 100 un relatīvi katru jonu ekvivalentu aprēķinot procentuāli (26. tab.).

Bez ķīmiskā sastāva pazemes ūdeņiem parasti nosaka arī reakciju, sauso atlikumu, ūdens cietību, agresivitāti, bakterioloģisko sastāvu, radioaktivitāti, gāzu, koloidu, organisko vielu daudzumu u. c.

PAZEMES ŪDEŅU SKĀBUMS UN BĀZISKUMS

Ūdeņraža eksponents pH ir fizikālķīmisks lielums šķīdumu skābuma un bāziskuma kvantitatīvai raksturošanai. To izsaka kā ūdeņraža jonu koncentrācijas negatīvo logaritmu. T. Serensens ieteica negatīvos logaritmus rakstīt bez mīnus zīmēm un apzīmēt tos ar simbolu pH. Tā, piemēram, ja 1 litrā ūdens šķīduma 23°C temperatūrā ir 0,000 001 g ūdeņraža jonu, tad $\text{pH} = 10^{-7}$ jeb $\text{pH} = 7$. Šāds H^+ jonu saturs atbilst neitrālai reakcijai. Jebkura šķīduma reakciju apzīmē ar vārdiem «skābs», «neitrāls», «bāzisks» vai arī izsaka ar brīvo ūdeņraža jonu H^+ koncentrāciju. Ja pieaug H^+ jonu masas daļa ūdenī, tad pH skaitlis samazinās, šķīdums iegūst skābu reakciju un otrādi. Ja pH skaitlis lielāks par 7, tad reakcija kļūst bāziska.

Pilnīgi tijs ūdens ir ļoti vāji disociēts jons



tāpēc tā reakcija ir neitrāla ($\text{pH} = 7$). Skābēm disociējot ūdens šķīdumos, atšķēlas ūdeņraža katjoni H^+ , turpretī sārmiem veidojas negatīvi hidroksidjoni OH^- . Tieši šo H^+ un OH^- jonu klātbūtne šķīdumā nosaka tā skābo vai bāzisko reakciju.

pH noteikšanai lieto indikatoru un elektrometriskās metodes. Šķīduma reakcija atbilstoši pH lielumam parādīta 27. tabulā.

27. tabula

Šķīduma pH un tam atbilstošā skābuma vai bāziskuma pakāpe

Apzīmējums	Ļoti stipri skābs	Stipri skābs	Skābs	Vāji skābs	Neitrāls	Vāji bāzisks	Bāzisks	Stipri bāzisks	Ļoti stipri bāzisks
pH	≥ 3	4	5	6	7	8	9	10	≥ 11

Pazemes ūdeņu, kas ir dažādu vielu šķīdumi, reakciju nosaka tajos esošo ogļskābes, organisko skābju, minerālsāļu un citu vielu daudzums. Parasti pazemes ūdeņu reakcija ir no pH 6 līdz pH 9. Latvijas purvu ūdeņu pH 4,5—5, turpretī dažu dienvidu rajonu ūdeņu reakcija var sasniegt pH 10.

PAZEMES ŪDEŅU MINERALIZĀCIJA

Pazemes ūdeņu sausais atlikums raksturo kopējo minerālsāļu daudzumu ūdenī. To nosaka, ūdeni pilnīgi iztvaicējot un sauso atlikumu izžāvējot 110 °C temperatūrā. Iegūto sauso masu izsaka miligramos vai gramos 1 litrā ūdens. Minerālsāļu masas daļa izsaka dotā pazemes ūdens *minerālizācijas pakāpi*. *Kopējo minerālizāciju* saldūdeņos izsaka miligramos litrā, bet minerālūdeņos — gramos litrā. Pēc kopējās minerālizācijas pazemes ūdeņus iedala 7 sāļuma grupās:

- saldūdeņi — kopējā minerālsāļu masas koncentrācija <1 g/l,
- vāji sāļaini ūdeņi — kopējā minerālsāļu masas koncentrācija 1—2 g/l,
- mazaļaini ūdeņi — kopējā minerālsāļu masas koncentrācija 2—5 g/l,
- vidēji sāļaini ūdeņi — kopējā minerālsāļu masas koncentrācija 5—15 g/l,
- stipri sāļaini ūdeņi — kopējā minerālsāļu masas koncentrācija 15—35 g/l,
- sāļi ūdeņi — kopējā minerālsāļu masas koncentrācija 35—150 g/l,
- sāļjums — kopējā minerālsāļu masas koncentrācija >150 g/l.

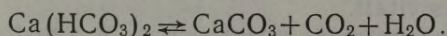
Pēc Vernadska, par minerālūdeņiem sauc tādus ūdeņus, kam kopējā mineralizācija ir no 1 līdz 50 g/l; ūdeņus, kas sāļus satur vairāk par 50 g/l, sauc par sāļjumiem. Saldūdeņi parasti satur hidroģēnkarbonātus vai sulfātus un hidroģēnkarbonātus, sāļainie ūdeņi — sulfātus, sulfātus un hlorīdus, hlorīdus un sulfātus, bet sāļie vai sāļjumi — galvenokārt hlorīdus, retāk hidroģēnkarbonātus.

Ūdens cietība ir īpašību kopums, ko nosaka Ca un Mg sāļu saturs ūdenī. Cietā ūdenī ziepes slikti šķīst, vāji puto un to patēriņš palielinās, dārzeni cietā ūdenī izvārās sliktāk. Cietos ūdeņus lietojot apkurei, uz katla un cauruļu sienām veidojas katlakens. Ciets ūdens nav lietojams cukura, ādas un citās rūpniecības nozarēs.

Raksturojot ūdens cietību, izšķir šādus cietības veidus: kopējo, karbonātisko (pārejošo), nekarbonātisko (pastāvīgo).

Kopējo ūdens cietību nosaka visu izšķīdušo Ca un Mg sāļu klātbūtne ūdenī — $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 , MgSO_4 , CaCl_2 , MgCl_2 .

Karbonātisko cietību izsauc hidroģēnkarbonātu saturs ūdenī. Ūdens paraugu ilgstoši vārot, hidroģēnkarbonāti pārvēršas nešķīstošos karbonātos un cietība samazinās:



Nekarbonātisko cietību parasti rada sulfāti, un to ar vārīšanu nevar novērst. Praktiskām vajadzībām agrāk ūdens īpašības izteica vācu cietības grādos (1 cietības grāds atbilst 10 mg CaO 1 litrā ūdens). Pašreiz pēc Valsts standarta ūdens cietību izsaka ar Ca^{2+} un Mg^{2+} milimolekvivalentiem 1 litrā ūdens. 1 mmolekv/l atbilst

2,8° (vācu cietības grādi). Vēl lieto franču, angļu un amerikāņu cietības grādus. Lai varētu pārrēķināt dažādos pasaules hidroloģiskā literatūrā sastopamos cietības grādus mmolekv/l, dota 28. tabula.

28. tabula

Dažādu ūdens cietības mērvienību attiecības

mmolekv	Cietības grādu vienības			
	vācu	franču	angļu	amerikāņu
1	2,804	5,005	3,511	50,045
0,35663	1	1,7848	1,2521	17,847
0,19182	0,5603	1	0,7015	10
0,28483	0,7987	1,42	1	14,255
0,01998	0,0560	0,1	0,0702	1

O. Aļokins (1953) devis šādu ūdens cietības gradāciju:

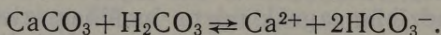
	mmolekv/l	vācu cietības grādi
Ļoti mīksts	līdz 1,5	līdz 4,2°
Mīksts	1,5—3,0	4,2°—8,4°
Mēreni ciets	3,0—6,0	8,4°—16,8°
Ciets	6,0—9,0	16,8°—25,2°
Ļoti ciets	>9,0	>25,2°

Latvijā ģipsaino ūdeņu cietība var sasniegt pat 80° (vācu cietības grādi). Latvijas gruntsūdeņi parasti ir cieti un lielākoties satur bikarbonātus un sulfātus. Sāļi radušies no ūdeņiem, kas filtrācijas ceļā šķīdinājuši augsnes sāļus vai karbonātbagātus iežus. Lietus ūdens satur 1,77% CO₂ (gaisā ir 0,033% CO₂). Ogļskābās gāzes šķīdums ūdenī iedarbojas uz dažādām augsnes sastāvdaļām un kalcija karbonātu CaCO₃, pārvēršot to hidrogēnkarbonātā. Tādējādi gruntsūdeņos rodas lieli hidrogēnkarbonātu daudzumi. Jāatzīmē, ka dzeršanai lieto ūdeni, kura cietība drīkst sasniegt 7—20 mg/l.

PAZEMES ŪDEŅU AGRESIVITĀTE

Par pazemes ūdeņu agresivitāti sauc ūdens spēju ārdoties iedarbojoties uz ēku pamatiem, dažiem būvmateriāliem, dzelzs konstrukcijām u. c. Svarīgākā ir iedarbība uz betona galveno sastāvdaļu — cementu. Ūdens agresivitāte jāņem vērā katrā būvobjektā, īpaši hidrotehniskajās būvēs. Izšķir ogļskābes, šķīdinošo, kopskābuma, sulfātu, magnija un skābekļa agresivitāti.

Ogļskābes agresivitāti izraisa pazemes ūdenī esošais paaugstinātais ogļskābes saturs, kas šķīdina cementā esošo kalcija karbonātu:



Ja ūdenī ir vairāk H₂CO₃, tad šī agresīvā ogļskābe, nonākot saskarē ar karbonātiem, tos šķīdina. Agresīvās ogļskābes daudzums ūdenī,

no kā gatavo cementa javas lielākām celtnēm, nedrīkst pārsniegt 8 mg/l, bet atbildīgu objektu būvniecībā — 3 mg/l.

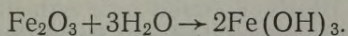
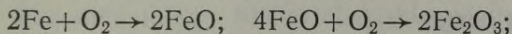
Šķīdinošās agresivitātes cēlonis ir brīvais CO_2 , kas ūdenī iekļūst, ja tas satur ļoti maz hidroģēnkarbonātjonu HCO_3^- (0,5—1,5 mmolekv/l). Šāds ūdens šķīdina CaCO_3 un kalciju Ca(OH)_2 veidā izskalo no cementa, līdz ar to veicina betona sairšanu.

Kopskābuma agresivitātes cēlonis ir palielināts brīvo ūdeņraža jonu H^+ saturs ūdenī, tas sekmē CaCO_3 šķīdināšanu. Kopskābuma agresivitāte ir bīstama, jo ūdens reakcija ir pH 5—6,8.

Sulfātu agresijas cēlonis ir palielināts sulfātjonu SO_4^{2-} saturs. Pa porām iekļūstot cementā, tie reaģē ar CaCO_3 , veidojot ģipša kristālus. Veidojoties kristāliem, pieaug ģipša tilpums, palielinās spiediens un betons sadrūp. Sulfātu agresivitāte parādās, ja SO_4^{2-} saturs pārsniedz 250 mg/l, bet sulfātnoturīgos cementos — 4000 mg/l.

Magnija agresivitātes cēlonis ir palielināts magnija jonu Mg^{2+} saturs ūdenī (>750 mg/l).

Skābekļa agresivitātes rezultātā ūdenī izšķīdušais skābeklis iedarbojas uz metālu būvkonstrukcijām un caurulēm, tās ūdenī oksidējot un radot rūsu. Korozija noris pēc šādas shēmas:



PAZEMES ŪDEŅU ĶĪMISKĀ KLASIFIKĀCIJA

Pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva dažādība nosaka nepieciešamību tos sistematizēt un klasificēt. Katrs pazemes ūdeņu paraugs satur kādus ūdenī izšķīdušo vielu jonus. Piemēram, ja tas satur Na^+ un Cl^- , ūdeņi ir sāļi. Hidroģeoloģijā par dominējošiem sauc tos jonus, kuru saturs pārsniedz 25% no katjonu vai anjonu molu summas. Dabā ūdens ir ļoti daudzveidīgs, ar dažādu sāļu saturu. Izplatītākās klasifikācijas ir pēc jonu sastāva un to attiecībām. Dažās klasifikācijās tiek ņemti vērā arī specifiskie komponenti — gāzu daudzums, ārstnieciskās vielas u. c. Ir pazīstamas daudzu zinātnieku izstrādātās pazemes ūdeņu klasifikācijas (Palmera, Vernadska, Aleksandrova, Ščukareva, Suļina, Tolstihina, Brodska, Aļokina u. c.). Tomēr līdz šim pasaulē nav vispārīgas klasifikācijas, kurā tiktu ņemta vērā ūdens ķīmisko īpašību dažādība, veids, ģenēze u. c.

Praksē plaši pielieto V. Aleksandrova pazemes ūdeņu ķīmisko klasifikāciju, kas pamatojas uz trim galvenām pazīmēm:

- dominējošajiem anjoniem vai katjoniem,
- bioloģiski aktīvajiem elementiem,
- fizikālajām īpašībām.

Dominējošos ķīmiskos elementus aprēķina pēc to moldaļas procentos. Klasifikācijā tiek ņemti vērā tie elementi, kuru moldaļa nav mazāka par 25%. Pēc šīs klasifikācijas visus minerālūdeņus iedala 6 grupās:

- hidroģēnkarbonātu ūdeņi — $\text{HCO}_3^- > 25\%$, pārējie anjoni $< 25\%$,
- hlorīdu ūdeņi — $\text{Cl}^- > 25\%$, pārējie anjoni $< 25\%$,

- sulfātu ūdeņi $\text{SO}_4^{2-} - > 25\%$, pārējie anjoni $< 25\%$,
- kombinētie ūdeņi:
- hlorīdu—hidrogēnkarbonātu ūdeņi ($\text{SO}_4^{2-} < 25\%$),
- sulfātu—karbonātu ūdeņi ($\text{Cl}^- < 25\%$),
- hlorīdu—sulfātu ūdeņi ($\text{HCO}_3^- < 25\%$),
- ūdeņi, kuri pieder vienai no četrām minētām grupām, bet kuri satur bioloģiski aktīvos komponentus (As, Br, J, Li u. c.),
- gāzētie ūdeņi, kuri pieder pie minētām piecām grupām, bet satur oglekļa dioksīdu, sērūdeņradi, metānu u. c.

Atkarībā no temperatūras izšķir vēsos ($< 20^\circ\text{C}$), siltos ($20-36^\circ\text{C}$), karstos jeb termālos ($37-42^\circ\text{C}$) un ļoti karstos jeb hipertermālos ($> 42^\circ\text{C}$) minerālūdeņus. Tā, piemēram, Žeļeznovodskas, Smirnovskas ūdeņus sauc par hipertermālajiem ogļskābes—sulfātu—hidrogēnkarbonātu—kalcija—nātrija ūdeņiem, jo tajos dominē HCO_3^- , SO_4^{2-} anjoni un Na^+ , Ca^{2+} katjoni, brīvais CO_2 , kura masas koncentrācija 1,2 g/l, ja ūdens temperatūra $+44^\circ\text{C}$. Lai raksturotu minerālūdeņu kvalitatīvo sastāvu, lieto kolonveida, riņķveida, trīsstūrveida vai kvadrātveida diagrammas.

BALNEOLOĢISKIE PAZEMES ŪDEŅI

Balneoloģija aptver jautājumus par minerālūdeņu fizioloģisko iedarbību uz cilvēka organismu un to izmantošanu ārstniecībā. Ārstnieciskais efekts iegūstams, gan pareizi izmantojot pazemes ūdeņu paaugstināto temperatūru, gan arī to svarīgākos komponentus bromu, jodu, dzelzi, radonu, oglekļa dioksīdu, sērūdeņradi. Balneoloģisko minerālūdeņu atradnes galvenokārt saistītas ar jaunām kalnu grēdām (Kaukāzu, Karpatiem, Pamiru u. c.), kā arī vulkāniskiem rajoniem (Kamčatku).

Pēc sastāva, īpašībām un ārstējošās nozīmes izšķir vairākas balneoloģisko ūdeņu grupas.

● *Ogļskābie minerālūdeņi.* Pieder aukstie minerālūdeņi, kas satur oglekļa dioksīdu (Narzami, Boržomi, Kislovodskas un pasaulē pazīstamā Francijas balneoloģiskā kūrorta Viši minerālūdens). Kislovodskas minerālūdenī CO_2 masas koncentrācija sasniedz 2000 mg/l. Karstie ogļskābie minerālūdeņi izplūst no granīta masīva plaisām, piemēram, Čehoslovākijā, Karlovivaros ūdens tiek izsviests 2000 l/minūtē 12 metru augstumā. Savukārt Armēnijā, Džermukā, kur ir ierīkots kūrortoloģijas institūts, karstie ogļskābie minerālūdeņi saistīti ar karbonātiežu termometamorfozi ($\approx +400^\circ\text{C}$ temperatūrā) kontaktā ar magmatiskām intrūzijām.

● *Sērūdeņraža (sulfīdu) minerālūdeņi.* Ārstnieciskās īpašības atkarīgas no sulfidjonu daudzuma. Tie reducējošā vidē sarežģītu biokīmisko procesu rezultātā veidojas nogulumiežos. Purvu nogulumos, kas atrodas nelielā dziļumā, sastopami slāpekļa—sērūdeņraža avoti (Ķemeross, Baldonē), kur sērūdeņradis sasniedz 10—70 mg/l. Bitumu un naftu saturošos nogulumos, kas veidojas dziļos artēziskos baseinos, sastopami metāna—sērūdeņraža avoti. Šādi avoti ar sērūdeņraža saturu līdz 350 mg/l atrodas Macestā (Krievija), Talgi (Dagestāna),

Simionā (Fergana). Oglekļa dioksīdu un sērūdeņradi saturošie minerālūdeņi sastopami tagadējo vulkānu darbības rajonos (Kamčatkā, Kuriļu salās).

Balneoloģiskiem minerālūdeņiem pieder arī radioaktīvie minerālūdeņi. Izplatītākie ir radona ūdeņi ar paaugstinātu radona saturu. Daži radioaktīvie elementi niecīgos daudzumos sastopami gandrīz visos pazemes ūdeņos, kur tie nokļūst no iežiem, sevišķi no magmatisko skābo iežu granītiem un no nogulumiežu māliem. Pazemes ūdeņos visvairāk ir urāna rindas elementu U, Ra, Tn. Rādijs ir urāna radioaktīvās sabrukšanas perioda elements, bet radons savukārt — rādija sabrukšanas rezultāts ar pussabrukšanas periodu 3,8 dienas. Izšķir

- aukstos radona ūdeņus, kas sastopami sadēdēšanas zonā, un
- termālos radona ūdeņus, kas saistīti ar tektoniskajām plaisām un sastopami skābajos magmatiskajos iežos. Šādi ūdeņi plaši izplatīti Kaukāzā un Altajā (Chaltubā, Belokurihā).

PAZEMES ŪDEŅU BAKTERIOLOĢISKAIS SASTĀVS

Pazemes ūdeņu bakterioloģiskie pētījumi tiek veikti, lai novērtētu dzeramā ūdens kvalitāti, ūdenstilpju piesārņotības pakāpi, izdarītu naftas un gāzu atradņu izpēti, noteiktu pazemes ūdeņu biokīmiskos procesus, kā rezultātā stipri izmainās to ķīmiskais sastāvs.

Visvairāk baktēriju atrodas augsnes ūdeņos un gruntsūdeņos, bet dziļākajos — artēziskajos un plaisu ūdeņos to ir stipri mazāk, turklāt tur galvenokārt sastopamas ir anaerobās baktērijas. Baktēriju daudzumu ūdenī ietekmē organisko vielu, skābekļa saturs, vides reakcija, klimatiskie un citi faktori.

Pēc baktēriju izraisītajiem biokīmiskajiem procesiem izšķir vairākas baktēriju grupas.

Amonificējošās jeb pūšanas baktērijas piedalās organiskajās vielās esošo olbaltumvielu sadalīšanās procesā, tā rezultātā izdalās amonjaks, oglekļa dioksīds, dažādas organiskas skābes, kā arī citi organiski savienojumi. Šādas baktērijas ir augsnes ūdeņos un gruntsūdeņos.

Nitrificējošās baktērijas aerobos apstākļos ņem dalību amonjaka oksidēšanā par slāpekļskābi un nitrītu veidošanā. Ir sastopamas galvenokārt augšņu ūdeņos un seklos gruntsūdeņos.

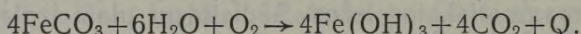
Denitrificējošās baktērijas anaerobos apstākļos piedalās nitrītu un nitrātu reducēšanā līdz brīvam slāpeklim un veicina slāpekļa dioksīda sāļu rašanos. Šīs baktērijas sastopamas dziļos pazemes ūdeņos, naftas urbumos jūrās un ezeros.

Sērbaktērijas. Sēra savienojumu pārveidošana pazemes ūdeņos notiek ar mikroorganismu līdzdalību. Galvenais sēra avots ir augu un dzīvnieku atliekas, kas nonāk augsnēs un ūdenstilpēs. Anaerobos apstākļos tās sadalās līdz sērūdeņradim. Piesārņotās ūdenstilpēs, dūņās, purvu gruntsūdeņos, purvainās augsnēs sastopamas bezkrāsainās sērbaktērijas, bet jūrās — fotosintezējošās sērbaktērijas. Bezkrāsainās sērbaktērijas oksidē sērūdeņradi līdz elementāram sēram.

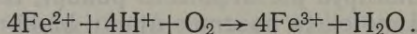
Sēra purpurbaktērijas un zaļās sēra baktērijas attīstās vidē, kas bagāta ar H_2S , un ūdeņi izskatās sarkanīgi vai zaļi.

Sulfātreducētājas baktērijas piedalās procesos, kuros sulfāti tiek reducēti par sulfīdiem vai sērūdeņradi. Šādi procesi notiek slikti aerētās bezstruktūras augsnēs, pārpurvotās augsnēs, dūņainās ūdenstilpēs, gruntsūdeņos, periodiski applūstošās plāvās. Veidojas melni plankumi (FeS_2), kas izdala nepatīkamu sērūdeņraža smaku. Ja ūdenstilpēs sērūdeņradis uzkrājas lielā daudzumā, var aiziet bojā zivis, bet dažviet šo baktēriju darbībā sulfāti reducējas tikai līdz brīvam sēram un veidojas sēra nogulumi ar rūpniecisku nozīmi.

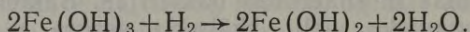
Dzelzsbaktērijas. Pazemes ūdeņos plaši noris dzelzs savienojumu oksidēšanās un reducēšanās. Dzelzsbaktērijas darbojas aerobos apstākļos, tās izmanto enerģiju, kas rodas, divvērtīgajiem dzelzs savienojumiem oksidējoties par trīsvērtīgajiem savienojumiem:



Dzelzs koncentrēšanos rūdās, piemēram, purva rūdā, veicina baktērijas, kas uzkrāj dzelzi, sadalot Fe organiskos savienojumos. Daudz neorganisko dzelzs savienojumu ir gruntsūdeņos, purvos, avotos, ezeros, drenāžas caurulēs, arī tur noris intensīva dzelzsbaktēriju darbība. Dzelzs oksidēšanās reakciju varētu attēlot šādi:



Mikroorganismi piedalās arī dzelzs savienojumu reducēšanā, kas noris anaerobos apstākļos, ko nodrošina heterotrofie (barojas ar organiskām vielām) organismi, piemēram,



Šo mikroorganismu darbības rezultātā veidojas dzelzs nogulas, rūdu uzkrāšanās purvos (limonīts), ezeros u. c. Dzelzs baktēriju veidota dzelzs hidroksīds aizsprosto ūdensvada un drenāžas caurules.

Ūdenstilpju piesārņotības pakāpes noteikšana. Ūdenstilpju piesārņotību raksturo mikrofloras un mikrofaunas saturs. Vislielākā piesārņošanās norisinās anaerobās pūšanas rezultātā, kad palielinās H_2S , CO_2 , CH_4 saturs. Baktēriju skaits 1 ml ūdens var sasniegt pat 1 miljonu. Vienā mililitrā ūdens ir 10—1000 mikroorganismu.

Dzeramais ūdens un tā kvalitātes novērtēšana. Dzeramā ūdens piesārņotības pakāpi nosaka pēc zarnu nūjiņas (*Escherichia coli*) sastopamības. Šīs baktērijas ir normāls cilvēka un dzīvnieku zarnu mikrofloras komponents. To klātbūtne dzeramajā ūdenī liecina par fekālo piesārņojumu. Šādā piesārņotā ūdenī var būt arī hepatīta, dizentērijas, tīfa, holeras un citu infekcijas slimību izraisītāji. Lai noskaidrotu ūdens sanitāro stāvokli, nosaka koli baktēriju daudzumu ūdens tilpuma vienībā (litrā) — t. s. *koli indeksu*. Vienā litrā dzeramā ūdens pieļaujams šāds kolibaktēriju skaits:

- labs dzeramais ūdens — <3,
- dzeramais ūdens — <10,
- vāji piesārņots ūdens — <100,
- piesārņots ūdens — 1000,
- stipri piesārņots ūdens — >1000.

Koli titrs ir mazākais ūdens tilpums mililitros, kas satur 1 kolibaktēriju. Dzeramā ūdens lietošanas prasības noteic Valsts standarts (29. tab.).

29. tabula

Dzeramā ūdens kvalitāte (Valsts standarts 24902—81)

Ūdens kvalitātes rādītāji	Normatīvi
Hlorā jons (Cl^-), mg/l	Ne vairāk kā 350
Kopējā cietība, mmolekv/l	Ne vairāk kā 10
Sulfāta jons (SO_4^{2-}), mg/l	Ne vairāk kā 500
Nitrāta jons (NO_3^-), mg/l	Ne vairāk kā 45
Dzelzs (Fe), mg/l	Ne vairāk kā 0,3
Fluors (F), mg/l	Ne vairāk kā 1,5
Sausais atlikums, mg/l	Ne vairāk kā 1000
pH	6,5—8,5
Kolibaktēriju skaits 1 l ūdens	Ne vairāk kā 3
Kopējais baktēriju skaits 1 ml ūdens	Ne vairāk kā 100

Dzeramajam ūdenim jābūt ar atbilstošām fizikālajām īpašībām, pieļaujamu vāju smaku un mazu duļķainumu. Tam jābūt mikstam, ar neitrālu vai vāji bāzisku reakciju. Dzeramais ūdens nedrīkst saturēt kaitīgas vielas (Pb, As, F, Cu, Zn, Fe). Nelielā dzelzs un sēra savienojumu klātbūtne nav kaitīga, bet rada ūdenim nepatīkamu piegaršu. Cieti ūdeņi un īpaši dzelzs hidroksīda nogulsnes izraisa filtru piesērēšanu.

RŪPNIECISKIE PAZEMES ŪDEŅI

Pazemes ūdeņus, kuri satur vērtīgus ķīmiskos elementus vai to savienojumus tādā daudzumā, ka ir rentabli tos izmantot šo elementu ieguvei, sauc par *rūpnieciskiem pazemes ūdeņiem*. Pašreiz no pazemes ūdeņiem iegūst jodu, bromu, halītu, kā arī bora, litija, rubīdija, germānija, urāna un volframa savienojumus. Perspektīvā nozīmīgi ir bāriju, stronciju, kadmiju, cēziju un arsēnu saturoši pazemes ūdeņi. Sāļainos nogulumiežos, kas parasti atrodas sāls nogulumu rajonos, atrodas hlorīdus saturoši ūdeņi ar lielu sāļumu. Pazemes ūdeņi, kas satur stronciju, bromu, rubīdiju, litiju un citus vērtīgus komponentus, atrodas dažāda sastāva iežos parasti lielā dziļumā. Ģeoķīmiskais process, kurā rodas šie tautsaimniecībā nepieciešamie komponenti, ir atkarīgs no pašu ķīmisko elementu rakstura, vides sāļuma, gāzu sastāva, temperatūras un spiediena režīma, kā arī citiem apstākļiem.

Palielinoties ūdeņu atrašanās dziļumam, tajos pieaug mineralizācija un paaugstinās broma, stroncija, litija, rubīdija koncentrācija. Arī spiediena paaugstināšanās veicina šo komponentu bagātināšanos, rodoties jaunām vielām hidratācijas procesos, pārejot no minerāliem

ūdens šķīdumā. Dažādām ķīmiskām vielām šī šķīšana notiek dažādi, tā ir atkarīga no pamatmateriāla kristāliskās substances. Lielā dziļumā (2 km) paaugstinātā spiedienā ir iespējama germānija, cēzija, litija, rubīdija šķīšana un parādīšanās pazemes ūdeņos. To avots parasti ir laukšpatu grupas minerāli. Rūpnieciskos pazemes ūdeņus izmanto arī medicīnā un lauksaimniecībā.

PAZEMES ŪDEŅU ĶĪMISKO ĪPAŠĪBU

LOMA LAUKSAIMNIECĪBAS UN RŪPNIECĪBAS ŪDENS APGĀDE

Latvijas hidrogeologu galvenais zinātniskās pētniecības darbs saistīts ar ūdens apgādi pilsētās, atsevišķos rūpniecības centros, jaunceltnēs, zemnieku saimniecībās, kā arī ar tā izmantošanu citām lauksaimniecības vajadzībām. Dzeramā ūdens patēriņš gadu no gada palielinās. Paaugstinās arī tā piesārņojums. Līdz ar to rodas sarežģītas problēmas, lai pilsētas varētu apgādāt ar garšīgu ūdeni.

○ Ir jāievēro, ka tehniskām vajadzībām jālieto upju, ezeru, dziļurbumu vai pat jūras ūdens.

○ Arī lauksaimniecības un lauku iedzīvotāju vajadzības, it īpaši intensificējot lauksaimniecisko ražošanu, nevar apmierināt vecās akas ar nelieliem debītiem, kurās tiek izmantoti sekli iegulušie kvartāra gruntsūdeņi. Tāpēc Latvijā ik gadu tiek izurbtas vairāk nekā 500 akas, kuras ir dziļākas un sniedzas līdz devona ūdeņiem.

○ Rūpniecības uzņēmumos, kuros tehnoloģija balstās uz biokīmiskiem procesiem (konservu, alus, spirta, ādas u. c.), dzelzs daudzums ūdenī nedrīkst pārsniegt 0,3 mg/l, jo gaisa skābekļa ietekmē divvērtīgais Fe pāriet trīsvērtīgā, radot brūnas dzelzs nogulsnes. Ūdeņi nedrīkst būt cieti, īpaši tvaika katla barošanā, jo uz katla sienām un caurulēs izveidojas katlakmens, kas rada katla sienu nevienmērīgu sasilšanu un lielu kurināmā patēriņu.

○ Rūpniecībā pazemes ūdeņus var izmantot derīgo izrakteņu J, Br, B, Li, Rb, Ge un citu iegūšanai. Šī procesa rentabilitāti nosaka ne tikai ūdeņu kvalitatīvais sastāvs, bet arī kvantitatīvais, kā arī pazemes ūdens slāņa dziļums un debīts.

○ Lauksaimniecībā pazemes ūdeņus izmanto lopu fermās un apūdeņošanai, jo Latvijā nokrišņu daudzums gadā ir vidēji 600 mm, bet vasaras periodā — tikai 60 mm mēnesī. Tāpēc trūkstošais ūdens daudzums jāpapildina ar apūdeņošanu. Augsnes mitruma noturēšana notiek arī ar gruntsūdens līmeņa regulēšanu apūdeņošanas sezonas laikā. Piejūras rajonos, ja saldūdens resursi ir ierobežoti, apūdeņošanai var izmantot jūras ūdeni (Rīgas līča ūdens sāļu masas koncentrācija ir 5—5,5 g/l, mineralizēto devona pazemes ūdeņu — 1—10 g/l). Apūdeņošanā nav ieteicams izmantot ūdeņus, kuru sāļu saturs lielāks par 5 g/l. Bez tam jāņem vērā augsnes tips, raksturīgās fizikālās un ķīmiskās īpašības. Augsnei jābūt ar vieglu granulometrisko sastāvu, lai sāls viegli izskalotos. Apūdeņošanai ar pazemes ūdeņiem ir jāizstrādā normatīvi.

PAZEMES ŪDEŅU FIZIKĀLĀS UN ĶĪMISKĀS ĪPAŠĪBAS

Pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs un fizikālās īpašības ir jautājums, ar kuru jāsaskaras rūpniecībā, pilsētu ūdens apgādē, irigācijā, zivsaimniecībā, medicīnā u. c. Bez zināšanām par ūdens ķīmisko sastāvu un fizikālajām īpašībām ūdeņus nevar racionāli izmantot. Pazemes ūdens krājumiem jāatbilst kvalitātes normām.

Pazemes ūdeņu sāļu saturs mēdz būt no 0,2 miligramiem līdz 140 gramiem litrā. Tas veidojas, iežiem šķīstot, šķīdumiem iztvaikojot, kondensējoties, notiekot jonu apmaiņas reakcijām, gāzu saistīšanas un izdalīšanās procesiem, dzīvo organismu darbības rezultātā, kā arī citos fizikāli ķīmiskos procesos, kas vienlaicīgi norit augsnē, gaisā un ūdenī. Pazemes ūdeņu sastāvu un īpašības var iespaidot arī cilvēka saimnieciskā darbība. Ūdeņos konstatēti vairāk nekā 60 dažādi ķīmiskie elementi.

Ūdens ir viens no visaktīvākajiem un kustīgākajiem ģeokīmisko procesu aģentiem Zemes garozā. Ar tā palīdzību notiek ķīmisko elementu pārgrupēšanās. Pazemes ūdeņu darbības aktivitāte ir atkarīga no to fizikālajām īpašībām.

Hidroģeoloģijā pētītās fizikālās īpašības ir temperatūra, dzidrums, krāsa, nogulsnes, smaka, garša un piegarša, blīvums, elektrovadītspēja, radioaktivitāte.

Temperatūra atkarīga no klimatiskajiem apstākļiem, ģeoloģiskās uzbūves, dziļuma, ķīmiskā sastāva. To nosaka ar dzīvsudraba termometru un izsaka °C. Temperatūras mērīšanai akās un strautos lieto īpašus termometrus, kas ievietoti speciālās aptverēs.

Dzidrums atkarīgs no izšķīdināto minerālvielu daudzuma, organisko vielu piejaukuma, mehāniskajiem piemaisījumiem. Pazemes ūdeņu dzidrumu izvērtē speciālā cilindrā, kurā ieliets 10 ml pētāmā ūdens, skatoties no augšas pret baltu fonu. Pēc dzidruma izšķir caurspīdīgu, mazcaurspīdīgu, matētu, mazliet duļķainu, duļķainu un stipri duļķainu ūdeni.

Krāsa ir atkarīga no ķīmiskā sastāva un piejaukumiem. Destilēts ūdens ir bezkrāsains. Krāsu nosaka, pētāmo ūdeni ielejot 20 cm biezā slānī 100 ml cilindrā ar plakanu dibenu, skatās no augšas pret baltu fonu, salīdzina ar standartskalas krāsām. Purvu ūdeņi parasti ir brūni vai melni, pārējiem ūdeņiem raksturīgi zilgani toņi. Sāļie vai ar alģēm bagātie ūdeņi var būt zaļgani, sērūdeņraži un divvērtīgie dzelzs savienojumi iekrāso ūdeni zaļgani zilu, nešķīstošas minerālvielas — pelēcīgu.

Nogulsnes nosaka pēc ūdens filtrēšanas un nogulšņu izžāvēšanas. Tās raksturo pēc daudzuma (maz, nedaudz, vidēji daudz, daudz) un satura (kristāliskas, smilšainas, dūņainas, mālainas), norādot arī nogulšņu krāsu.

Smaka atkarīga no dažādu vielu piejaukuma. To nosaka, ūdeni sildot slēgtā traukā līdz $\approx 60^{\circ}\text{C}$ temperatūrai, pēc tam trauku sakratot un atverot, smaku nosaka pēc ožas. Ūdens var būt bez smakas, ar sērūdeņraža (iepuvušu olu) smaku, puvuma smaku, pelējuma smaku u. c. Smakas intensitāti nosaka pēc 5 ballu skalas (30. tab.).

Smakas skala

Smakas balles	Smaka pēc sajūtas
0	nav — nevar sajust
1	ļoti vāja — nevar sajust, bet to nosaka ar speciāliem līdzekļiem
2	vāja — var sajust, jāpievērš uzmanība
3	sajūtama — jūtama, bet noteikšana rada grūtības
4	stipra — jau pievērš uzmanību un ir nosakāma
5	ļoti stipra — tik stipra, ka padara ūdeni nedzeramu

Garšu un piegaršu rada ūdenī izšķīdušās vielas, gāzes un citi piejaukumi. Nosaka, paņemot mutē 15 ml ūdens, kas sasildīts līdz 30°C, un paturot nedaudz sekundes. Izšķir sāļu, rūgtu, saldu, skābu, ziepju, metālisku, hlora un citas piegaršas.

Blīvums atkarīgs no ūdens mineralizācijas pakāpes un temperatūras. Destilēta ūdens blīvums ir ap 1 g/cm³. To nosaka ar piknometru vai aerometru.

Elektrovadītspēja atkarīga no ūdens mineralizācijas pakāpes; tai palielinoties, palielinās arī elektrovadītspēja. Saldiemi ūdeņiem tā ir niecīga ($33 \cdot 10^{-5}$ — $1,3 \cdot 10^{-3} \Omega \cdot m$), bet destilēts ūdens ir pat izolators.

Radioaktivitāte ūdenim piemīt, ja tajā sastopams rādijs, urāns vai radons. Pēc A. Tokareva un E. Kučeļa, ūdeni par radioaktīvu var uzskatīt tad, ja tas satur $3 \cdot 10^{-5}$ g/l urāna vai $5 \cdot 10^{-12}$ g/l rādija.

PAZEMES ŪDEŅU KLASIFIKĀCIJA

Pazemes ūdeņu klasifikāciju, vadoties pēc dažādām pazīmēm (ķīmiskā sastāva, veidošanās mehānisma, saguluma, hidrauliskām īpašībām, kustības režīma, temperatūras u. c.), izstrādājuši daudzi zinātnieki. Vispārpieņemtas vienotas pazemes ūdeņu klasifikācijas hidroģeoloģijā nav, bet esošās var iedalīt 3 grupās.

● Pazemes ūdeņus klasificē pēc ķīmiskā sastāva (V. Vernadskis, C. Palmers, V. Aļeksandrovs, O. Aļokins u. c.).

● Pazemes ūdeņus klasificē pēc izcelšanās, saguluma vai citām pazīmēm (O. Lange, F. Savarenskis, A. Ovčiņikovs, P. Kļimentovs, N. Tolstihins u. c.).

● Pazemes ūdeņus klasificē pēc vienas vai nedaudzām raksturīgām pazīmēm (A. Dzenis, N. Plotņikovs u. c.). Tālāk aplūkosim dažas pazīmes, pēc kurām visbiežāk tiek klasificēti pazemes ūdeņi.

Pēc ūdens nesējslāņa vecuma pazemes ūdeņus var iedalīt kvar-tāros ūdeņos, devona ūdeņos un citos.

Pēc atrašanās iežos tos var iedalīt šādi:

○ poru ūdeņi, kuri saguļ un cirkulē augšņu ģenētisko horizontu sī-kajās porās un ir dažādi pēc ģenēzes, līdz ar to arī pēc granulo-metriskā un mineralogiskā sastāva,

○ ūdens nesējslāņu ūdeņi, kuri saguļ un cirkulē irdenos nogulum-iežu slāņos,

○ plaisu ūdeņi, kuri saguļ un pa plaisām cirkulē brīvos nogulum-iežos, magmatiskos vai metamorfos iežos,

○ plaisu—dzīslu ūdeņi, kuri saguļ un cirkulē pa tektonisko procesu izveidotām dzīslām un plaisām.

Pēc hidrauliskajām īpašībām pazemes ūdeņus iedala spiediena un bezspiediena ūdeņos.

Atkarībā no klimatiskajiem faktoriem un dažādiem režīma ap-stākļiem tie laika gaitā izmaina ķīmisko sastāvu, temperatūru un iedalās zonālos, azonālos un interzonālos ūdeņos:

○ zonālie ūdeņi ir atkarīgi no klimata režīma (gruntsūdeņi);

○ azonālie ūdeņi nav atkarīgi no klimata ietekmes (dziļākie pazemes ūdeņi, piemēram, artēziskie ūdeņi);

○ interzonālie ūdeņi sastopami jebkurā klimatiskā zonā, bet ir ar specifiskām īpašībām (augšnes ūdeņi).

Pēc temperatūras pazemes ūdeņus O. Aļokins iedala sevišķi aukstos ($T < 0^{\circ}\text{C}$), stipri aukstos ($-4^{\circ}\text{C} < T < 0^{\circ}\text{C}$), aukstos ($+4^{\circ}\text{C} < T < +20^{\circ}\text{C}$), siltos ($+20^{\circ}\text{C} < T < +37^{\circ}\text{C}$), karstos ($+37^{\circ}\text{C} < T < +42^{\circ}\text{C}$), stipri karstos ($+42^{\circ}\text{C} < T < +100^{\circ}\text{C}$), sevišķi karstos ($T > 100^{\circ}\text{C}$).

Vispārīgu pārskatu par pazemes ūdeņu ģenētisko klasifikāciju sniedz P. Kļimentova klasifikācija (1955. g.).

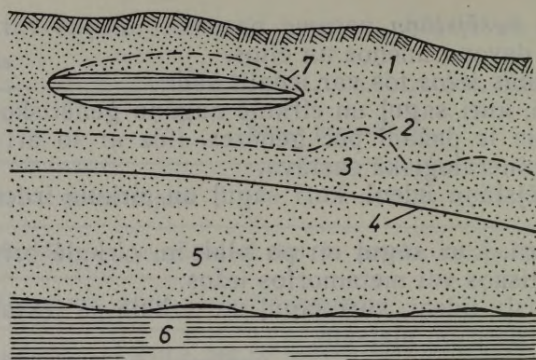
AERĀCIJAS ZONAS ŪDEŅI

Aerācijas zona ir virsējā Zemes garozas zona, kurā noris aug-snes gaisa apmaiņa. Ūdens šai zonā atrodas augšnes sīkajās porās un kapilāros, bet rupjākās poras aizņem gaiss. Aerācijas zonas ūdeņi atrodas virs piesātinājuma zonas starp gruntsūdens līmeni un zemes virsu (97. att.). Virs gruntsūdeņiem irdenos iežos vienmēr izveidojas kapilārā apmale. Atkarībā no ģeoloģiskiem un hidroģeolo-ģiskiem apstākļiem aerācijas zona var būt plaša vai arī ļoti šaura. Augšnes ūdeņi sastāv no tvaikveida higroskopiskā, plēvīšu, kapilārā, gravitācijas un lietus ūdens.

Izšķir pastāvīgo un īslaicīgo gravitācijas ūdeņi. Īslaicīgais gra-vitācijas ūdens veidojas atmosfēras nokrišņu laikā, augšnes apūde-ņošanā u. tml. Pastāvīgais augšnes ūdens sastopams purvos un vie-tās, kur ir ļoti sekls gruntsūdens. Augšnes gravitācijas un kapilāra-jam ūdenim piemīt specifiskas īpašības:

○ tie atrodas aerācijas zonā,

○ neliels kustības ātrums (0,5—3 m diennaktī),



97. Aerācijas zonas ūdeņi:

1 — aerācijas zona, 2 — gruntsūdens kapilārā apmale,
3 — kapilārie ūdeņi, 4 — gruntsūdens līmenis, 5 —
gruntsūdeņu horizonts, 6 — ūdens balstītājslānis,
7 — «maldu» gruntsūdeņi.

○ kustība ir lamināra, pakļaujas Darsī likumam,
○ piedalās ūdens apritē dabā,
○ īpatnējs ķīmiskais sastāvs, lielāks skābums, satur daudz organisko vielu un mikroorganismu, dienvidu rajonos arī lielāks sāļu saturs (veidojas sāļainās augsnes — solončaki, solonci, solodi).

Latvijā mēreni mitrā klimatā nokrišņu daudzums pārsniedz iztvaikošanu, tāpēc aerācijas ūdeņi ir vāji mineralizēti un tie ir saldi. Augsnes ūdeņus būtiski iespaido augu valsts Mežos tie ir stipri atkarīgi no meža zemsedzes sastāva. Meža zemsedzei ir liela ūdens ietilpība, un tā var uzsūkt sevī daudz lietus un sniega kušanas ūdeņu. Zemsedzē raksturīgi sīki kapilāri un plaisas, pa kurām labi virzās gravitācijas un kapilārais ūdens. Zemsedzei izžūstot, ejas un kapilāri saraujas, tāpēc sausos klimata periodos zemsedzē saistītie atmosfēras nokrišņi maz iztvaiko un baro aerācijas zonu. Augsnes ūdeņi ir viens no galvenajiem augsnes auglības faktoriem, kam ir praktiska nozīme lauksaimniecībā un mežsaimniecībā. Toties būvniecībā hidrotehnisko celtnu būvē un ekspluatācijā tie ir kaitīgi (sevišķi lesa rajonos).

Aerācijas zonas ūdeņiem, izņemot karenos ūdeņus, nav noteikta balstītājslāņa, un tie ir ātri pārejoši. Šie ūdeņi veidojas visos porainos, rupjgraudainos iežos, kuru poras tik lielas, ka gravitācijas spēku iespaidā lielākā daļa nokrišņu aizplūst un tikai neliela daļa paliek aerācijas zonā (visvairāk — mālsmits, smilšmāla un lesveida iežos). Tā kā aerācijas zonas ūdeņi veidojas galvenokārt no atmosfēras nokrišņiem, tiem dažādos gadalaikos ir dažāds dziļums. Ja gruntsūdeņi atrodas nelielā dziļumā un augsnes mitrums liels, aerācija ir nepilnīga, augsnē veidojas reducējoši apstākļi un sākas pārpurvošanās. Veidojas purvainas purva augsnes ar īpatnēju ūdens režīmu.

Aerācijas zonas karenie ūdeņi ir savdabīgs pazemes ūdeņu tips, kas veidojas, infiltrējoties atmosfēras un virszemes ūdeņiem, un tie

tiek aizturēti virs necaurlaidīgiem un vāji caurlaidīgo iežu slāņu ieslēgumiem vai līnzām, kurus ieslēdz caurlaidīgie porainie vai slāņainie ieži. To veidošanā svarīga nozīme ir reljefam un iežu sastāvam. Karenie ūdeņi aerācijas zonā parasti aizņem nelielas platības. Daži pētnieki tos sauc par maldu gruntsūdeņiem. Šie ūdeņi nav noderīgi ūdens apgādē, jo ir nepietiekamā daudzumā, un tajos viegli iekļūst netīrie virsūdeņi, bet dažreiz tie baro arī gruntsūdeņus.

PURVA ŪDEŅI

Hidromorfās augsnes veidojas ilgstošu virsūdeņu vai seklu gruntsūdeņu ietekmē, kad kapilārā apmale ilgstoši sasniedz augsnes virsmu. Purva purva augsni pieņemts saukt pārmitru zemi, kura pārklāta ar kūdras slāni, kas nenosusinātā stāvoklī ir biezāks par 30 cm, bet nosusinātā — par 20 cm. Katru gadu mitruma pārpilnībā augsnes virsmu pārklāj atmirstošo kūdras veidotājaugu atliekas, no kurām sarežģītu biokīmisku procesu rezultātā veidojas dažāda botāniska sastāva kūdras (sfagnu, grīšļu u. c.). Purvu veidošanās ir atkarīga no ūdens sastāva. Pēc ūdens barošanās apstākļiem izšķir trīs purva tipus.

○ *Zemais purvs*. Baro minerālvielām bagāti gruntsūdeņi. Sajos ūdeņos kūdra labāk sadalās un tajā esošās barības vielas uzkrājas.

○ *Augstais purvs*. Raksturīga virs purva malām izliekta virsma. Augstā purva virsējā slānī gruntsūdeņi neiekļūst un purva augi barojas tikai ar atmosfēras nokrišņos esošajām barības vielām.

○ *Pārejas purvs*. Barošanās veids ir jaukts.

No hidroģeoloģiskā un hidroloģiskā viedokļa purvi ir savdabīgi ar to, ka nenosusinātā purva kūdra satur 87—94% mitruma. Tādējādi liels purvs pēc ietvertā ūdens tilpuma līdzinās ezeram, bet ar stipri atšķirīgu ūdens dinamiku. Purva ūdens ir cieši saistīts ar kūdru, kas ierobežo tā kustību. Kūdrā ūdens pārvietošanas galvenokārt pa iekšējām spraugām, sakņu ejām u. tml. Kūdras filtrācijas koeficients ir ļoti mazs un atkarīgs no sadalīšanās pakāpes, piemēram, sūnu kūdrā, kura ir labi sadalījusies, k_f ir 10^{-5} cm/sec.

Purva ūdeņi ir miksti, ļoti agresīvi un satur daudz organisko skābju, tiem ir nepatīkama piegarša. Purva ūdeņi saimnieciski nav izmantojami.

Ūdens līmenis purvā, izņemot vasaras periodu, ir līdz tā virsai. Vasaras periodā purva ūdens režīmu iespaido kūdras virsējā kārtā, kurā ūdens līmenis ir nokrities. Šo purva virskārtu sauc par *purva darbīgo slāni (segsni)*. Sūnu purvos tas var sasniegt 0,5 m, un šajā kārtā noris infiltrācija, iztvaikošana, kapilārā ūdens kustība. Darbīgā slānī porozitāte sasniedz 70% un poru lielums ir kā rupjgraudainai smiltij. Ūdens kapilārā pacelšanās tajā nepārsniedz 15 cm un k_f ir 20 cm/sec. Ja ūdens līmenis ir zems un pastāv ilgstošs sausums, purva virskārtā var iestāties mitruma trūkums. Purva darbīgais slānis ir siltuma izolators (pasargā dziļākos slāņus no sasilšanas), aizkavē ūdens iztvaikošanu, ir ūdens caurlaidīgs. Nokrišņi tajā strauji iesūcas un ātri sasniedz ūdens slāni — sākas sānu notecē.

Tāpēc lietūs ūdens nekrājas uz purva virsmas. Sānu notece izbeidzas, ja ūdens līmenis purvā sasniedz 20—30 cm dziļumu. Augstā purva darbīgais slānis savas īpatnējās filtrācijas, kapilaritātes un citu īpašību dēļ ir savdabīgs ūdens regulētājs, tāpēc augstais purvs pastāvīgi satur daudz ūdens.

Purva ūdeņi bieži var negatīvi ietekmēt apkārtējo rajonu gruntsūdens kvalitāti.

GRUNTSŪDENS

Gruntsūdens saguluma veidi. Par gruntsūdeni sauc tādu pazemes ūdens horizontu, kas uzkrājas un cirkulē pirmajā ūdens nesējslānī un izvietojas virs pirmā skaidri izteiktā ūdensnecaurļaidīgā slāņa. Gruntsūdens raksturīgākās īpašības ir šādas:

- gruntsūdens parasti ir bezspiediena, ar brīvu virsmu, tas pārvietojas pa iežu porām, plaisām, gravitācijas spēku ietekmē, tam ir saskare ar atmosfēru;

- gruntsūdens barošanās un cirkulācijas apgabali sakrīt, barošanās parasti noris ar atmosfēras ūdeņiem, virsūdeņiem un kondensācijas ūdeņiem;

- gruntsūdenim ir raksturīgs savs režīms, atkarībā no klimatiskiem apstākļiem mainās gruntsūdens daudzums, līmenis, ķīmiskais, bakterioloģiskais sastāvs un īpašības; režīmu iespaido arī cilvēku saimnieciskā darbība (meliorācija, apūdeņošana, ūdenskrātuves, karjeri u. c.), kā arī biokīmiskie procesi aerācijas zonā,

- gruntsūdens viegli iegūstams un viegli piesārņojams (rūpniecības un lauksaimniecības notekūdeņi, purvainie ūdeņi u. c.).

Latvijā gruntsūdens parasti saistīts ar kvartāriem nogulumiem (glaciālais, fluvioglaciālais, aluviālais, deluviālais, eoliskais, proluviālais). Šajos nogulumos gruntsūdens atkarībā no teritorijas ģeoloģiskās un ģeomorfoloģiskās uzbūves veido dažādus sagulumu veidus:

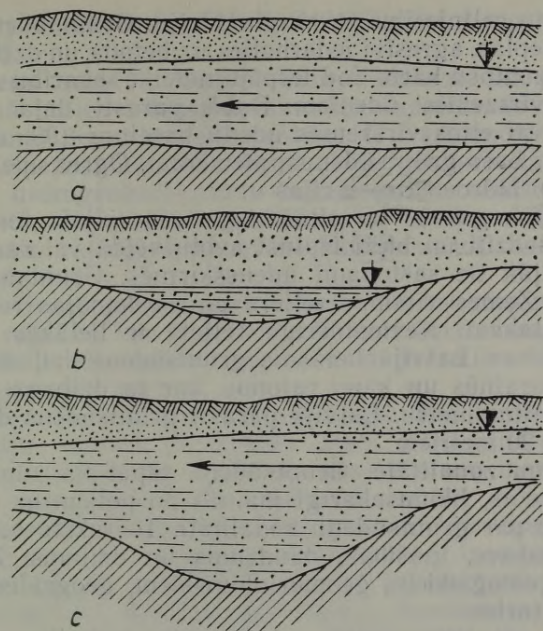
- gruntsūdens plūsmas,

- baseinus,

- plūsmas un baseinu kombinācijas (98. att.).

Gruntsūdens atrodas pastāvīgā kustībā un smaguma spēka ietekmē plūst no augstākām vietām uz zemākām. Šādu gruntsūdens plūsmas aizņemtu teritoriju sauc par *gruntsūdens plūsmas baseinu*, tā virsmas līmenis ir slīps. Necaurļaidīgo iežu ieplakās atrodas *gruntsūdens baseini*, to virsmas līmenis ir taisns. Veidojas arī plūsmas un baseinu kombinācijas. Parasti gruntsūdens plūsmas un baseini pakāpeniski pāriet viens otrā. Lielī gruntsūdens krājumi rodas, ja gruntsūdens plūsmas ieplūst daudzos lielos izveidojušos baseinos. Šādās situācijās virspusē var izveidoties pat ezeri. Šādi ezeri atrodas Rīgas mežos pie Juglas. Vietās, kur ūdens nesējslāņi šķērso negatīvās reljefa formas (ielejas, gravas, ieplakas), veidojas avoti un notiek gruntsūdens plūsmas atslodze.

Gruntsūdens virsmas (hidroizohipšu) karte. Gruntsūdens virsmas stāvokli kādā pētāmā teritorijā raksturo hidroizohipšu karte. Hidroģeoloģisko karšu pamats ir hidroizohipses — līnijas uz kartes, kuras



98. Gruntsūdeņu saguluma veidi:

a — gruntsūdens plūsma, *b* — gruntsūdens baseins,
c — gruntsūdens plūsmas un baseina kombinācija.

savieno punktus ar vienādu gruntsūdens līmeņa absolūto augstumu. To nosaka akās vai urbumos, izmērot gruntsūdens līmeņa dziļumu no Zemes virsas. No iegūtajiem skaitļiem pēc formulas aprēķina absolūto augstumu

$$H = H_1 - h,$$

kur H — gruntsūdens līmeņa absolūtais augstums dotajā punktā;
 H_1 — Zemes virsmas absolūtais augstums aku vai urbumu vietā;

h — gruntsūdens līmeņa dziļums no Zemes virsas.

Pēc iegūtajiem gruntsūdens absolūtā augstuma skaitļiem uz topogrāfiskās kartes novelk hidroizohipses, līdzīgi kā horizontāles uz topogrāfiskajām kartēm. Hidroizohipšu biežību nosaka gruntsūdens līmeņa noteikto punktu skaits, kartes mērogs un izvēlēto šķelumu biežums. Hidroizohipšu kartes sastāda pēc vienlaicīgu mērījumu datiem. Tā kā gruntsūdens līmenis mainās atkarībā no meteoroloģiskajiem apstākļiem un gadalaika, obligāti jānorāda mērījumu datums, un šīs kartes ieteicams sastādīt atbilstoši meteoroloģiskajiem apstākļiem ar visaugstāko un zemāko gruntsūdens līmeni. Pēc hidroizohipšu kartēm risina daudzus praktiskos uzdevumus (ūdens apgādi no gruntsūdeņiem, zemju nosusināšanas jautājumus un dažādas inženierģeoloģiskus jautājumus). Sekls gruntsūdens sarežģī

dažādu objektu celtniecību un ekspluatāciju. Gruntsūdeņi var appludināt pagrabteplā, agresīvi iedarboties uz betona un dzelzs konstrukcijām. Hidroizohipšu karte dod iespēju noteikt sakarību starp gruntsūdeņiem un virszemes ūdeņiem. Dabā parasti daļa gruntsūdeņu ieplūst upēs vai citos virszemes ūdeņu baseinos (99. att.). Dažreiz arī upju ūdeņi baro gruntsūdeņus, piemēram, Ogres upe un Daugava lejpus Pļaviņu hidroelektrostacijas u. c.

Upju ielejās, gravās un citās negatīvās reljefa formās gruntsūdeņi sagul nedziļi un bieži izplūst avotu veidā vai rada purvainas vietas. Visdziļāk tie sastopami ūdensšķirtnēs. Gruntsūdens līmenis ir saistīts ar Zemes virsmas reljefu un pieskaņojas reljefa pacēlumiem un ieplakām. Nevienmērīgā reljefā ir lielākas gruntsūdens līmeņa svārstības. Latvijā lielākais gruntsūdens dziļums sastopams morēnu paugurainēs un kāpu rajonos, kur to dziļums var sasniegt vairākus desmitus metru. Latvijā parasti gruntsūdens dziļums svārstās no 1 līdz 20 metriem.

Gruntsūdeņu zonalitāte. Gruntsūdeņi, tāpat kā augsne un augi uz mūsu planētas, likumsakarīgi mainās no poliem uz ekvatoru. Šo parādību sauc par gruntsūdeņu zonalitāti. To raksturo gruntsūdeņu atšķirīgais sastāvs, īpašības, daudzums un dziļums. Zonalitāte ir atkarīga no ģeoloģiskiem, ģeomorfoloģiskiem, ģeogrāfiskiem un klimatiskiem faktoriem.

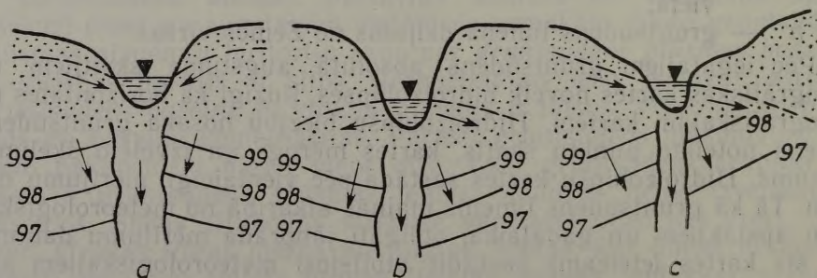
Izšķir trīs zonalitātes veidus: klimatisko, hidrodinamisko un barošanās (uzpildes) zonalitāti.

Klimatisko zonalitāti nosaka klimatiskie faktori. Dažādās zonās ir atšķirīgs nokrišņu daudzums un iztvaikošanas intensitāte, tas ietekmē gruntsūdens minerālsāļu kvalitatīvo un kvantitatīvo sastāvu, kā arī nosaka gruntsūdens atrašanās dziļumu.

Eiropā izšķir šādas zonālo ūdeņu provinces:

- mūžīgā sasaluma province,
- humīdā province,
- arīdā province.

Latvija ietilpst humīdās provinces zonā, tai raksturīgs liels gaisa mitrums, nokrišņu daudzums parasti pārsniedz iztvaikošanu, pār-



99. Gruntsūdeņu plūsmas sakarība ar virsūdeņiem:

a — upe drenē gruntsūdeni, b — upe baro gruntsūdeni, c — upe vienlaicīgi drenē un baro gruntsūdeni.

Hidroizohipses norāda gruntsūdens līmeņa absolūto augstumu, bultiņas — gruntsūdens plūsmas virzienus.

svarā pastāv pazemes notece. Gada vidējā gaisa temperatūra ir augstāka par 0°C.

Gruntsūdeņu sastāvu ietekmē iežu dēdēšana un podzolēšanās, kuru rezultātā notiek intensīva minerālu sadalīšanās un izskalošanās. Pēc gruntsūdeņu ķīmiskā sastāva I. Garmonovs izšķir šādas zonas (no ziemeļiem uz dienvidiem): hidroģēnkarbonātu—kramaino ūdeņu zonu, hidroģēnkarbonātu—kalcijs zonu, aridā provincē — sulfātu—hlorīdu zonu, kā arī apakšzonu ar kontinentālo sasāļojumu un paaugstinātu hidroģēnkarbonātu—kalcijs saturu Krīmas un Kaukāza kalnu apgabalos.

Aridās provinces gruntsūdeņi sastopami sauso stepju, pūstuksnešu un tukšnešu rajonos, kur ir neliels nokrišņu daudzums, intensīva iztvaikošana, lielas diennakts temperatūras svārstību amplitūdas un apgrūtināta pazemes notece.

Gruntsūdeņi var būt sāļi vai sālsūdeņi. Pēc ķīmiskā sastāva ir sulfātu, sulfātu—hlorīdu un hlorīdu ūdeņi. Sāļo gruntsūdeņu veidošanos ietekmē arī marīnās izcelsmes sasāļotie nogulumieži un sāļās augsnes, kas sastopamas Vidusāzijā un Kazahijā.

Hidrodinamiskā jeb pazemes noteces zonalitāte visspilgtāk izpaužas kā aridās provinces grunts ķīmiskā sastāva izmaiņas, ko nosaka gruntsūdeņu dziļuma samazināšanās un tai sekojoša mineralizācijas paaugstināšanās. Rajonos, kur labāka drenēšanās, labāka ir arī pazemes notece. Veicot meliorācijas pasākumus, jāņem vērā atsevišķu iežu slāņu drenēšanās spēja, piemēram, sliktā smilšmāla drenēšanās virs smilšaina gruntsūdeņu nesējslāņa. Slāņa drenējumu parāda pazemes notece, kas atkarīga no virsējo iežu vertikālās caurlaidības, spiedietu starpības un citiem faktoriem. Atkarībā no pazemes noteces izšķir 5 hidrodinamiskās (dabiskā drenējuma) zonas: intensīvā drenējuma, vidējā drenējuma, vāja drenējuma, ļoti vāja drenējuma un beznoteces zonu (31. tabula). Tabulā redzam, ka, samazinoties gruntsūdeņu notecei, palielinoties iztvaikošanai un transpirācijai virzienā no 1 līdz 5 zonai, gruntsūdeņu mineralizācija palielinās.

Pirmajās divās zonās gruntsūdeņi plūst strauji; izskalotie sāļi no aerācijas zonas un ūdens nesējslāņiem nogulsņējas vietās, kur gruntsūdeņu tecēšanas ātrums samazinās un to līmenis tuvojas Zemes virsai.

Zonās, kur iztvaikošana lielāka nekā nokrišņi, vājā drenēšanās veicina ūdens mineralizāciju. Sākas iežu un augšņu sasāļošanās, kas viskrasāk noris tukšnešos. Līdzīga aina ir priekškalnu apgabalos, kur drenāža samazinās no priekškalniem uz līdzenumiem, līdz ar to pieaug ūdens mineralizācija.

Vidējā drenējuma zonā mitrums ir pietiekošs, tāpēc veidojas saldi gruntsūdeņi, to dziļums, ko nosaka dotās teritorijas ģeoloģiskā uzbūve un reljefs, ir dažāds.

Visintensīvākā drenēšanās zona ir kalnu un priekškalnu rajonos, bet vāja drenēšanās zona raksturīga kalnu plato izveidotās platformās un plakankalnēs.

Gruntsūdeņu barošanās zonalitāte vislabāk novērojama aridās

Gruntsūdeņu hidrodinamiskās zonas
(pēc D. Kaca)

Drenējuma zonas	Zonu raksturojums					Zonām raksturīgo apstākļu piemēri
	Pazemes noteces tips	Pazemes notece gadā, mm	Dominējošā mineralizācija, g/l	Dominējošais dziļums, m	Nozīme augšnes veidošanā	
Intensīvā drenējuma	Gruntsūdeņu notece ar dažādu ātrumu	100—300 (smilšmāla nogulumos), līdz 700 (grānšainos nogulumos)	Saldi (visos klimatā apstākļos)	> 10 m (dabiskos apstākļos un apūdeņojamās zemēs)	Automorfas augsnēs	Kalnu priekškalnēs un to iznesu grānšainos košumos, priekškalnu līdzenumos un aluviālās terases u. c.
Vidējā drenējuma	Intensīva gruntsūdeņu plūsma	300—500	Saldi (visos klimatā apstākļos)	Dažāds, apūdeņojamās zemēs 0—5	Sākas pārpurvošanas procesi	Aluviālās terases, pazemes ūdeņu izplūdes zonas, Grānšainos iežos ar nelielu necaurīdīgo slāni
Vāja drenējuma	Palēnināta gruntsūdeņu plūsma	150—300	Saldi (humīdā klimata provincē), vāji mineralizēti (arīdās provinces)	Dažāds, apūdeņojamās zemēs 0—4	Sākas purvainu augšņu veidošanas, arīdā klimatā vāja sasalošanas	Upju vidējās un apakšējās terases, centrālās pazemes ūdeņu konu izplūdes.

Ļoti vāja drenējuma	Ļoti vāja gruntsūdeņu plūsma	50—100	Saldi klimata (humidā provincē), stipri mineralizēti (arīdas provinces)	Dažāds, apūdeņojamās zemēs 0—3 m	Sākas purvainu augšņu veidošanās, arīdā klimatā intensīva augšņu sasalošanās	Platās upju terāsēs, ūdensšķirtņu līdzenumos, nešķērsotos priekškalnu līdzenumos, upju deltās, starpkonusu pazeminājumos; smilšmala nogulumos — līdz 30 m biezās un vairāk sedzošos smilšu, mālsmits nogulumos
Beznoteces	Gruntsūdeņu baseini	<50	Saldi klimata (humidā provincē), ļoti stipri mineralizēti (arīdās provinces)	Dažāds, apūdeņojamās zemēs 0—3 m	Sākas purvainu augšņu veidošanās, arīdā klimatā ļoti intensīva augšņu sasalošanās	Tagadējās un senās piejūras un upju deltas un līdzenumos, subareālās upju deltās, smilšmala un mala nogulumos, kas nogēti ar smalkām smiltīm, ūdensšķirtņu līdzenumos, smilšaini mālainos pamatiežu nogulumos

provinces zonās, kur gruntsūdeņu minerālsāļu saturs mainās atkarībā no attāluma līdz barošanās avotam (upei, ūdenstilpei u. c.).

Bez zonālajiem gruntsūdeņiem pastāv arī *azonālie gruntsūdeņi*, kuru ķīmiskais sastāvs nepakļaujas klimatiskai un hidrodinamiskai zonalitātei. Šādi ir viegli šķīstošo iežu (ģipša, kaļķakmens) slāņi Krimā, Sanktpēterburgas apkārtnē, Urālos, Baltijas republikās, kur sastopami karsta ūdeņi (sk. nodaļā par karsta procesiem) ar stipri augstu cietību. Azonāli ir arī magmatisko un metamorfo iežu masīva ūdeņi Karēlijā, Podolijā un citur.

Seno sāļo jūras nogulumu, kā arī dubļu vulkānu, sāls kupolu veidojumu tuvumā izveidotie gruntsūdeņi ir ar augstu mineralizācijas pakāpi.

GALVENIE GRUNTSŪDEŅU VEIDI UN TO IZPLATĪBA

Gruntsūdeņu sagulumi dabā ir ļoti dažādi. To īpatnības — gruntsūdens dziļumu, sastāvu, ūdens nesējslāņa biezumu, izvietojumu, izplatību, plūsmas ātrumu u. tml. — nosaka teritorijas ģeoloģiskā uzbūve, reljefs, klimatiskie faktori un cilvēku saimnieciskā darbība. Grupējot gruntsūdeņus pēc ģeoloģiskiem, ģeomorfoloģiskiem un klimatiskiem faktoriem, ievērojot gruntsūdeņu nesējslāņu raksturu, izšķir šādus gruntsūdeņu tipus:

- leduslaikmeta nogulumu gruntsūdeņi,
- aluviālo nogulumu gruntsūdeņi,
- delūvija nogulumu gruntsūdeņi,
- smilšaino jūras piekrastu gruntsūdeņi,
- smilšaino tuksnešu gruntsūdeņi,
- karsta rajona un plaisaino iežu masīva gruntsūdeņi,
- kalnu apgabalu gruntsūdeņi u. c.

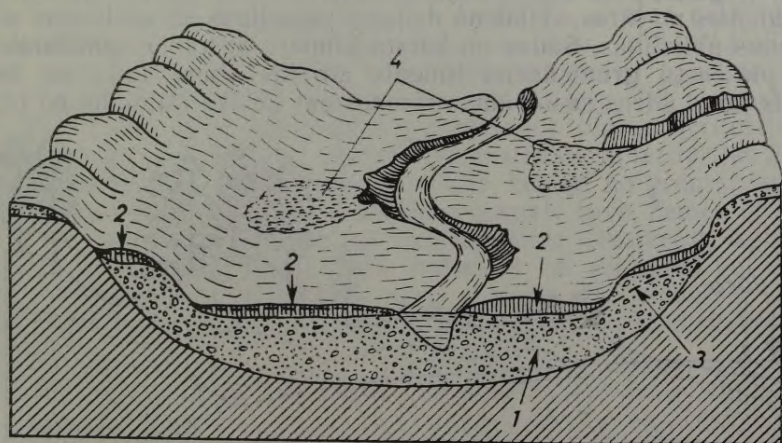
Leduslaikmeta nogulumu gruntsūdeņi. Eiropā (izņemot dienvidu daļu) izplatītākie gruntsūdens nesējslāņi un balstītājslāņi ir leduslaikmeta nogulumi. Raksturīgākie kvartāra perioda glaciālie (ledāja) nogulumi ir morēnas un fluvioglaciālie (strauju ledāju kušanas ūdeņu) nogulumi — smiltis un granšainie nogulumi. Gruntsūdeņus iedala pēc tos nesošajiem iežu slāņiem.

Morēnu gruntsūdeņi. Izmantojot divlocekļu klasifikāciju, pēc sastāva izšķir smilšmāla, mālsmiltis un, retāk, smilšainas morēnas. Latvijā pēc vecuma izšķir četras ledus fāzes ar attiecīgi atšķirīgām morēnām. Parasti gruntsūdens nesējslāņi atrodas pēdējā ledāja Baltijas svītas augšējā morēnā, kas ir rūsganā vai sarkani brūnā krāsā un pēc sastāva parasti ir mālaini, smilšaini puteklaina morēna. Morēnu nogulumu atšķiras pēc to krājumiem, biezuma, ūdenscaurlaidības, ko nosaka iežu granulometriskais sastāvs. Nogulumu dažāda sastāvs un biežums nosaka arī dažādu ūdens saturu. Parasti morēnas nesatur lielus ūdens krājumus. Āķu debīti morēnu nogulumos ir nelieli — 0,01—1 l/sek. Leduslaikmeta nogulumiem raksturīgi kalcija hidroģēnkarbonātu saturoši minerālūdeņi. Vietām vērojams arī paaugstināts dzelzs saturs (2—6 mg/l). Morēnās bieži sastopami granšaini vai smilšaini nogulumu starpslāņi vai lēcas, kurās ūdeņi bieži atrodas zem spiediena.

Fluvioglaciālie gruntsūdeņi. Lielākos Latvijas gruntsūdeņu krājumus satur fluvioglaciālie nogulumu, kuri pēc sastāva ir smilšaini vai granšaini. Fluvioglaciālām akumulācijas reljefa formām pieder kēmu, osu, fluvioglaciālo plato veida pauguri, līdzenumi, deltas, kas sastāv no smilšainiem un granšainiem slāņiem, kuriem raksturīga laba ūdens caurlaidība, kapacitāte un atdeve. Parasti fluvioglaciālie nogulumi uzgulst virs morēnas un, ja tā sastāv no mālsmits vai smilšmāla, daļēji funkcionē kā ūdensnecaurlaidīgs slānis. Fluvioglaciālajos nogulumos uzkrājas daudz un samērā labas kvalitātes gruntsūdeņi, kuri veido lielus pazemes ūdens plūsmas baseinus. Lieli gruntsūdeņu krājumi rodas, ja gruntsūdeņu plūsmas ieplūst daudzos necaurlaidīgo slāņu izveidotos baseinos, piemēram, Rīgas mežos pie Juglas. Gruntsūdeņi fluvioglaciālajos nogulumos atrodas 1—20 m dziļumā, vidēji — 2—3 m. Aku debiti var pārsniegt 2 l/s, bet parasti tas ir vidēji 1 l/s. Pēc ķīmiskā sastāva fluvioglaciālo nogulumu gruntsūdeņi ir kalcija hidroģēnkarbonātu saturoši saldūdeņi (0,3—0,5 g/l), tie ir mēreni cieti.

Aluviālie gruntsūdeņi. Aluviālie nogulumu ir upju nogulumu, kuri sastopami galvenokārt upju ielejās un terasēs. Pēc sastāva tie ir dažādi, atkarībā no upju ūdens režīma ir izgulsnējušies gan smilšaini, gan mālaini, gan arī dūņaini nogulumu. Veidojoties upju ielejām, bagāti ledāja kušanas ūdeņi tecēja ļoti strauji, līdz ar to izgulsnējās samērā biezi smilšaini un granšaini nogulumu. Virs tiem virspusē parasti veidojās dažādi aluviālie palu nogulumu. Tāpēc aluviālos nogulumos parasti sastopami divu slāņu kompleksi:

- apakšējais palu nogulumu komplekss, kas sastāv no rupjas granšainas smilts,
- augšējais palu nogulumu komplekss, kas sastāv no smilšaini, putekļaini dūņainiem nogulumiem (100. att.).



100. Aluviālie gruntsūdeņi:

1 — gultnes alūvijs, 2 — palu alūvijs, 3 — gruntsūdens līmenis, 4 — avotainas pārpurvotas vietas.

Nogāzēs gruntsūdeņi atrodas nelielā dziļumā, bet terasēs, piemēram, Volgas, Dņepras, Okas, tie var būt pat 10—15 m dziļumā. Upju ieleju aluviālo nogulumu gruntsūdeņu barotāji ir atmosfēras nokrišņi un virsūdeņi. Tie regulē arī upes ūdens daudzumu. Gruntsūdens līmenis vasaras periodā virzās uz upi. Sausos periodos upes līmenis stipri krītas, bet palu laikā upe baro aluviālos gruntsūdeņus. Aluviālo nogulumu gruntsūdeņi parasti ir saldi, pārsvarā satur kalcija hidroģēnkarbonātu, tāpēc tie izmantojami pilsētu ūdens apgādē.

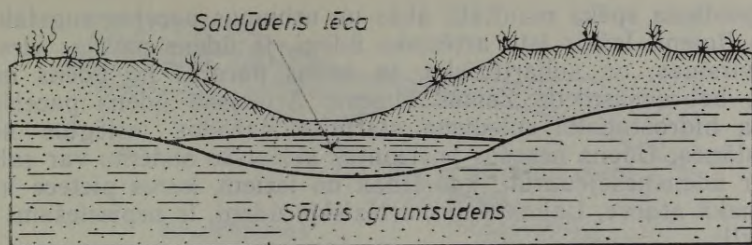
Deluviālie gruntsūdeņi. Šie gruntsūdeņi sastopami kalnu nogāzu pakājēs, kur reljefa kritums mazāks, tāpēc to tecēšanas ātrums neliels. Deluviālo nogulumu biezums kalnu rajonos var sasniegt pat 20 metrus. Ja deluviālie nogulumi veido smilts vai mālsmilts nogulumus, tad var notikt gruntsūdens uzkrāšanās. Tomēr reljefa slīpuma dēļ to krājumi nav lieli. Kalnu rajonos deluviālie nogulumi ir plaši izplatīti, bet Latvijā tie sastopami morēnu pauguru nogāzes lejas daļā un to krājumi ir nelieli.

Smilšaino jūras piekrastu gruntsūdeņi. Augšējo piesātinājuma zonas robežu sauc par gruntsūdens līmeni (spoguļi). Gruntsūdens līmenim ir tendence izlīdzināt līmeni un atkārtot Zemes virsmas reljefa konfigurāciju. Sevišķi labi redzama līmeņa izplatības konfigurācija ir smilšainās jūras piekrastēs, kur izplatītas kāpas. Gruntsūdens līmenis ir viļņots atkarībā no kāpu reljefa (101. att.). Saldūdeņi, būdami ar mazāku blīvumu, it kā peld virs blīvajiem sāļajiem jūras ūdeņiem. Sālsūdeņu sajaukšanās ar saldūdeņiem ir ļoti stipri palēnināta, tāpēc šāds stāvoklis saglabājas ilgi. Nokrišņu ūdeņi, viegli filtrējoties caur smiltīm un sasniedzot sālsūdeni, ar to nesaucas. Tas jāņem vērā, smilšainās piekrastes gruntsūdeņus izmantojot dzeramā ūdens apgādē, proti, pārmērīgi sūkņējot akas, parādās sālsūdens. Šādā situācijā saldūdeni ir grūti atgūt, jo saldūdeņi, būdami vieglāki, peld virs blīvajiem sāļajiem ūdeņiem. Krasta rajonos, attālinoties no jūras, sāļūdeņu dziļums padziļinās un saldūdens slāņa biezums palielinās. Sausa un karsta klimata apstākļos smilšainu jūras piekrastu gruntsūdens līmenis atrodas stipri dziļi, un tāpēc sāļais jūras ūdens sastopams urbumos pat lielākā attālumā no jūras.



101. Smilšainas jūras piekrastes gruntsūdeņi:

1 — saldūdens līmenis, 2 — sālsūdens līmenis.



102. Smilts tuksnešu saldūdens lēca.

Gruntsūdens ekspluatācijas režīms jānosaka pēc stacionāriem atsmelšanas novērojumiem, ņemot vērā attiecību starp saldajiem gruntsūdeņiem un jūras sāļajiem ūdeņiem.

Smilšainu tuksnešu gruntsūdeņi. Tuksnešu un pustuksnešu apgabalos iztvaikošana daudzkārt pārsniedz nokrišņus, tāpēc gaiss ir sauss (relatīvais mitrums 40—60%). Iztvaikošana parasti sasniedz 1000 mm gadā un pat vairāk. Tā, piemēram, pie Arāla ezera iztvaiko 2500 mm gadā, bet nokrišņi — tikai 100 mm. Līdzīgi apgabali ir Vidusāzijas tuksneši (Karakums, Kizilkums), Piekaspijas zemene u. c. Dažos tuksnešos lietus neliet pat vairākus gadus un pēkšņās, spēcīgās lietus gāzes rada virsējo iežu eroziju un erodētā materiāla ieplūšanu beznoteces ielejās, kuras ieslēdz kalnu grēdas. Ūdens trūkuma dēļ šajos apgabalos ieplūstošajām upēm nav hidrogrāfiskā tīkla, piemēram, Kalifornijas Nāves ielejas upēm. Upēm ieplūstot beznoteku ielejās, izveidojas izolēti ezeri, kuri iztvaiko, bet daļa ūdens infiltrējoties baro gruntsūdeņus. Gruntsūdeņi tuksnešos ir stipri mineralizēti. Dažreiz beznoteku ieleju, kā arī upju un kanālu tuvumā smilšainajos nogulumos bagātīgie ziemas nokrišņi un kondensācijas ūdeņi var izveidot saldūdens lēcas (102. att.). Šādas lēcas rodas arī tad, ja ilgāku laiku mākslīgi virsēji apūdeņo kādu teritoriju. Izveidojoties saldūdeņu lēcai, sāļie ūdeņi tiek atspiesti sāņus, tas izsauc sāļo gruntsūdeņu pacelšanos blakus teritorijā un izraisa zemju sasāļošanos. Tuksnešu un pustuksnešu teritorijās ūdens iztvaiko ne tikai no brīvās ūdens virsmas, bet arī no gruntsūdeņiem, ja tie atrodas sekli vai arī ja kapilārā apmale tuvu Zemes virsmai. Tā kā šie kapilārie ūdeņi paceļas virspusē, tiem iztvaikojot, izgulsnējas sāļi, kas cementē virsējo iežu materiālu vai arī veido pulverveidīgu slāni. Ja sāļu izdališanās noris ilgstoši, var veidoties vairāk nekā metru biezš Ca, Mg, Na, karbonātu, sulfātu vai kramskābes sāļu slānis.

ARTĒZISKIE ŪDEŅI

Artēziskie ūdeņi savu nosaukumu ieguvuši no Francijas provinces Artuā (12. gs.), kur daudzās akās ūdens fontānu veidā paceļas virs Zemes virsmas. Šobrīd par artēzisku ūdeni visā pasaulē sauc ūdeni,

kas spiediena spēka rezultātā akās un urbumos paceļas augstāk par ūdens līmeni. Izšķir īsto artēzisko ūdeni, ja ūdens paceļas virs Zemes virsmas, un subartēzisko, ja ūdens paceļas no ūdens nesēj-slāņa, bet nerasniedz Zemes virsmu. Artēzisko ūdens pacelšanos izraisa hidrostatiskā spiediena starpība dažādos ieslēgtos ūdens nesējslāņos. Ūdens nesošos horizontos artēzisko sistēmu var salīdzināt ar ūdensnesējcauruli, kas iznāk no iežiem, kuros pietece ir lielāka nekā atdeve. Lai veidotos artēziskie ūdeņi, ir nepieciešami šādi apstākļi:

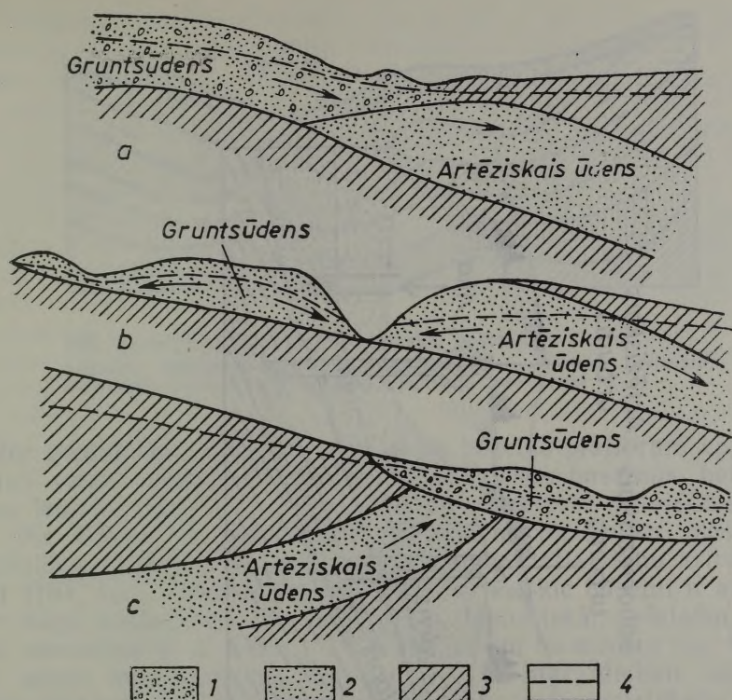
- jābūt ūdens nesējhorizontam, kurš satur ūdeni,
- ūdens nesējhorizontam no augšas un apakšas jābūt nosegtam ar ūdensnecaurlaidīgiem slāņiem, kas aiztur ūdeni, lai nevarētu notikt to noplūde,
- ūdens nesējhorizontam pieplūdes (barošanās) apgabalam jābūt novietotam hipsometriski augstāk par vietu, kur atrodas akas vai noplūdes apgabals.

Artēzisko ūdeņu izplatība, krājumi un režīms ir cieši saistīts ar apgabala ģeoloģisko uzbūvi. Artēzisko ūdeņu sagulumu veidus noteic vairāki ģeoloģiskie faktori:

- iežu slāņu litoloģiskais sastāvs, no kā atkarīga to porainība, ūdenscaurlaidība, atdeve un ietilpība;
- stratigrāfija, ko rada ūdens caurlaidīgo un necaurlaidīgo slāņu sagulumu secība un izvietojums vertikālā virzienā;
- tektonika, kas veidojusi ieža slāņa formu un sagulumu tektoniskajos krokojumos un lūzumos.

Ģeoloģiskajās struktūrās nosaka artēziskā slāņa sagulumu, kurš kopumā veido artēzisko baseinu. Par artēzisko baseinu, kurš var būt dažāda lieluma, sauc iežus ar noteiktu ģeoloģisko struktūru, kuros uzkrājas un zem spiediena cirkulē ūdeņi. Artēziskos baseinos izšķir pieplūdes (barošanās), spiediena un noplūdes (atslogošanās) apgabalus.

Pieplūdes apgabals atrodas vietā, kur artēziskais ūdens nesēj-slānis iznāk Zemes virspusē un noris barošanās no atmosfēras nokrišņiem, virsūdeņiem, upēm, ezeriem u. tml. Pieplūdes apgabals atrodas augstāk par spiediena un noplūdes apgabalu. Parasti pieplūdes apgabals ir reljefa augstākās vietās, bet kalnu apgabalos — uz ūdensšķirtnēm. Šajos apgabalos ūdens neatrodas zem spiediena un bieži ir saistīts ar gruntsūdeņiem. *Spiediena apgabals* aizņem lielāko artēziskā baseina apgabalu. Ūdens horizontiem raksturīgs spiediens, kas atkarīgs no attiecības starp spiedienu slāņu pieplūdes un atslodzes apgabalā. Šajos apgabalos ūdens paceļas virs nesēj-slāņa līdz tā saucamajam pjezometriskam līmenim. Par *pjezometrisko līmeni* sauc līmeni, līdz kuram akās un urbumos paceļas spied-ūdeņi. Pjezometriskais līmenis no pieplūdes līdz atslodzes apgabalam parāda spiedūdeņu pacelšanās augstumu, ko konstatē urbumos. Reālais līmenis atbilst ūdens nesējslāņa virsmai, ko noteic necaurlaidīgais slānis. Ja pjezometriskais līmenis atrodas augstāk par Zemes virsmu, tad ūdeņi fontanē. Pjezometrisko virsmas stāvokli raksturo hidroizopjezu kartes, kurās hidroizopjezas savieno punktus ar vienā-



103. Artēzisko ūdeņu sakars ar gruntsūdeņiem:

a — gruntsūdeņi baro artēziskos ūdeņus, *b* — artēzisko ūdeņu pāreja gruntsūdeņos, *c* — artēziskie ūdeņi baro gruntsūdeņus; 1 — irdenie kvartāro nogulumu ūdens nesējslāņi, 2 — pamatiežu ūdens nesējslāņi, 3 — ūdens balstītājslāņi, 4 — gruntsūdens līmenis.

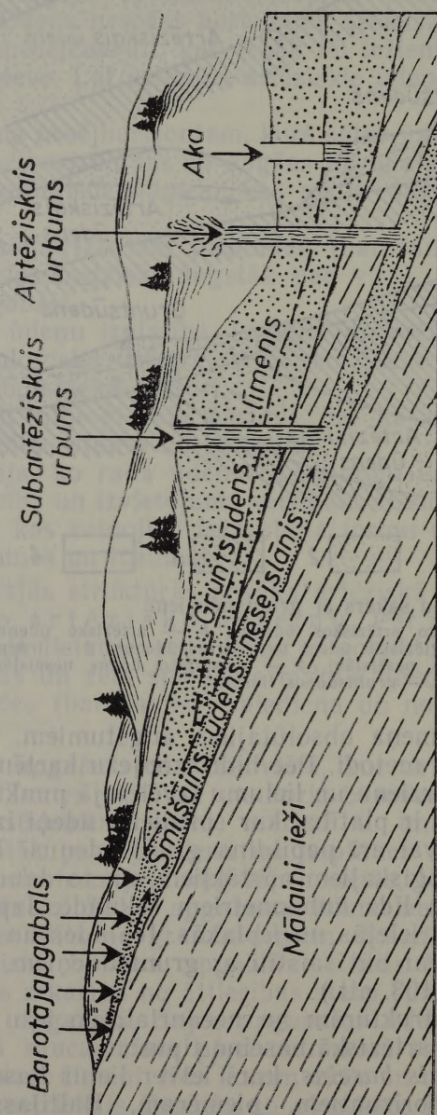
diem pjezometriskā līmeņa absolūtajiem augstumiem. Šos punktus atrod ar interpolācijas metodi. Pēc hidroizopjezu kartēm var noteikt spiedūdeņu plūsmas virzienu un lielumu izvēlētajā punktā.

Atslodzes apgabals ir platība, kur spiediena ūdeņi izplūst Zemes virspusē avotu veidā vai arī papildina gruntsūdeņus. To izplūde ir atkarīga no hidroģeoloģiskajiem apstākļiem, un to daudzums izmainās no dažiem litriem līdz kubikmetriem sekundē. Izplūde parasti noris dažādas ģenēzes ielejās un ieplakās. Ieplūdes un izplūdes apgabalos šie horizonti var būt saistīti ar gruntsūdeņiem, kuri var papildināt to krājumus (103. att.).

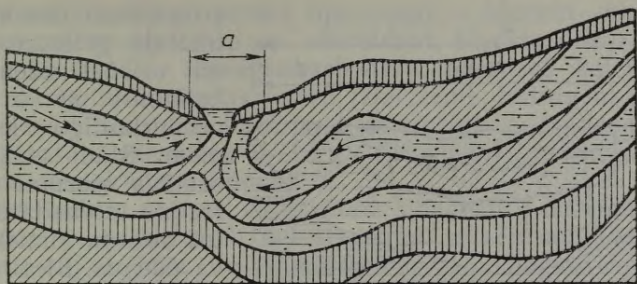
Pēc ģeoloģiskām struktūrām un necaurlaidīgo iežu slāņu saguluma var izdalīt divus artēziskā baseina tipus:

○ *platformu artēziskais baseins*, kurš ietver lielus baseinus ar vairākiem ūdens nesējhorizontiem, piemēram, Baltijas, Maskavas, Dņepras—Donas, Rietumsibīrijas, Austrumsibīrijas u. c.,

○ *starpkalnu ieplaku apgabalu artēziskie baseini*, kuriem intensīvi dislocēti un metamorfozēti iežu slāņu nogulumi. Tiem ir mazāka platība, sastopami piekalnes lūzumos, starpkalnu ielejās, piemēram, Ferganas, Kurinskas, Ču ielejas un citi baseini.



104. Monoklinālās struktūras artēziskais baseins.



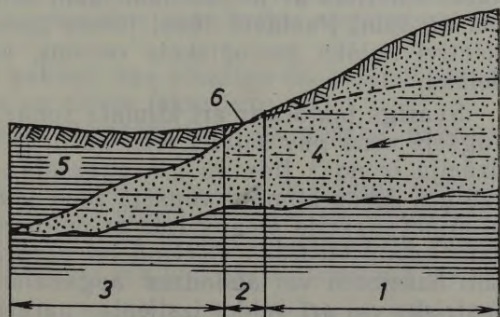
105. Sarežģītas struktūras artēziskie baseini.

Artēzisko horizontu krokojums, upe erodējusi artēziskā horizonta antiklināli, veidojot atslodšanās apgabalu upes ielejā *a*.

Pēc ģeoloģiskās uzbūves artēziskais baseins platformu apgabalos parasti veido vienkāršas struktūras artēziskos baseinus, bet starpkalnu iepakojuma apgabalos — sarežģītas struktūras artēziskos baseinus. Pie vienkāršas struktūras artēziskiem baseiniem pieskaitāmi sinklināles (muldas) baseini, kā arī monoklinālie slāņu krituma baseini (104. att.). Sarežģītas struktūras artēziskie baseini ir ar sarežģītu slāņu krokojumu vai sabīdījumu, tektoniskām plaisām, nomatiem, uzmatiņiem u. c. (105. att.). Artēziskiem baseiniem var būt vairāki ūdens nesējhorizonti, un, ja iztrūkst hidrauliskais sakars ar citiem slāņiem, tad katram slānim ir savs pjezometriskais līmenis.

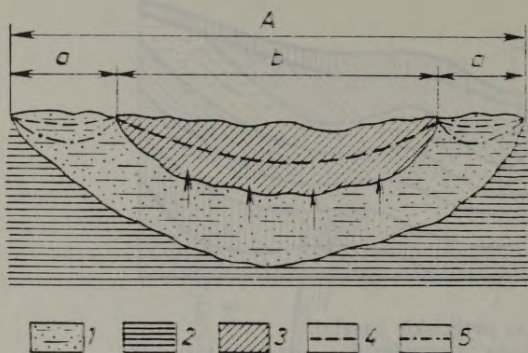
Bez artēziskiem baseiniem ir arī artēziskās nogāzes, kuras sastopamas kalnu rajonos. Tie ir īpatnēji asimetriski baseini ar monoklinālu sagulumu vai izkīlējumu ūdens nesējhorizontam (106. att.). Artēziskajām nogāzēm pieplūdes un atslodzes apgabali atrodas nelielā attālumā. Ir arī baseini bez atslodzes apgabaliem (107. att.), tā saucamie *palēninātās ūdens apmaiņas baseini*.

Pēc ķīmiskā sastāva artēziskie ūdeņi dabā sastopami no saldiem ūdeņiem līdz sāļumiem atkarībā no izšķīdušiem sāļiem ūdens nesējslānī un noslēdzošiem necaurlaidīgiem slāņiem. Ūdens apmaiņas intensitāte atkarīga no ģeoloģiskās struktūras un klimatiskajiem apstākļiem, kā arī no baseina pastāvēšanas ilguma. Ja slāņi satur ģipsi, hlorīdus, karbonātus, tad artēziskie ūdeņi ir ar paugstinātu mineralizācijas pakāpi. Nesāļos iežos ar intensīvu cirkulāciju formējas saldi ūdeņi. Parasti



106. Asimetriskie artēziskie baseini:

1 — artēziskās nogāzes barotājapgabals, 2 — atslodzes apgabals, 3 — spiedienapgabals, 4 — ūdens nesējslāņi, 5 — ūdens balstītājslāņi, 6 — avoti.



107. Bezatslodzes artēziskie baseini:

A — artēziskā baseina robežas;
 a — barošanās apgabali, b — spiedienapgabali ar
 apgrūtinātu atslodzi caur vāji caurlaidīgiem iežiem;
 1 — ūdens nesējslānis ar mineralizētiem ūdeņiem,
 2 — ūdens balstītājslānis, 3 — vāji caurlaidīgie ieži,
 4 — gruntsūdens līmenis, 5 — robeža starp saldi
 un mineralizētiem ūdeņiem.

artēziskiem baseiniem vertikālajā griezumā vērojami vairāki ūdens nesējhorizonti ar attiecīgiem necaurlaidīgo iežu slāņiem. Slāņi atšķiras pēc sastāva, biezuma un cirkulācijas intensitātes, veidojot dažāda ķīmiska sastāva ūdeņus. Bieži artēzisko ūdeņu horizonti ir savstarpēji saistīti un ietekmē cits cita ūdens daudzumu un ķīmisko sastāvu. Bez ģeoloģiskiem apstākļiem svarīga ir arī ūdens apmaiņas intensitāte, kas galvenokārt atkarīga no pieplūdes apgabala un izplūdes apgabala augstumu starpības (hidrodinamikas), iežu ūdens caurlaidības un ci-

tiem faktoriem. Artēzisko baseinu šķēsgriezumā izsekojama hidrodinamiskā zonalitāte, kurā izšķir 3 zonas:

○ augšējā zona, kurā notiek brīva ūdens apmaiņa un kas atrodas pašreizējo klimatisko faktoru ietekmē, ūdens izplūst ielejās un citās negatīvās reljefa formās;

○ vidējā zona, kurā apgrūtināta ūdens apmaiņa, jo apgrūtināta izplūde, pazemes ūdeņus iespaido vienīgi gadsimtiem ilgas klimata izmaiņas;

○ apakšējā zona ar stipri apgrūtinātu ūdens apmaiņu, kur ūdeņi neizplūst un tos neiespaido klimata izmaiņas.

Pēc ķīmiskā sastāva artēziskiem ūdeņiem var arī izdalīt zonas, kuras saistītas ar hidrodinamiskām zonām, bet ne vienmēr ietekmējas no tām. Pastāvot lēnai ūdens apmaiņai, ko parasti norāda arī relatīvi lielāks ģeoloģiskais vecums, ūdens mineralizācija ir stipri lielāka.

Svarīgs faktors ir arī klimata zonas. Mitrā klimata apgabalos, ja augšējā zonā nav sāļaini ieži, ūdeņi ir saldi. Vidējā zonā to mineralizācija ir no 1 līdz 10 g/l, apakšējā — no 10 g/l līdz vairāk par 270 g/l. Arīdā klimata augšējā zonā jau ir vāji mineralizēti ūdeņi un to mineralizācija pieaug līdz ar dziļumu. Hidroķīmisko zonalitāti izdala ūdens kustības virzienā no barošanās apgabala līdz centrālajam baseinam vai atslodzes apgabalam. Izvietojums var būt koncentrisks vai arī veidot izstieptas paralēlas joslas, kā tas ir monoklīnālos artēziskos baseina apgabalos, spiedienam un sāļu koncentrācijai pieaugot virzienā no pieplūdes apgabala uz spiediena vai atslodzes apgabalu. Parasti barošanās apgabala ūdeņi ir saldi — kalcijs hidroģēnkarbonātu ūdeņi, nātrijs hidroģēnkarbonātu vai nātrijs

un kalcija sulfātu, kā arī jauktā tipa ūdeņi — hlorīdu—hidrogēnkarbonātu vai sulfātu—hlorīdu un, visbeidzot, hlorīdu ūdeņi. Plaši pazīstami ir karbonātu, hidrogēnkarbonātu, pārsvarā kalcija (Kislovodska), nātrija hidrogēnkarbonātu (Boržomi), hidrogēnkarbonātu—hlorīdu ūdeņi (Esentuki). Pazīstami un vērtīgi ir sērūdeņraža ūdeņi, kuros H_2S saturs pārsniedz 1—10 g/l (Macesta), to temperatūra var būt no nedaudz grādiem līdz 300 °C.

Artēzisko ūdeņu nozīme. Artēziskiem ūdeņiem ir milzīga tautsaimnieciska nozīme, jo tie plaši tiek izmantoti pilsētu apgādē ar ūdeni, rūpniecības vajadzībām, lauksaimniecībā, balneoloģijā, bromā, joda un citu elementu ieguvē. To izmantošana iespējama tikai tad, ja ūdeņi ir pietiekamā daudzumā. Tas atkarīgs no baseina lieluma, barošanās apgabala, ūdens nesējhorizontu skaita, filtrācijas īpašībām, klimatiskiem apstākļiem un citiem faktoriem, kurus nosaka izpētes un pārbaudes rezultātā. Izpēti veic, izdarot urbumus. Konkrētie artēziskā baseina hidrogeoloģiskie apstākļi nosaka, kādos dziļumos un kurās vietās izdarāmi urbumi. Jāatzīmē, ka ūdens līmeņa grafiskais attēlojums urbumos ir viens no efektīvākiem hidrogeoloģiskās informācijas līdzekļiem, pēc tā var noteikt pazemes ūdens daudzuma maiņas, atmosfēras iedarbību, ūdens nesējhorizonta deformāciju u. tml.

Artēziskos ūdeņus sevišķi intensīvi izmanto dienvidu rajonos, kur lielākie krājumi tiek izlietoti apūdeņošanai (irigācijai). Šajos rajonos zemkopība nav iedomājama bez apūdeņošanas. Pēdējos gados ir tendence apūdeņošanu lietot vairāk uz ziemeļiem humīda klimata zonā. Lielākie artēziskie baseini pasaulē ir Francijā, Anglijā, ASV, Indijā, Ukrainā u. c. Artēzisko baseinu pētīšanu un ražošanu veikuši daudzi pētnieki: A. Semihatovs, G. Kamenskis, N. Tolstihins, I. Zaicevs u. c. Artēziskiem ūdeņiem atšķirībā no citiem pazemes ūdeņiem ir šādas priekšrocības:

- baseinu platības ir milzīgas, ar vairākiem ūdens nesējhorizontiem un lieliem ūdens krājumiem;

- pastāvīgs spiediens akās un urbumos, kas atvieglo to izmantošanu;

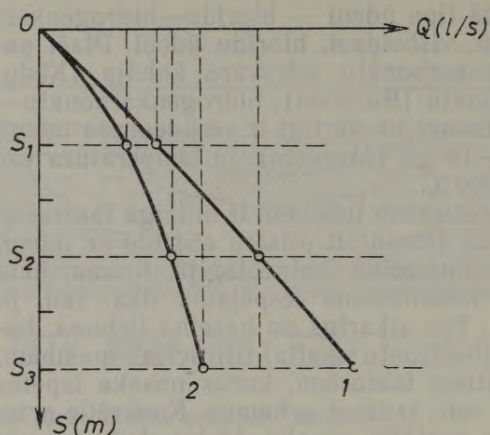
- ūdeņi ir sanitāri droši, jo, ilgstoši lielā attālumā filtrējoties caur iežiem no barotājapgabala līdz spiediena cirkulācijas apgabalam, tie labi izfiltrējas,

- ir noteikta mineralizācijas pakāpe, kas atkarīga no nesējslāņu un balstītājslāņu ķīmiskā sastāva un citiem faktoriem;

- ūdeņiem ir pastāvīga stabila temperatūra, ko nosaka baseina dziļums,

- tā kā artēziskie ūdens krājumi ir lieli, tajos ir pastāvīgs režīms, ko neietekmē klimata maiņas; jāņem vērā, ka tomēr šie ūdens krājumi nav neizsmelami, tāpēc no akām un urbumiem jāņem tik daudz ūdens, cik ļauj to dabiskie resursi, lai krājumi spētu papildināties un neizsīktu.

Urbuma ūdens izdevi raksturo *īpatnējais debīts*, kas ir ūdens daudzums, ko sūkņējot iegūst no akas vai urbuma, ja līmenis pazeminās par 1 metru. Īpatnējais debīts atkarīgs no ūdens nesējslāņa biezuma, filtrācijas koeficienta, no barotājapgabala un akas vai urbuma



108. Akas debita atkarība no ūdens līmeņa pazeminājuma:

1 — artēziskā aka, 2 — gruntsūdeņu aka. Q — akas debits sekundē, S — līmeņa pazeminājums.

relatīvā augstuma. Sakarībai starp akas vai urbuma debītu un līmeņa pazemināšanos ir liela praktiska nozīme, jo uz to pamatojas artēzisko ūdeņu vispārīgā debīta aprēķināšana

$$Q = q \cdot s,$$

kur Q — akas debits, l/sek.;

q — īpatnējais debits, l;

s — līmeņa pazeminājums sūkņēšanas rezultātā, m.

Šo sakarību var attēlot grafiski, un tas dod priekšstatu par ūdens bagātību

(108. att.). Ņemot vērā īpatnējo debītu, dažās lielpilsētās artēziskie ūdeņi tiek izmantoti tik intensīvi, ka notiek ievērojama spiedlīmeņa pazemināšanās, kas rada zemes nosēšanos, ceļu sēšanos, apūdeņošanas kanāla un vadu bojājumus. Šādi procesi bieži novērojami Meksikā, ASV, Venecuēlā, Ukrainā u. c. Tā vienā no pasaules lielpilsētām Mehiko, kas celta uz porainiem vulkāniskajiem iežiem (porainība 70%), kuri bagāti ar ūdeņiem, tos intensīvi izmantojot, tika palielināts spiediens uz iežu skeletu, līdz ar to grunts kļuva spiedienneizturīga un sākās slāņu deformācija, zemes virsas nosēšanās, kas savukārt izraisīja celtnu sabrukšanu. Pašreiz šādu parādību novēršanai iekārto speciālas sūkņu stacijas, kuras zem spiediena (>300 atmosfēras) iežus pilda ar jūras ūdeni, tādējādi mazinot grunts nosēšanos. Artēziskie ūdeņi negatīvi ietekmē dažādu pazemes objektu (metro, šahtu, tuneļu u. c.) celtniecību, sevišķi tad, ja celtniecība noris zemāk par artēzisko ūdeņu pjezometrisko līmeni, jo ūdeņu lielā pieplūde apgrūtina celtniecības darbus. Tā, būvējot Simplona tuneli (19,7 km), kas savieno Šveici ar Itāliju, pieplūde sasniedza 1200 l/s.

AVOTI

Par avotiem sauc pazemes ūdeņu dabiskas izplūduma vietas uz Zemes virsas. Avoti var izplūst kādā atsevišķā vietā vai arī veidot dažāda garuma daudzu avotu izplūdes joslu, piemēram, upju ielejās, kas izraisa nogāžu pārpurvošanos.

Avotu ūdens izplūdes daudzums vai debīts ir no dažām litra daļām līdz vairākiem kubikmetriem sekundē. Ūdens temperatūra var būt no 0° līdz 100°C un mineralizācijas pakāpe — no sālīdiem ūdeņiem līdz sāļjumiem.

Ja avotus baro bezspiediena ūdens, tos sauc par *kritošiem* jeb *bezspiediena avotiem*. Ja avotu izveidošana saistīta ar spiedienūdeņiem, tos sauc par *kāpjošiem* jeb *spiedienūdens avotiem*. Avotus vēl iedalā pēc šādām pazīmēm:

- pēc to piederības dažādiem pazemes ūdeņu veidiem,
- pēc režīma,
- pēc debīta izmaiņas pakāpēm,
- pēc temperatūras,
- pēc ķīmiskā sastāva.

Parasti avoti izveidojas vietās, kur kādu ģeoloģisko faktoru ietekmē pazemes ūdeņu nesējslāņi atsedzas vai caur plaisām savienojas ar zemes virsu. Avotu rašanos veicina šādi ģeoloģiskie faktori:

- upes ielejās, gravās, balkās, ezeru ielejās šķērsotā reljefā ir atsegti ūdens nesējhorizonti;
- dažādas ģeoloģiskas struktūras (antiklināles, nomati, atklātās plaisas u. c.),
- intruzīvo procesu rezultātā izveidotās daikas, plaisas u. c.

Pēc pazemes ūdeņu barošanās veida izšķir avotus, kurus baro aerācijas ūdeņi, gruntsūdeņi, plaisu ūdeņi, artēziskie ūdeņi, karsta ūdeņi vai mūžīgā sasaluma ūdeņi.

Aerācijas ūdeņu avotiem ir raksturīgas krasas debīta, temperatūras, sastāva maiņas, ko nosaka vietas meteoroloģiskie apstākļi.

Gruntsūdens avoti jeb erozijas avoti parasti izveidojas, ūdens nesējhorizontiem atsedzoties upju ielejās, gravās, ezeru ielejās (109. att.). Upju ielejās gruntsūdens avoti bieži izplūst arī no aluviāliem nogulumiem, īpaši tad, ja ir iežu sastāva maiņas. Dažreiz tie izplūst arī no upju gultnes.

○ Negatīvās reljefa formās, ja mainās labi caurlaidīgi ieži ar vāji caurlaidīgiem iežiem, izplūst *kontakta avoti*. Kontakta avoti no gruntsūdeņiem rodas arī iežu stratigrāfiskās izķīlēšanās rezultātā, ja ūdens nesējhorizonta šķērsgriezums samazinās.

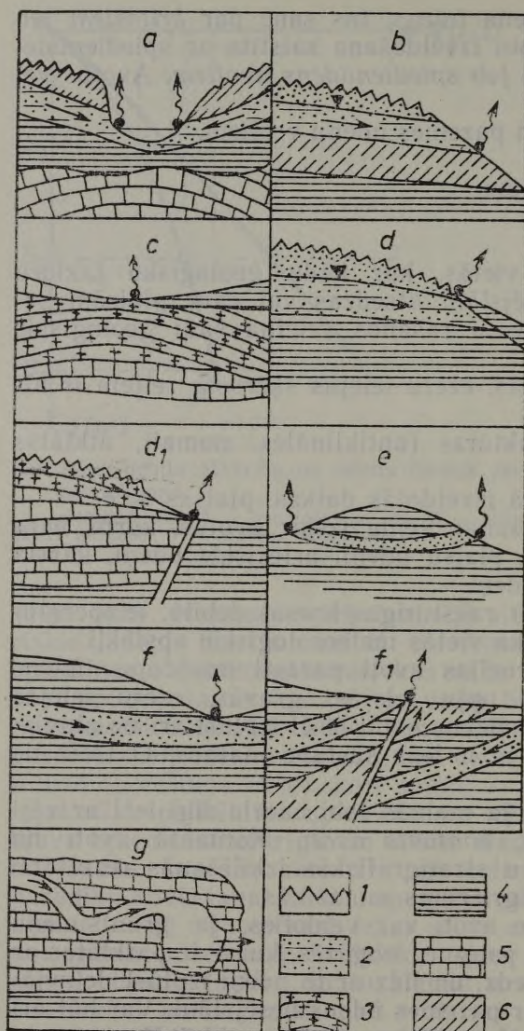
○ *Pārplūduma jeb ekranētie* avoti var veidoties, ja gruntsūdeņu avoti izplūst upju ielejās vai pauguru nogāzēs, kuras ir pārklātas ar deluvija slāni, kas avotu nosedz, un līdz ar to ūdeņi izplūst deluviālās nogāzes pakājē zemāk par pazemes ūdens nesējslāni. Var būt arī tektonisko procesu izveidotie ekranētie avoti, kas veidojušies nomatu vai uzmatu radīta šķēršļa — necaurlaidīgā slāņa izteces vietā.

Šķēršļus var radīt arī iežu faciālās izmaiņas ūdens nesošajos horizontos. Vietās, kur ūdens necaurlaidīgais slānis ir ieliekts, gruntsūdens līmenim paaugstinoties, virs tā veidojas periodiskas darbības pārplūstošais avots.

Plaisu avota ūdeņi var būt ar gruntsūdeņiem vai artēziskiem ūdeņiem.

○ *Gruntsūdeņu plaisu avoti* parasti veidojas magmatisko iežu, nogulumiežu un metamorfo iežu plaisu tīklā, kuras izveidotas šo iežu dēdēšanas rezultātā. Šiem avotiem parasti ir mazs ūdens debīts.

○ *Artēzisko plaisu avotu ūdeņi* sastopami galvenokārt tektoniskas dabas plaisās, kur lielu lomu spēlē hidrostatiskais spiediens, gāzu



109. Avotu tipi:

a — erozijas avots, b — kontakta avots, c — pārplūdumu avots, d — ekranētais avots, d₁ — lejupejošais tektoniskais plaisu ekranētais avots, e — pārplūstošais avots, f — avots ar kāpjošo artēzisko ūdeni, f₁ — avots ar tektonisko plaisu kāpjošo artēzisko ūdeni, g — sifonavots; 1 — augsne, 2 — ūdens nesējslānis (smilts), 3 — plaisains ūdens nesējslānis (kaļķakmens), 4 — ūdenscaurlaidīgs māls, 5 — kaļķakmens, 6 — mālsmilts.

temperatūras, ķīmiskā sastāva un citus mērijumus. Avotiem, kurus baro gruntsūdeņi, gada laikā parasti ir 2 debita maksimumi (pavasara un rudens) un 2 minimumi.

spiediens (Gruzijā) vai pat ūdens tvaiku spiediens (Islandē). Šie avoti parasti ir ar stabilu un lielu ūdens debitu.

Artēzisko ūdeņu avotos ūdens atrodas zem spiediena, un tie saistīti ar artēziskiem baseiniem vai artēziskām nogāzēm. Artēzisko baseinu teritorijās avoti iztek upju ielejās, gravās, ieplakās, dažādas ģenēzes slāņu kontakta zonās, daikās. Palielināta spiediena rezultātā artēziskie avoti var būt spēcīgi, ar lielu debitu.

Karsta ūdeņu avoti ir dažādi pēc ūdens debita, režīma un sastāva. Karsta izplatības apgabalos var būt ģipša, kaļķa vai dolomīta slāņi. Karsta avota ūdeņiem ir periodisks raksturs, kas atkarīgs no nokrišņu vai citu ūdeņu pieplūduma. Karsta rajonos raksturīgi *sifonavoti*, kuru alai ir sifona forma, un, ūdens līmenim paceļoties augstāk par sifona izliekumu, avots darbojas, bet, līmenim pazeminoties, tas izsīkst.

Mūžīgā sasaluma avoti apskatīti nodaļā par mūžīgo sasalumu.

Avoti dažādu apstākļu dēļ dažādos laika posmos maina savu režīmu, debitu, sastāvu, temperatūru, spiedienu. Šīs izmaiņas parāda ūdens nesējslāņa režīms, kurš regulāri jānovēro, veicot debita,

Pēc režīma M. Aļtovskis izšķir

- *pastāvīgi darbojošos avotus*, kuri darbojas ilgus gadus,
- *sezonālos avotus*, kuri darbojas tikai pavasarī sniega kušanas laikā, pēc lietavām; sezonāli ir atkušņa avoti sasaluma rajonos.

Pēc citas klasifikācijas izšķir *ritmiski darbojošos avotus*, kuriem spiediens un debīts izmainās zināmā laika ritumā, piemēram, geize-riem.

Atsevišķi jāizdala *mākslīgie avoti*, kuru darbība ir cilvēka izraisīta. Tie rodas ūdensvada noplūdes vietās, aizsprostu vai upju bēfjos u. tml.

Avotu režīma novērojumiem ir liela praktiska un teorētiska nozīme, jo pēc tiem var spriest par ūdens nesējslāņa debītu, kā arī fizikālajām un ķīmiskajām īpašībām.

Avota debīta noteikšanai lieto

- *tilpuma metodi*, kas nosaka, cik ilgā laikā piepildīts zināmā tilpuma trauks,

- *pārgāznes metodi*; ja debīts pārsniedz 1 l/s, var lietot trijstūra vai trapeces veida pārgāzni.

Lai avotu rekomendētu pastāvīgai ūdens izmantošanai, viena hidroloģiskā gada laikā mērījumi jāizdara vismaz 10 reizes mēnesī, iegūtie rezultāti jāattēlo grafiski. Ja ir zināmas likumsakarības starp avotu patēriņu, nokrišņiem, temperatūru un gaisa mitrumu, pēc grafika var analizēt debīta izmaiņas. Tās var rasties saimnieciskās darbības rezultātā, pazemes ūdens ieguves rezultātā, kas var izsaukt debīta samazināšanos vai pat pilnīgu izbeigšanos. Pēc debīta izmaiņu pakāpes izšķir piecas avotu grupas (32. tabula).

Pastāv arī avotu grupējums pēc debīta (33. tabula), lai zinātu to ekspluatācijas iespējas. Debīts ir svārstīgs.

Avotu mineralizācijas pakāpe. Avotus, kuru ūdens masā sāļi ir no 1 līdz 50 g litrā, sauc par *minerālūdeņiem*. No saldūdens avotiem tie atšķiras ar īpašu sāļu un gāzu sastāvu. Minerālavoti satur ogļskābi (0,25 g/l), sērūdeņradi, bromu, jodu, litiju, bāriju, dzelzi. Minerālavotus izmanto ārstniecībai, jo daudzi elementi ir bioloģiski aktīvi. Latvijā izplatītākie ir sērūdeņraža avoti (sērūdeņraža—sulfātu—kalcija ūdeņi). Tie sastopami Ķemeros, Baldonē, Bārbelē u. c. Minerālavoti ar paaugstinātu dzelzs saturu sastopami Siguldā, Staicelē, tie atstāj rūsganu krāsojumu izlietnēs, vannās un

32. tabula

Avotu grupējums pēc debīta izmaiņu pakāpes

Grupas Nr.	Avoti	Minimālā un maksimālā debīta attiecība
1	Ļoti pastāvīgi avoti	1 : 1
2	Pastāvīgi avoti	No 1 : 1 līdz 1 : 2
3	Nepastāvīgi avoti	No 1 : 2 līdz 1 : 10
4	Ļoti nepastāvīgi avoti	No 1 : 10 līdz 1 : 30
5	Visnepastāvīgākie avoti	1 : 30 un mazāk

Avotu klasifikācija pēc debīta

Tips	Klase	Debits, l/s
I	1	0,001
	2	0,001—0,01
	3	0,01—0,1
	4	0,1—1,0
II	5	1,0—10
III	6	10—100
	7	100—1000
	8	1000—10 000
	9	10 000—100 000
	10	>100 000

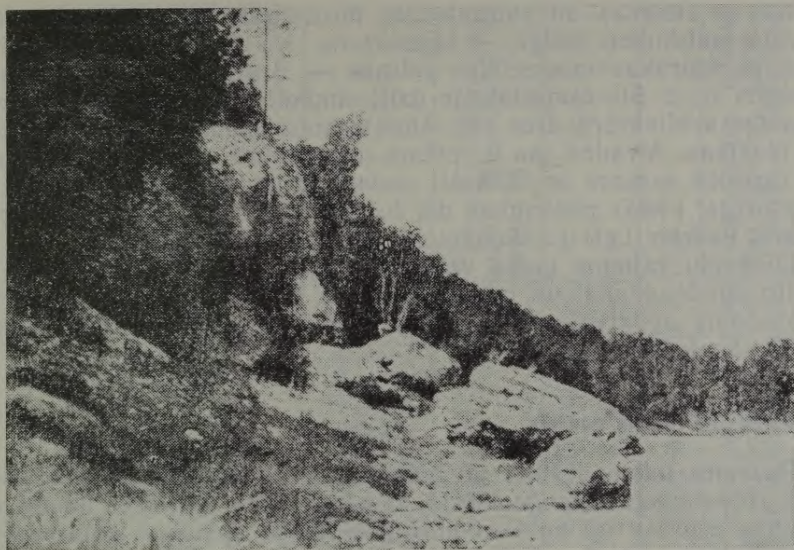
citros traukos. Dzelzi saturošiem ūdeņiem nonākot zemes virspusē, saskarsmē ar gaisa skābekli sāk izgulsnēties recekļainas, sarkanbrūnas dzelzs hidroksīda nogulsnes. Ja tās tiek sanēstas vienviet, rodas nelielas minerālkrāsu (okeru) iegulas, kam ir arī praktiska nozīme. Avotos izplūstot ar kalcija hidroģēnkarbonātu bagātiem ūdeņiem, mainās gāzu parciālais spiediens un izgulsnējas kalcija karbonāti — veidojas *irdenie* vai *saistītie saldūdens kaļķi*. Latvijā avotkaļķi sastopami atradnēs, kuras veidojušās, cietiem hidroģēnkarbonātu ūdeņiem avotu veidā izplūstot zemes virspusē. Ja avotkaļķi veidojušies strauji tekošā ūdenī, tie ir stiprāk sacietējuši ap avota izteces vietu. Strauji tekošais cietais avota ūdens, saskaroties ar gaisu, kā arī strauji mainoties spiedienam un temperatūrai, ātri zaudē CO₂ — ūdenī veidojas kaļķa graudiņi un rodas *saistītie saldūdens kaļķi jeb šūnakmens*. Avotu ūdeņiem aizplūstot tālāk uz reljefa zemākām vietām, izveidojas *irdenie un graudainie saldūdens kaļķi jeb plāvu kaļķi*.

Izdala vairākus avotkaļķa atradņu morfoloģiskos tipus (pēc I. Danilāna):

- krauju iegulas,
- nogāžu iegulas,
- pakājes iegulas,
- kupolveida spiedienūdeņu veidotās iegulas,
- avotkaļķu iegulas, kuras aizpilda reljefa pazeminājumus.

Krauju iegulas veidojas stāvās upju ieleju kraujās (bijusī Staburaga 18,5 m augstā atradne). No krasta kraujas augšdaļas dolomītiem izplūstošā avota ūdenī noplūstot izveidoja saistīto saldūdens kaļķu izcilni, kura gabali laiku pa laikam nolūza un uzkrājās kraujas pakājē. Šādas iegulas ir retas, un tās ir vairāk nekā krāšņs izpētes objekts (110. att.).

Nogāžu iegulas veidojas stāvās un garās ieleju nogāzēs, avots atrodas nogāžu augšdaļā vai vidusdaļā. Avotkaļķu nogulumu aizpilda nogāzes nelīdzenumus, biezākos nogulumus veidojot lejasdaļā. Sajās iegulās avotkaļķi parasti ir stipri saistīti, bet ir arī lēcas, irdenie un gabalainie saldūdens kaļķi. Nogāžu iegulas ir dažāda bie-



110. Staburags.

zuma un parasti sastopamas labi izveidotā erozijas reljefā ar dziļām ielejām. Eksploatējot šīs iegulas, tekošie avotu ūdeņi nerada traucējumus. Tādas iegulas sastop Cēsu rajonā (Bušlejas, Veismaņu, Jaunraunas u. c.). Pašreiz šādu iegulu veidošanās novērojama Vai-
ves ielejā pie bijušām Dāvida dzirnavām, kur izplūst ap 35 avoti (31 l/s). Tur vērojama kalcija karbonāta un dzelzs hidroksīda izgulsnēšanās, kas izraisa kaļķa krāsošanos rūsganā krāsā.

Pakājes iegulas sastop ieleju un nogāžu pakājēs, kas veidojušās spiedienūdeņu avotu vai gruntsūdeņu avotu darbības rezultātā. Tās veido t. s. avotu iznesu konu; saldūdens kaļķi parasti ir rupjgraudaini un pie avotiem veido šūnakmens kārtas vai gabalus. Iegulas ir nelielas, un to krājumi parasti nepārsniedz 1000 m³. Segkārtu veido kūdra, retāk — limonīts. Šādas iegulas izmantošana grūtības nerada. Tādas iegulas ir Ozolmuižas un Slampes iegulas, kur avotu iznesu koni saplūduši kopā gandrīz 7 km garā joslā.

Kupolveida iegulas veidojas reljefa lūzuma vietās, nogāzēs un pauguru virsotnēs. Kupoli var sasniegt pat 8—9 m augstumu un reljefā ir labi redzami (Rāvās pie Durbes). Šādas iegulas veido spiedienūdeņu avoti. Saldūdens kaļķi ir rupjgraudaini un gabalaini, un to krājumi nepārsniedz 1000 m³, bet ieguve ir ērta. Tos ieteicams atstāt kā dabas izpētes objektus.

Avotkaļķu iegulas, kas aizpilda reljefa pazeminājumus, veidojas dažādas izcelsmes reljefa pazeminājumos, kurus var aizpildīt daļēji vai pilnīgi. Tā, piemēram, Lībānu atradne Cēsu rajonā aizpilda Lībānu gravu un tai pieguļošās Bušas senlejas daļu. Arī pazīstamo Allažu šūnakmens atradni var pieskaitīt šī tipa atradnēm. Šādas

iegulas ir lielākās un saimnieciski nozīmīgākās, jo tajās ir stipri saistītie saldūdens kaļķi — šūnakmens. No šūnakmens Latvijā ir veidotas vairākas memoriālas celtnes — Brāļu kapi, Brīvības piemineklis u. c. Šis materiāls ir dziļi simbolisks Latvijai un unikāls pasaules arhitektūrā. Bez tam šūnakmenim piemīt īpatnējas fizikālās īpašības. Atradnē tas ir miksts un sākumā viegli apstrādājams, bet ilgstošā saskarē ar skābekli sacietē, kļūst mehāniski izturīgs un salizturīgs. Lielās porainības dēļ to grūti tīrīt un tas ātri apaug ar sūnām. Pašreiz Latvijā šūnakmens krājumi ir niecīgi.

Dienvidu rajonos īpaša vērtība ir saldūdens avotiem, kurus izmanto apūdeņošanai un pilsētu apgādei ar ūdeni. Tā Armēnijā lielākajā daļā apdzīvoto vietu izmanto saldūdens avotu ūdeņus, kuru debīts sasniedz pat 50 l/s.

PAZEMES ŪDENS REŽĪMS

Pazemes ūdens režīma un balansa izpēte ir viens no svarīgākajiem uzdevumiem hidroģeoloģijā, kas ļauj atklāt pazemes ūdeņu veidošanās procesu un aplūkot hidroģeoloģisko apstākļu izmaiņas dabiskā vidē un cilvēku darbības rezultātā. Ar pazemes ūdens režīmu saprot procesu un parādību kopumu laikā un telpā, kurā izmainās pazemes ūdens līmenis, caurtece, debīts, hidrauliskais līmenis, tecēšanas ātrums, temperatūra, fizikālās īpašības, ķīmiskais sastāvs. Izšķir dabisko un mākslīgo pazemes ūdens režīmu.

Par *dabisko pazemes ūdens režīmu* sauc dažādo faktoru kopumu, kas saistīts ar līmeņa, caurteces, debīta, sastāva un dažādo fizikālo īpašību pārmaiņām zināmā laika posmā.

Mākslīgais pazemes ūdens režīms veidojas mākslīgi radīto faktoru darbības rezultātā, piemēram, ceļot dažādas hidrotehniskās būves, realizējot plašus nosusināšanas vai apūdeņošanas pasākumus utt. Izšķir arī nelielas pazemes ūdens režīma mākslīgās izmaiņas, kaut arī vēl saglabājas dabiskais režīms.

Pazemes ūdens režīma tipi. Pazemes ūdens režīma izpētē svarīgi ir daudzgadīgi pētījumi. Pazemes ūdens režīms veidojas dažādu faktoru ietekmē, kurus var apvienot 6 ģenētiskos tipos: ģeoloģiskais, kosmiskais, klimatiskais, bioloģiskais, hidroloģiskais un mākslīgais. Pazemes ūdeņu režīmu katrā konkrētā gadījumā nosaka dažādu faktoru kopdarbība, kurā noteicoši viens vai vairāki vadošie faktori. Pēc darbības ilguma izšķir lēnos (ģeoloģisko periodu), daudzgadīgos, sezonālos režīmus, kuru darbība ir dažāda (34. tabula).

Ģeoloģiskais pazemes ūdeņu režīms. Tas ir pazemes ūdeņu režīms, ko radījuši tektoniskie procesi, kuru rezultātā izmainās reljefs un ūdens nesējslāņa litoloģiskais sastāvs.

○ Šķīstošos iežos veidojas *karsta ūdens režīms*, kurā dominē karsta un plaisu ūdeņi.

○ Vulkāniskajos apgabalos veidojas *vulkānisko apgabalu ūdens režīms*.

○ Zemestrīču rajonos pastāv *zemestrīču apgabala ūdens režīms*, tā īpašības atkarīgas no apgabala ģeoloģiskās uzbūves.

Pazemes ūdens režīmu ietekmējošo faktoru iedalījums pēc to darbības ilguma

Ģenētiskais tips	Faktori			epizodiskie
	lēnie	daudzgadīgie	gada (sezonas)	
Ģeoloģiskais	Ģeostuktūru maiņas (tektoniskās dabas), Zemes siltuma izmaiņas, ūdens nesējhorizonta litoģiskā sastāva, blīvuma, cementācijas izmaiņas, reljefa izmaiņas	Jauntektoniskās kustības, litoģiskā sastāva izmaiņas ar ūdens caurlaidības izmaiņām, karsta, erozijas, eolie un sufozijas procesi, aerācijas zonas dažādie procesi	Karsta, erozijas, eolie un sufozijas procesi, ar Mēness un Saules pievilksanas spēka likumbām saistītie procesi	Zemestrīces, vulkānisms, nogruvumi
Kosmiskais	Saules aktivitātes maiņas (elektromagnētiskā izstarojuma, gaismas un radio)		Saules un Mēness pievilksanās, Zemes ass stāvokļa izmaiņas, kas nosaka klimatiskās zonas	
Klimatiskais	Klimatiskās izmaiņas	Meteoroloģisko faktoru maiņa (atmosfēras spiediena, temperatūras, iztvaikošanas)		Stipras atmosfēras spiediena, temperatūras izmaiņas
Bioloģiskais (augšnes)	Augsnes veidošanās procesi, dažādās augu sabiedrības	Augsnes veidošanās procesi, kuri izmaina kokaugu asociāciju	Sezonālā augu transpirācija	
Hidroloģiskais	Jūras, ezeru, upju režīms		Jūras vētras, ledāja darbība	
Mākslīgais		Nosusināšana (pilsētu asfaltēšana, ūdens savākšana u. c.), apūdeņošana, ūdens krātuves, rūpniecisko ūdeņu novade, irrigācija utt.	Teritorijas nosusināšana un apūdeņošana, meža joslu ierīkošana, augsnes struktūras izmaiņas	Nosusināšana (celtniecības objektos), nogruvumi sakarā ar ūdens iegūvi u. c.

Pazemes ūdeņu kosmiskais režīms. Tas veidojas saules aktivitātes izraisīto ūdens sastāva maiņu rezultātā. Gravitācijas spēku izraisītie jūras paisuma un bēguma procesi piekrastes zonās rada savu paisuma un bēguma pazemes ūdens režīmu.

Klimatiskais pazemes ūdeņu režīms. Tas raksturīgs pazemes ūdeņiem, kuru režīms atkarīgs no klimata. Visspilgtākais piemērs ir aerācijas zonas ūdeņi un arī gruntsūdeņi. Atkarībā no mitruma daudzuma izšķir

- *pārmērīga mitruma apgabala pazemes ūdeņu režīmu,*
- *nestabila mitruma apgabala pazemes ūdeņu režīmu,*
- *nepietiekama mitruma apgabala pazemes ūdeņu režīmu.*

Gruntsūdeņiem šajos apgabalos ir ciešs sakars ar nokrišņu daudzumu un to sezonālo sadalījumu. Pastāv gruntsūdens līmeņa maksimums, kas iestājas pavasaros, citreiz ziemā vai vasarā. Lielākā amplitūda pārmērīga mitruma apgabala ūdens režīmā ir pavasarī un rudenī, bet minimums — ziemā un vasarā. Bez tam gruntsūdeņu klimatisko režīmu stipri ietekmē temperatūra un tās svārstības, kas dažādās klimata zonās ir stipri atšķirīgas. Pazemes ūdeņu režīma svārstības var būt epizodiskas, diennakts un ilggadējas.

Bioloģiskais pazemes ūdeņu režīms. Šo režīmu izmaina augsnes veidošanās procesi, kuri, noritot ilgstoši, pat izmaina dažādas augu sabiedrības. Īpaši sausa klimata apgabalos novēro augu transpirācijas izraisītās gruntsūdens līmeņa svārstības, pat līdz 10 cm dienakti. Augu transpirācija ir pastiprināta pavasarī un vasarā, tas ietekmē arī pazemes ūdeņu režīmu.

Hidroloģiskais pazemes ūdeņu režīms. Pazemes ūdeņi, it sevišķi gruntsūdeņi, dabā bieži saistīti ar dažādiem virsūdeņiem — upēm, ezeriem, jūrām un mākslīgām ūdenstilpēm. Šie ūdens objekti baro pazemes ūdeņus vai arī paši barojas no tiem. Pavasaros un rudenī, kad upju, ezeru līmeņi ir augsti, tie intensīvi baro gruntsūdeņus, bet ziemā — dažreiz barojas no pazemes ūdeņiem. Vislielākā ūdens režīma maiņa gruntsūdeņos novērojama dažādu ūdens objektu tuvumā. Jo tālāk no upes, ezera, jūras un mākslīgās ūdenstilpes, jo gruntsūdens līmeņa svārstības ir mazākas. Šīs svārstības ietekmē arī pieguļošās teritorijas iezu sastāvs. Tāpēc atsevišķi var izdalīt *hidroloģisko gruntsūdeņu režīmu*, kas saistīts ar upēm, jūrām, ezeriem un mākslīgām ūdenstilpēm.

Mākslīgais pazemes ūdens režīms. Šo pazemes ūdeņu režīmu galvenokārt nosaka cilvēka saimnieciskā darbība, kas īpaši spilgti izpaužas intensīvi apūdeņojamos vai nosusināmos apgabalos.

- Apūdeņojamajās teritorijās izšķir *irigācijas* un *uzstādināšanas sezonālo režīmu*,
- nosusināmajās teritorijās ir *patstāvīgais* un *periodiski drenējošais režīms*, kas saistīti ar upēm, jūrām, ezeriem, mākslīgām ūdenstilpēm.

PAZEMES ŪDENS REŽĪMU PĒTĪŠANA

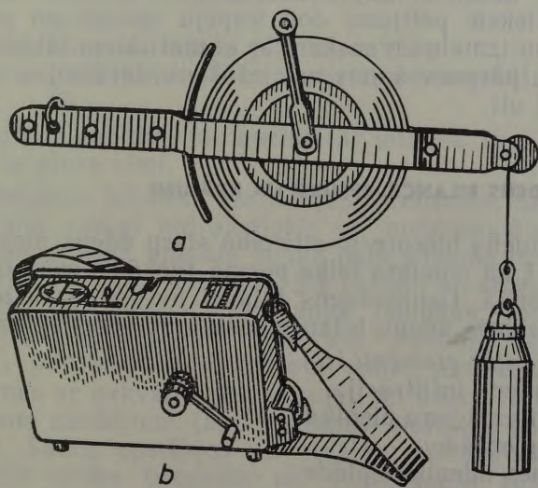
Pazemes ūdeņu pētīšanai ir organizēts speciāls hidroģeoloģisko staciju tīkls un atsevišķi novērošanas punkti, kuri izvietoti raksturīgākos reģionālos un specializētos rajonos. To galvenais uzdevums ir veikt pazemes ūdens režīma pētījumus — pazemes ūdens veidošanās, daudzuma un kvalitātes pētījumus, prognozēt hidroģeoloģisko apstākļu izmaiņas dabiskos vai arī mākslīgi radītos cilvēku saimnieciskās darbības apstākļos. Šai nolūkā ierīko speciāli urbtas akas un seklas raktās akas, kuras izvieta, vadoties pēc reljefa formām un hidroģeoloģiskiem apstākļiem.

Novērojumu shēmā iekļauj arī virszemes objektus, avotus, upes, ezerus. Pazemes ūdens režīma pētījumus izdara vienlaicīgi ar meteoroloģiskiem un hidroloģiskiem novērojumiem, lai varētu noteikt dažādo ārējo faktoru ietekmi uz pazemes ūdens īpašībām.

Pētījumos tiek noteikts pazemes ūdens līmenis, temperatūra, ķīmiskais un gāzu sastāvs, avotu un aku debits, bilance, artēzisko ūdeņu spiediens un šo īpašību izmaiņas periodiskos mērījumos. Pazemes ūdens līmeņa un debīta izmaiņas rodas, galvenokārt ūdenim pieplūstot vai noplūstot no ūdens nesējslāņiem. To ietekmē arī atmosfēras spiediens, upes, ezeru ūdeņi, līmeņa svārstības un citi faktori. Jāizšķir īstenās un šķietamās pazemes ūdens līmeņa svārstības, ko mēra ar speciālām elektroierīcēm (111. att.).

○ *Īstenās pazemes ūdens līmeņa svārstības* saistītas ar pazemes ūdeņu pārmaiņām visā ūdens nesējslānī.

○ *Šķietamās pazemes ūdens līmeņa svārstības* aptver tikai atsevišķu aku vai citu objektu līmeņa izmaiņas, ko nosaka dažādi



111. Pašrakstītā elektroierīces:

a — hidroģeoloģiskā rulete, *b* — urbuma ūdens elektro-mērīšanas ierīce.

apstākļi, kā gaisa spiediena maiņas aerācijas zonā, augu transpirācija, zemes virsas ūdeņu infiltrācija un citi.

Pazemes ūdens līmeņa svārstību novērojumi var būt epizodiski, diennakts, sezonāli, gada vai ilggadēji. Parasti gruntsūdens līmeņa svārstības novēro 10 reizes mēnesī, artēziskiem ūdeņiem — 5 reizes mēnesī. Palu laikā vai spēcīgās lietavās to dara 3 reizes diennaktī. Ja līmeņa svārstības diennaktī pārsniedz 1 m, mērījumus veic ik pēc stundas. Diennakts režīma izmaiņas parādās nedziļos gruntsūdeņos, tās galvenokārt izsauc iztvaikošana un transpirācija, kas nenotiek naktī. Līdz ar to naktī notiek gruntsūdens līmeņa paaugstināšanās, kas mežos sasniedz pat 15 cm.

Sezonālo pazemes ūdeņu režīmu ietekmē cikliskie meteoroloģiskie faktori (temperatūra, nokrišņi, iztvaikošana un upes līmeņa maiņas). Gruntsūdeņos to amplitūda humīdā klimata zonā sasniedz pat 15 m. Parasti šī amplitūda ir 2—3 metri.

Gada režīmā izdala sausos un mitros gadus, kuri atkārtojas ik pēc 2 vai 3 gadiem. Tas ietekmē gruntsūdeņus un artēziskos ūdeņus, dažreiz izraisa izmaiņas pat ķīmiskajā sastāvā. Ilggadējie režīma pētījumi ietver 10—15 gadus. Paralēli līmeņa mērījumiem tiek izdarīti temperatūras mērījumi, specializētos urbemos lietojot speciālus termometrus. Pazemes ūdeņu temperatūra ir atkarīga no klimata, biokīmiskiem procesiem, virszemes ūdeņu pieteces, bet dziļākos slāņos — galvenokārt no Zemes iekšējā siltuma un ūdens kustības. Pazemes ūdeņos ķīmiskā sastāva izmaiņas atkarīgas no dažādiem procesiem, kas saistīti ar ūdens pieplūdi vai izplūšanu, sāļu izšķīšanu, notekūdeņu iekļūšanu, ūdens agresivitāti utt. Bez tam, ja debīts pārsniedz 1 l/s, paralēli tiek veikti pazemes ūdeņu debīta mērījumi, kurus izdara ar pašreģistrētāju aparātu — debitogrāfu. Visus iegūtos mērījuma datus atzīmē hronoloģiskajā grafikā un ievieto datu bankā. Kompleksie pētījumi dod iespēju spriest un prognozēt par pazemes ūdeņu izmaiņām saskarē ar klimatiskiem faktoriem, meliorācijas stāvokli, pārpurvošanos vai izžūšanu, teritorijas inženierģeoloģisko stāvokli utt.

PAZEMES ŪDENS BALANCE, RESURSI UN KRĀJUMI

Pazemes ūdens balance ir attiecība starp ūdens pieplūdi un patēriņu (m^3) uz 1 ha noteiktā laika posmā (dekādē, mēnesī, gadā) kādā noteiktā teritorijā. Gruntsūdens bilanci parasti nosaka 10 ha lielai teritorijai. Pazemes ūdeņu balance sastāv no atsevišķiem elementiem.

Pieplūdes daļas elementi ir

- nokrišņu ūdens infiltrācija,
- kondensācijas ūdeņu pieplūde,
- virsūdens pieplūde,
- citu pazemes ūdeņu pieplūde.

Patēriņu daļas elementi ir

- pazemes notece,
- virszemes notece,

- avotu notece,
- iztvaikošana no atklātas ūdens virsmas,
- iztvaikošana no augsnes un transpirācija.

Pazemes ūdeņu bilances sastādīšanai nepieciešami katra atsevišķa elementa skaitliskie lielumi. Skaitliski ļoti grūti noteikt kondensācijas ūdens un ķīmiskās reakcijās atbrīvotā ūdens daudzumu, tāpēc no aprēķiniem tos parasti izslēdz. Precīzi var aprēķināt *nokrišņu ūdens daudzumu, virszemes noteci, iztvaikošanu un transpirāciju*. Pārējie lielumi ir stipri aptuveni. G. Kamenskis kopējo gruntsūdens bilanci laika posmā Δt kādā teritorijā iesaka noteikt pēc šāda vienādojuma:

$$\mu \Delta H = N - Z + K + \frac{P_1 - P_2}{W} \Delta t + \frac{Q_1 - Q_2}{W} \Delta t \pm D_1 \pm D_2,$$

- kur μ — ūdens nesējslāņa ūdens atdeves koeficients;
 ΔH — gruntsūdens līmeņa izmaiņa laikā t , m;
 N — nokrišņu daudzums, m;
 Z — kopējais iztvaikošanas ūdens daudzums no virszemes ūdens objektiem, no augsnes virsas un transpirācijas procesā, m;
 K — kondensācijas ūdens daudzums, m;
 P_1 un P_2 — pieplūdušo un aizplūdušo virsūdeņu daudzums dotajā teritorijā, m³/diennaktī;
 Q_1 un Q_2 — pieplūdušo un aizplūdušo pazemes ūdeņu daudzums dotajā teritorijā, m³/diennaktī;
 D_1 — ūdens krājumu izmaiņas virszemes ūdens objektos, m;
 D_2 — ūdens krājumu izmaiņas augsnē un aerācijas zonā, m;
 W — bilances rajona platība, m²;
 Δt — laika posms, kuram sastāda ūdens bilanci, diennaktis.

Ja D_1 un D_2 ir pozitīvi, tos apzīmē ar mīnusa zīmi, bet, ja tie ir negatīvi, tad ar plusa zīmi.

Pēc gruntsūdeņu bilances vienādojuma redzams, ka to noteikšanai nepieciešami rūpīgi hidroloģiskie un meteoroloģiskie pētījumi. Dienvidu rajonos, arīdā klimata zonās liela ietekme uz gruntsūdeņu režīmu un bilanci ir apūdeņošanai. Šis režīms atkarīgs no apūdeņošanas normām un veidiem, lietēšanas tehnikas, hidroģeoloģijas, augsņu un ģeomorfoloģiskiem faktoriem. Pasaulē lielākajai daļai apūdeņojamās platības arīdā klimata zonās apūdeņošanas kanāli novietoti gultnēs ar nekvalitatīvu segumu un ūdens infiltrācijas ceļā noris lieli ūdens zaudējumi (apūdeņošanas sistēmas darbīgais koeficients ir 0,5). Šādos apstākļos pie vidējām apūdeņošanas normām (12 000—15 000 m³/ha tuksneša un pustuksneša rajonos, 5000—7000 m³/ha stepju rajonos) gruntsūdeņiem ūdens pieplūde no kanālu filtrācijas ūdeņiem ir lielāka nekā no atmosfēras ūdeņu infiltrācijas. Ja summāro gruntsūdeņu barošanos no atmosfēras

ūdeņiem un apūdeņošanas ūdeņiem pieņem par 100%, tad apūdeņošanas ūdeņi stepju rajonos ir 50—60%, pustuksnešu rajonos — 70—80% un tuksneša rajonos 90—95% no visiem barotāju ūdeņiem. Tāpēc svarīga nozīme ir pareizai apūdeņošanas kanālu izbūvei, lai apūdeņošanas ūdeņi tiktu racionāli izmantoti un nenotiktu augšņu sasāļošanās un pārpurvošanās. Šajos rajonos augšņu sasāļošanās ir ciešā atkarībā arī no gruntsūdeņu ķīmiskā sastāva un mineralizācijas.

Zemes garozas pazemes ūdeņus izmantojot tautsaimniecībā, ir jāzina to krājumi un izmantošanas vajadzības. Pēc izmantošanas vajadzībām nosacīti pazemes ūdeņu resursus var iedalīt četrās grupās.

● *Nesāļie ūdeņi* (saldūdeņi) izšķīdušos sāļus satur mazāk par 1 g/l. Saldūdeņi parasti atrodas nelielā dziļumā — dažus desmitus, vietām dažus simtus metru no zemes virsas. Šie ūdeņi ir visciešāk saistīti ar virsūdeņiem un iesaistīti globālā ūdens apritē, tāpēc to krājumi atjaunojas samērā ātri. Saldūdeņus visvairāk izmanto ūdens apgādē.

● *Termālo ūdeņu* temperatūra pārsniedz 40°—60°C un vietām sasniedz 100°C. Termālie ūdeņi parasti atrodas lielākā dziļumā (>1000 m). Tikai vulkāniskos apgabalos tie sastopami seklāk. Šos ūdeņus arvien vairāk izmanto siltuma apgādē, zivsaimniecībā un termālās elektrostacijās.

● *Rūpnieciskiem pazemes ūdeņiem* raksturīga liela sāļu koncentrācija (50—100 g/l). No tiem iegūst dažādus ķīmiskos elementus, piemēram, jodu, bromu, cēziju, rubīdiju, volframu, boru.

● *Ārstnieciskiem ūdeņiem* piemīt spēja dziedēt dažādas slimības. Šie ūdeņi sastopami dažādos dziļumos. Tie nereti ir silti un piesātināti ar gāzēm (oglekļa dioksīdu, radonu, sērūdeņradi). Ārstnieciskie ūdeņi arvien plašāk tiek izmantoti kūrortu un sanatoriju vajadzībām. Pazemes ūdeņu krājumi atjaunojas īsākā laikā nekā citi derīgie izrakteņi.

Visus pazemes ūdeņu krājumus iedala dabiskajos un ekspluatācijas krājumos.

Dabiskie krājumi Q_d ir pazemes ūdens, kas atrodas ūdens horizontu iežu porās un plaisās un pārvietojas gravitācijas spēka ietekmē; tos neietekmē dažādie mākslīgie faktori (ūdens ieguves ietaises). Dabiskos krājumus savukārt iedala statiskos un dinamiskos. Statiskie krājumi Q_{st} ir gravitācijas ūdeņi, kas pilda ūdens nesējslāņa poras; tos mēra tilpuma vienībās:

$$Q_{st} = \mu V,$$

kur μ — ūdens atdeve, kas izteikta kā iežu kopējā tilpuma daļa;

V — ūdens horizonta tilpums, m^3 .

Dinamiskie krājumi Q_{din} ir pazemes ūdens dabiskā plūsma vienā laika vienībā vai arī ūdens daudzums, kas katru gadu ieplūst ūdens horizontā. Tos aprēķina pēc pazemes ūdeņu plūsmas caurteces formulām vai arī pēc pazemes ūdeņu barošanas lieluma.

Pēc bilances metodes pazemes ūdeņu dinamiskos krājumus iespējams noteikt pēc formulas

$$Q_{\text{din}} = X - Y - Z,$$

kur Q_{din} — pazemes plūsmas vidējā caurtece, $\text{m}^3/\text{diennakti}$;
 X — vidējais ilggadējais nokrišņu daudzums, $\text{m}^3/\text{diennakti}$;
 Y — vidējā virszemes notece, $\text{m}^3/\text{diennakti}$;
 Z — vidējā iztvaikošana, $\text{m}^3/\text{diennakti}$.

Dinamiskos krājumus nosaka arī pēc pazemes notece moduļa, avotu summārā debīta, filtrācijas ātruma un citām metodēm, ar kurām var iepazīties speciālās hidroģeoloģijas grāmatās.

Ekspluatācijas krājumi Q_{eks} ir pazemes ūdeņu tilpums kubikmetros, ko diennaktī iespējams iegūt no attiecīgajiem ūdens nesējslāņiem, lietojot racionālās ūdens ieguves ietaises un aprēķinātajā ekspluatācijas periodā neizmainot ūdens režīmu, kā arī tā kvalitāti. Ekspluatācijas krājumus aprēķina pēc hidroģeoloģiskiem parametriem (filtrācijas koeficienta u. c.), kurus nosaka izpētes darba laikā, atsūkņējot ūdeni urbumos. Ekspluatācijas krājumus nosaka pilsētu un citu tautas saimniecības nozaru ūdens apgādes projektēšanai un ekspluatācijas režīma noteikšanai.

Bez dabiskiem un ekspluatācijas krājumiem izšķir arī mākslīgos krājumus Q_m , kas rodas, ja ūdens nesējslānī ar speciālu hidrotehnisku ierīču palīdzību mākslīgi ievada zināmu ūdens daudzumu.

Visus ekspluatācijas krājumus pēc to izpētes pakāpes iedala kategorijās.

○ A_1 kategorijai pieder krājumi, kuri jau ekspluatācijas gaitā ģeoloģiski un hidroģeoloģiski izpētīti, — noteikts režīms, bilance, iežu horizontu savstarpējā saistība, ekspluatāciju krājumu atjaunošanās iespējas u. c.

○ B_1 kategorijas krājumi ir mazāk izpētīti — noskaidrotas ūdens barošanās galvenās īpašības, virszemes ūdeņu ietekme, aptuveni noskaidrotas ekspluatācijas krājumu atjaunošanas iespējas, ūdens kvalitāte un izmantošanas iespējas praktiskām vajadzībām.

○ C_1 kategorijas krājumi ir vēl mazāk izpētīti — noteikti ūdens horizontu izplatības un saguluma apstākļi un daļēji arī ūdens kvalitāte; izdarīti tikai sākotnēji slēdzieni par pazemes ūdens izmantošanas iespējām (pēc atsevišķu urbumu atsūkņēšanas datiem vai pat pēc analoģiskiem citu rajonu datiem, kur pazemes ūdens izpētīts detalizēti).

○ C_2 kategorijas krājumi ir neizpētīti — to raksturošanai izmantoti atsevišķu horizontu pārbaudes dati pēc analoģijas ar jau labi izpētītiem rajoniem.

PAZEMES ŪDEŅU AIZSARDZĪBA

Lielākā daļa pasaules iedzīvotāju agrāk nedomāja par ūdens rezervēm un to aizsardzību. Šāda nostāja pastāvēja tāpēc, ka gada nokrišņu daudzums bija pietiekošs, lai upes, ezeri un pazemes

ūdeņi pilnīgi apmierinātu tālaika pilsētu un citu apdzīvotu vietu ūdens patēriņu. Ūdeņus neuzskatīja par derīgiem izrakteniem, jo pieņēma, ka to krājumi ir neizsmeļami. Tikai pašreiz, t. i., pēdējos gadu desmitos, sakarā ar straujo cilvēku pieaugumu un lielo ūdens patēriņu rūpniecībā un lauksaimniecībā ir radušās grūtības — izsīkst saldūdens resursi un pasliktinās to kvalitāte. Tāpēc jādomā, kas jādara, lai pazemes ūdens krājumi neizsīktu un tie tiktu izmantoti ekonomiski, saglabājot tīrus, nepiesārņotus ūdens resursus. Jāveic šādi pasākumi.

● Ūdens patēriņš jāierobežo tā, lai tas nepārsniegtu dabisko atjaunošanos. Intensīvi iegūstot ūdeni, akās un urbumos samazinās slāņus noturošais ūdens spiediens un sablīvējas ūdens nesošais slānis, kas rada ūdens debita samazināšanos un dažviet pat zemes sēšanos. Tas izsauc ēku deformāciju, ceļu pārrāvumus, apūdeņošanas kanālu un cauruļu bojāšanos.

● Jāizslēdz ūdens zaudējums, kas rodas izplūdēs un iztecēs no akām, urbumiem, ja tie atstāti bez kontroles. Tāpēc jāierīko speciālas ierīces — krāni, tamponāža u. c.

● Jāsamazina ūdens iztvaikošana lauku apūdeņošanā, kā arī jāizmanto tehnoloģija, kas samazinātu ūdens daudzuma patēriņu.

● Jānovērš jūras ūdens ieplūšana sauszemes ūdeni nesošajos slāņos, kuri ir kontaktā ar jūras akvatoriju. Tā Meksikas, ASV, Japānas, Klusā okeāna piekrastes rajonos un citur tika konstatēts, ka apūdeņošanā izlietotā saldūdens vietā ūdens nesējhorizontā ir ieplūdis jūras ūdens; pēc tam ir ļoti grūti atjaunot ūdens nesējslāņa iepriekšējo stāvokli.

● Jāveicina ūdens krājumu pieaugšana akās un baseinos; tas jāveic ar mākslīgiem paņēmieniem, neļaujot liekajam virsūdenim noplūst upēs, jūrās u. tml.

Viens no galvenajiem saldūdens zudumiem ir tā sajaukšanās un piesārņošanās ar rūpniecības un sadzīves notekūdeņiem, dažādām ķīmikālijām, kuras izfiltrējas caur aerācijas zonu un ieplūst tajos. Līdz ar to šie ūdeņi kļūst pilnīgi vai uz ilgāku laiku neizmantojami. Daudzos rajonos jā rūpējas, lai ūdens netiktu piesārņots no tualetēm un izgāztuvēm. Šādas problēmas jārisina globāli, ievērojot reģionālās īpatnības.

Ūdens piesārņošanās var būt bakteriāla, ķīmiska (organiskā un neorganiskā), mehāniska un radioaktīva.

Bakteriālā piesārņošanās parasti noris tur, kur aerācijas zonas biezums neliels (< 2 m) vai sastopami plaisaini ieži.

Ķīmiskā piesārņošanās ir izplatītāka, tā rodas galvenokārt no rūpniecības un sadzīves notekūdeņiem, ar kuriem ieplūšina dažādas ķīmikālijas. Ķīmiskā piesārņošanās raksturīga gruntsūdeņiem. Ķīmiski mazāk piesārņojas artēziskie ūdeņi.

Mehāniskā piesārņošanās ar mehāniskiem piejaukumiem dažreiz noris karstu rajonos, bet šie ūdeņi ātri attīrās.

Radioaktīvā piesārņošanās rodas radioaktīvo elementu ekspluatācijā un citu procesu rezultātā. Dažus radioaktīvos elementusniecīgā daudzumā satur gandrīz visi pazemes ūdeņi. Šie elementi tur no-

kļūst no iežiem. Dažiem radioaktīvajiem ūdeņiem ir dziednieciskas īpašības, tāpēc tos var izmantot dažādu slimību ārstēšanā.

Lai aizsargātu ūdens ieguves vietas no piesārņojuma, ir jāierīko sanitārās aizsardzības zonas.

● *Stingrā lieguma zonā* ir aizliegts uzturēties nepiederošām personām, kuras nav saistītas ar gruntsūdens ekspluatācijas vietu. Šī zona ierīkojama 50 m rādiusā ap ieguves ietaisi, bet artēziskiem ūdeņiem — 30 m rādiusā.

● *Stingrās kontroles zonas* izmēri atkarīgi no ieguves ietaises rakstura un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem. Tā ierīkojama, lai negatīvi neietekmētu ūdens resursus, īpaši — labas grunts filtrācijas apgalbos.

Sanitārās aizsardzības zonas var būt arī daudz lielākas, un tur aizliegta jebkura darbība, kas var radīt ūdens piesārņošanu. Lai pastiprinātu valsts kontroli par pazemes ūdeņu izmantošanu un aizsargāšanu, 1973. gadā Latvijā stājās spēkā Ūdeņu kodekss, kas noteica ūdeņu izmantošanas kārtību un aizsardzību mūsu republikā.

LATVIJAS HIDROĢEOLOĢISKIE APSTĀKĻI

Latvijas pazemes ūdeņu īpašības, izplatību un krājumus nosaka ģeoloģiskā uzbūve, reljefs, klimats, virszemes ūdeņu izplatība un antropogēnie faktori.

Latvijas teritorija atrodas Krievijas (Austrumeiropas) platformas ziemeļrietumu malā. Pamatklintājs, kas sastāv no dislocētiem prekembrija iežiem, veido stipri nelīdzenu virsmas reljefu, un republikas dienvidrietumos izdarītos urbumos tas konstatēts dziļāk par 1900 m, bet Ziemeļvidzemē (Strenčos) — tikai 382 m. Pamatklintāju veido arhaja un proterozoja vecuma magmatiskie un metamorfie ieži granīti, gabro, sienīti, andezīti, liparīti, gneisi, kristāliskie slānekļi. Pamatklintāja virsmu veido lielas pozitīvas un negatīvas formas, ko rada lielie struktūras elementi (to var redzēt Latvijas tektoniskajā kartē).

I Baltijas vairoga dienvidu nogāze atrodas Ziemeļvidzemē 300—800 m dziļumā. Tās robeža — Saulkrasti, Cēsis. *II Baltijas centrālā ieliece* atrodas 600 m dziļumā. Tās dienvidu robežu grūti novilkt. *III Baltijas sineklizes ziemeļdaļa* atrodas Kurzemē 800—1000 m dziļumā. Monoklinālo slāņu kritums vērsts dienvidu virzienā uz Polijas Lietuvas ieplaku. Šiem struktūras kompleksiem ir izteiktas pārrāvuma robežas, kuras pilnīgi vai daļēji ir Latvijas teritorijā. Struktūras kompleksos savukārt vērojamas daudzas lokālas struktūras. Struktūras elementi nosaka uzgulstošo iežu slāņu biezumu, un lokālās struktūras rada dažādus ieža slīpumus. Virs pamatklintāja ir izveidojusies bieža sarežģīta paleozoja, mezozoja (tikai dienvidrietumdaļā) un kainozoja iežu sega, kuras biezums ieliecēs pārsniedz 1 km. Šīs struktūras veido sinklinālu uzbūvi, bet pacēlums dažreiz arī antiklinālu uzbūvi. Šīm struktūrām svarīga nozīme pazemes ūdeņu veidošanā un cirkulācijā.

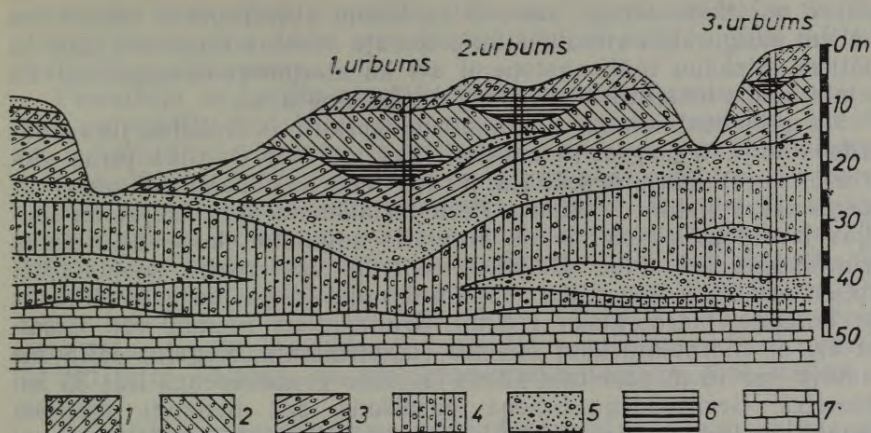
Latvijas teritorijā virs pamatklintāja uzgulst venda, kembrija sistēmas nogulumi, virs kuriem atrodas ordovika, silūra un devona sistēmas nogulumi, bet Dienvidkurzemē virs tiem vēl uzgulst karbona, perma, dažviet arī triasa un juras sistēmas nogulumi. Visu šo sistēmu nogulumu veido daudzas vietējas strukturāli faciālas svītas, kuru iedalījumā svarīga nozīme ir vides hidrodinamiskajai aktivitātei un sāļu, gāzu režīmam. Svītas veidojošās vairākkārtējās jūras baseina transgresijās, un regresijās izveidojās dažādi ūdens caurlaidīgie slāņi: smiltis, smilšakmeņi, plaisainie mergēļi, dolomīti, mālsmilts un citi, kā arī ūdens necaurlaidīgie iežu slāņi: māli, dolomīti, smilšmāli u. c. Iežu sastāvs pat nelielā attālumā izmainās kā vertikālā, tā horizontālā virzienā. Tāpēc ūdens nesējslāņi var atšķirties pēc daudzuma un sastāva pat viena slāņa robežās. Tas izpaužas kā to nevienāda ūdens atdeve. Lielākie ūdens krājumi ir devona sistēmas dažādo svītu nogulumus, kuri zem kvartāriem nogulumiem veido sinklinālu ielieci republikas centrālajā daļā un monoklinālu slāņu sagulumu Dienvidkurzemē. Šīs slāņu ielieces veido artēziskos baseinus. Latvijā virs paleozoja un mezozoja iežiem visu teritoriju sedz kvartārie nogulumi, kuru biezums svārstās plašās robežās — no dažiem metriem līdz 300 m. Biezākie kvartārie nogulumi ir konstatēti pamatiežu virsmas dziļos ielejveida pazeminājumos — iegultnēs. Bieži kvartārie nogulumi atrodas salveida un marginālās augstienēs — Ziemeļvidzemes, Centrālā, Latgales augstiene u. c. Plānākie kvartāra nogulumi ir līdzenumos, kur to biezums nepārsniedz 20—30 m, bet parasti ir tikai ap 10 m. Kā pamatiežos, tā arī kvartāros nogulumos Latvijā atrodas ievērojami pazemes ūdeņu nesējslāņi, kam raksturīgi dažādi hidroģeoloģiskie apstākļi un sastāvs. Mūsu republikas pazemes ūdeņus var iedalīt

- kvartāro nogulumu ūdeņos un
- pamatiežu ūdeņos.

Kvartāra nogulumu ūdeņi

Kvartāra nogulumu ūdeņi Latvijā izplatīti nevienmērīgi, to krājumi nav lieli, bet ekonomiskā ieguve ir izdevīga. Tie izplatīti visos kvartāra nogulumos dažādos dziļumos. Kvartāros nogulumos sastopami divu tipu ūdeņi. Izplatītākie ir bezspiediena ūdeņi (grunts-ūdeņi). Mazāk izplatīti ir spiediena ūdeņi (starp-slāņi).

Latvijas teritorijā kvartāra nogulumu neviendabīgā sega izveidojusies četros apledojumos un trijos atbilstošos starpledus laikmetos. Apledējumi atstāja ledāja nogulumus (morēnas) un tā kušanas ūdeņu nogulumus (smiltis, grants), bet starpledus laikmetiem ir raksturīgi aluviālie, ezeru, purvu un jūras nogulumi. Virs šiem nogulumiem sastopami dažādas ģenēzes pēcleduslaikmeta kontinentālie un Baltijas jūras stadijas nogulumi. Vertikālā griezumā no hidroģeoloģiskā viedokļa morēnas atšķiras pēc granulometriskā, mineraloģiskā sastāva, krāsas blīvuma, porainības. Starpmorēnas nogulumi pēc sastāva parasti ir smilšaini vai granšaini, tie ir labi ūdens nesējslāņi.



112. Morėnu kompleksa shematisks griezumš Dienvidkurzemē (pēc V. Pērkona):

1 — sarkanbrūnā (Valdaja) pēdējā apledojuņa morēna, 2 — zilganpelēkā (Maskavas) apledojuņa morēna, 3 — brūnsarkanā (Dņepras) apledojuņa morēna, 4 — pelēkbrūnā (Okas) apledojuņa morēna, 5 — fluvioglaciālie starpmorėnu nogulumi, 6 — limnoglaciālie starpmorėnu nogulumi, 7 — perma kaļķakmeņi.

Dažreiz morėnās ir dažāda lieluma smilšainas lėcas, kuras arī satur pazemes ūdeņus (112. att.).

Vecākā (Ģinca) Latgales svītas morėna sastopama nelielās platībās un ir pelēka smilšaina morėna, virs kuras atrodas mālaini nogulumi. Nākamai (Mindeles) Letižas svītas morėnai, kas uzurbta daudzos Kurzemes un citu pauguraiņu urbumos, ir raksturīga pelēkbrūngana vai zaļganpelēka akmeņaina mālsmits ar karbonātu saturu līdz 20%. Tās maksimālais biezums sasniedz 60 m, un lielā blīvuma dēļ morėna ir ūdens necaurlaidīga. Virs Letižas morėnas uzgulst Pulvernīeku starpledus laikmeta svīta, kura satur smilti, aleirītu, mālus, kūdru un sapropeļainos nogulumus. Virs tiem uzgulst (Risās) Kurzemes svītas akmeņainā zilganpelēkā, pelēkbrūnganā vai pelēkā māla morėna ar palielinātu karbonātu saturu (līdz 30%). Šī ūdens necaurlaidīgā morėna sastopama gandrīz visās augstienēs, bet nav līdzenumos, izņemot Rietumlatvijas Baltijas jūras piekrastes joslu. Nedaudz vietās tā atrodas pat Zemes virspusē. Virs Kurzemes morėnas ir Felicianovas svītas aleirīti, smiltis un kūdra. Pēdējā (Virmas) Baltijas svītas morėna ir dažāda sastāva brūna vai sarkanbrūna. Šajā griezumā galvenie ūdens nesējslāņi ir interglaciālie vai starpmorėnu smilšainie, grantainie nogulumi, kas labi uzkrāj ūdeni. Baltijas svītas morėna Latvijā ieņem vislielāko platību un sastopama zemes virspusē, kā arī zem fluvioglaciāliem nogulumiem (smiltis, grants) un limnoglaciāliem nogulumiem (māli).

Fluvioglaciālie nogulumi izveido raksturīgās reljefa formas (osi, kēmi, fluvioglaciālie līdzenumi, kuri nosaka gruntsūdens līmeni). Šie ieži ir galvenie Latvijas ūdens uzkrājējslāņi, tiem raksturīga laba atdeve. Lielās platībās virspusē atrodas limnoglaciālie nogulumu, kuri

sastāv no iekšpusledāja baseina veidotiem putekļainiem bezakmens māliem pauguraiņu virsohnēs un pieledāja baseina veidotiem slokšņu māliem. Slokšņu māli sastopami arī kā starpmorēnu nogulumi un ir labi ūdens balstītājslāņi (Zemgalē, Lubānā u. c.).

No pēcdeduslaikmeta nogulumiem izplatīti ir Baltijas jūras dažādo stadiju transgresiju smiltāji, kas izplatīti Baltijas jūras piekrastē, kuras garums Latvijā ir 495 km. Sastopami arī purvi ar ūdeņu uzkrājējslāni — kūdru. Pēcdeduslaikmetā upju ielejās un senlejās izveidojušies smilšainie aluviālie nogulumi, kuri satur lielus gruntsūdens krājumus. Dziļākās senlejās vai eroziju ielejās bieži izplūst artēziskie ūdeņi, kuri papildina upju ūdeņus un gruntsūdeņus un izmaina hidroloģisko režīmu. Gruntsūdens režīmu var izmainīt arī ar hidrotehniskām būvēm. Tā, piemēram, Ķeguma HES pie dambja par 16 m paceltais ūdens iespaido gruntsūdeņus līdz 35 km diametrā. Gruntsūdeņu līmeņa paaugstināšana par nelieliem metriem iespaido arī ūdens mineralizāciju. Gruntsūdens dabisko režīmu stipri iespaido intensīva pazemes ūdeņu ekspluatācija. Tā, Rīgas apkārtnē (1963. g.) atsūkņētie 560 tūkstoši m^3 /diennaktī (250 tūkst. m^3 artēziskie ūdeņi, 310 tūkst. m^3 gruntsūdeņi) izmainīja pazemes ūdeņu kustības virzienu un ātrumu; līdz ar to izveidojās depresijas piltuve, kurā ieplūda piesārņoti, nekvalitatīvi ūdeņi. Kvartāra nogulumu ūdeņi pieder pie Ca hidroģēnkarbonātu ūdeņiem. Tiem ir zema mineralizācijas pakāpe, bet parasti liels dzelzs saturs, paaugstināta cietība, jo morēnas ir karbonātiskas. Ūdeņu mineralizāciju palielina pieplūstošie artēziskie ūdeņi.

Kvartāro nogulumu ūdeņus pēc ģenēzes vecuma, ūdeni saturošajiem iežiem iedala šādos tipos:

- purvu nogulumu ūdeņu horizonts (Q_{IVp});
- eolo nogulumu ūdeņi (Q_{IVeol});
- pašreizējo un agrāko aluviālo nogulumu ūdeņi ($Q_I - Q_{IVal}$);
- pašreizējo ezeru nogulumu ūdeņi (Q_{IVl});
- Baltijas jūras stadiju nogulumu ūdeņi (Q_{IVml});
- virsmorēnu fluvioglaciālo nogulumu ūdeņi (Q_{III} un Q_{IVfg});
- virsmorēnu limnoglaciālo nogulumu ūdeņi (Q_{IVgl});
- morēnā sastopamo smilšaino un mālsmits linzu ūdeņi ($Q_{III} - Q_{IVgl}$);
- starpmorēnu un zemmorēnu ūdeņu horizonti ($Q_I - Q_{IVgl}$).

Purvu nogulumu ūdeņu horizonti saistīti ar purvu kūdrājiem, kuri parasti veidojušies necaurīdīgo slāņu ieplakās. To līmenis atrodas tuvu zemes virspusei (0—0,5 m). Šie ūdeņi satur daudz organisko vielu, ir ļoti mīksti, ar ievērojamu agresivitāti. Maksimālais debīts — 0,2 l/s, mineralizācija < 0,1 g/l, cietība < 0,9 mg.

Eolo nogulumu smiltis bieži nesatur ūdeni. Šīs smiltis piekrastē pārklāj Baltijas jūras stadiju smiltis. Eolajās smiltis nelielās platībās veidojas kapilārie ūdeņi virs ūdens nesējslāņa. Pēc V. Staprēna, eolās smiltis sastopami šādi gruntsūdeņi:

- kapilārie ūdeņi virs ūdens nesējslāņa.
- infiltrācijas ūdeņi virs ūdens nesējslāņa (0,2—2 m bieži). Maksimālais debīts akās 1 l/s Daugavpils rupjās eolās smiltis ir dziļumā

no 4 līdz 12 m. Vidējais debits 0,04 l/s. Parasti tie ir Ca un Mg hidroģēnkarbonātu ūdeņi ar mineralizācijas pakāpi līdz 0,5 g/l. Praktiska nozīme maza.

Pašreizējo un agrāko aluviālo nogulumu ūdeņi sastopami pašreizējo un agrāko upju ieleju izgulsnētajās dažāda rupjuma smiltīs vai mālsmiltīs. To biezums ir no nedaudz metriem līdz 50 m. Ūdens balstītājslānis ir ledāja, ledus ezera vai devona nogulumi. Šie ūdeņi barojas no infiltrācijas vai virszemes ūdeņiem. Dažreiz tie ir hidrauliski saistīti ar devona ūdeņiem, kuri tiek atsegti upju ielejās. To režīms atkarīgs no upju režīma, barošanās notiek galvenokārt palu un bagātīgu nokrišņu laikā, un noplūde noris vasarā un ziemā. Debiti ir ļoti dažādi — no 0,1 līdz 25 l/s. Ūdeņi ir saldi vai mēreni cieti, satur Ca un Mg hidroģēnkarbonātus, cietība — 3—6 mmol/l. To filtrācija atkarīga no granulometriskā sastāva. Tos izlietot ir izdevīgi.

Pašreizējo ezeru nogulumu ūdeņu horizonti sastopami reljefa pazeminājumos un izplatīti smilšainos, sapropeļainos, ezerkaļķu nogulumos. Parasti atrodas 0,1—5 m dziļumā. Debiti nelieli — no 0,02 līdz 1 l/s. Satur Ca un Mg hidroģēnkarbonātus, retāk arī hlorīdus. Vidējā cietība — 2—7 mmol/l. Tos izmanto lauku ciematos kuri atrodas lielu ezeru tuvumā (Burtniekos, Lubānā u. c.).

Baltijas jūras stadiju nogulumu ūdeņi ir Baltijas ledus ezera, Joldijas jūras, Ancilus ezera un Litorīnas jūras nogulumos, kas sastopami piekrastē līdz 50 km platumā tuvu Zemes virspusei (1—3 m). Šie nogulumu parasti sastāv no sikgraudainas smilts vai aleirītiem, barojas no atmosfēras nokrišņiem. Debits ļoti dažāds. Ir vietas, kur granšainos nogulumos tas sasniedz pat 8 l/s. Noplūde Baltijas jūrā vai Rīgas jūras līcī. Mineralizācijas pakāpe — līdz 1,5 g/l, cietība — 16 mmol/l. Šos ūdeņus izmanto Liepājas un Ventspils ūdens apgādē.

Virsmorēnu fluvioglaciālo nogulumu ūdeņi ir plaši izplatīti fluvioglaciālos smiltajos (Strenčos, Zvirgzdē u. c.), kā arī osos un kēmos. Fluvioglaciālo nogulumu biezums sasniedz pat 30 metrus. Gruntsūdens dziļums ir 0,2—6 m, osos to dziļums sasniedz pat 15 m. Nogulumu sastāv no ūdens caurlaidīgām smiltīm un barojas no atmosfēras ūdeņiem. Debits ir dažāds. Atslogojas upju un citās ielejās, kur veido avotus. Ir ar dažādu mineralizāciju. Ir Latvijas galvenie kvartāro nogulumu gruntsūdeņu barotājslāņi un atbilst visām izmantošanas normām.

Virsmorēnu limnoglaciālo nogulumu ūdeņi izplatīti galvenokārt virs slokšņu māliem, kur uzgulst puteklaina vai smalkgraudaina smilts. Vidēji šī slāņa biezums ir 3—5 m, gruntsūdens dziļums — no dažiem centimetriem līdz 10 m (vidēji — 2—3 m). Slānis barojas no infiltrācijas nokrišņiem, un ūdens līmenis mainās sezonāli. Ir nelieli debiti — no 0,02 līdz 0,05 l/s, Lubānas līdzenumā sasniedz pat 19 l/s. Satur Ca un Mg hidroģēnkarbonātus, retāk hlorīdus. Cietība — 4—8 mmol/l.

Morēnā sastopamo mālsmilts un smilts linzu ūdens krājumi ir nelieli, bet to biezums mainās plašās robežās — no 0,1 līdz 30 m.

Dažreiz var būt arī spiediena ūdeņi. Debits neliels — 0,05—0,1 l/s, var sasniegt 22 l/s. Satur Ca hidroģēnkarbonātus, retāk Mg, Na hidroģēnkarbonātus un hlorīdus. Mineralizācija — 0,2—0,6 g/l. Ja krājumi lielāki, tos izmanto ūdens apgādē.

Starpmorēnu un zemmorēnu ūdeņi sastopami dažāda rupjuma smiltīs. Slāņu biezums no dažiem metriem līdz 30 m. Lielākā dziļumā parasti tas ir 50—70 m, dažreiz pat dziļāk par 100 m. Dažviet ir arī spiediena ūdeņi, bieži ir saskare ar pamatūdeņiem. Debits ir plašās robežās — no 0,1 līdz 10 l/s. Satur Ca un Mg hidroģēnkarbonātus, mineralizācija — no 0,2 līdz 0,8 g/l. Dienvidaustrumu Latvijā dažviet izlieto ūdens apgādei.

Pamatiežu nogulumu ūdeņi

Pamatiežu ūdeņi mūsu republikā ir artēziskie ūdeņi, un tie sagul sinklinālā un monoklinālā slāņu sagulumā ar raksturīgiem barošanās, cirkulācijas un atslodzes apgabaliem. Pamatiežu ūdeņi veido savdabīgus artēziskos baseinus ar lielākiem ūdens krājumiem Latvijas centrālajā sinklinālajā ieliecē. Latvijas artēziskie baseini sastopami sarežģītos proterozoja, paleozoja un mezozoja slāņu kompleksos, kur ūdens nesējslāņi (smiltis, smilšakmeņi, aleirīti, plaisainie dolomīti, ģipšakmeņi) mijas ar ūdenscaurlaidīgiem slāņiem (māliem, blīviem dolomītiem, mergēliem). Ūdens necaurlaidīgo slāņu izplatība ir ar pārtraukumiem, tāpēc bieži daudzās vietās starp atsevišķiem horizontiem pastāv hidrauliski sakari, kas izmaina to ķīmisko sastāvu un režimu. Artēzisko ūdeņu slāņu kompleksus baro rajoni ar hipsometriski augstākajām vietām (Latgales, Vidzemes un Kurzemes augstienes). Reljefa depresijās Piejūras zemienē, līdzenumos vērojama artēzisko ūdeņu augšupejoša kustība un dažviet atslodšanās ar avotiem. Artēzisko ūdeņu kompleksi sastopami proterozoja, paleozoja un mezozoja slāņos, tie ir atšķirīgi pēc režīma, ķīmiskā sastāva un citām īpašībām. Var izdalīt vanda, kembrija, devona, karbona, perma, triasa un juras sistēmu nogulumu ūdeņus, kurus īsumā raksturosim no vecākiem ūdens slāņu kompleksiem līdz jaunākiem kvartāra nogulumu ūdeņiem.

Proterozoja ēras beigās, vendu laikmetā pirms 600—570 miljoniem gadu, Austrumlatvijas kristālisko pamatklintāju pārklāja visenākā jūra un beigu posmā iestājās sauszemes apstākļi, par ko liecina uz māliem izveidojusies dēdēšanas garoza. Vendu ūdens slāņi sastopami aleirītu un smilšainos nogulumos Latvijas dienvidaustrumu daļā, kur šie slāņi uzgulst uz nelīdzenas pamatklintāja virsmas. Slāņi atrodas dziļāk par 1 km, un to biezums sasniedz pat 65 m. Debits ir ap 0,5 l/s. Pēc ķīmiskā sastāva ūdens satur Mg, Ca, Na hlorīdus, sulfātus, arī Br >250 mg/l. Tas ir ar lielu mineralizācijas pakāpi. Šos slāņus pārklāj necaurlaidīgi māli.

Apakšpaleozojā izšķir divus ūdensnesējslāņa kompleksus:

- apakškembrija ūdensnesējslāņa kompleksu,
- viduskembrija—apakšordovika ūdensnesējslāņa kompleksu.

Paleozoajā, kembrija sākumā, Baltijas teritorijai atkal uzplūda jūra. Izgulsnējās māli ar retām smiltis un smilšakmens starpkārtām, kuras satur ūdeņus. Pēc tam Zemes pacelšanās rezultātā Austrumlatvija kļuva par sauszemi. Apakškembrija otrajā pusē sākās jūras uzplūdi no rietumiem un izgulsnējās zilganpelēki kembrija māli. Apakškembrija ūdens slāņi sastopami pa visu Latvijas teritoriju (izņemot Valmieras—Loknavas pacēlumu rajonu). Šie slāņi uzgulst uz vendu sistēmas nogulumiem vai pamatklintāja. Smilšaini aleirītisko ūdensnesējslāņu biezums ir no 40 līdz 150 m un tie pārklāti ar raksturīgiem ziliem kembrija māliem. Pēc Adzes un citu urbumu datiem šie ūdeņi ir ar lielu mineralizāciju — 100—120 g/l (sālījumi) un ar lielu artēzisko spiedienu — 45 m augstu virs Zemes virsas. Satur Ca, Mg, Na hlorīdus, daudz bromu — 386 mg/l un dzelzs — 42 mg/l. Virs apakškembrija nogulumiem parasti notiek viduskembrija smilšaino un mālaino nogulumiežu mija, kur smilšainie nogulumi atrodami kā piekrastes veidojumi. Šie smilšainie nogulumi augšējos slāņos ir ordovika perioda vecuma, un nav nozīmes tos stratigrāfiski izdalīt. Smiltis sastāv no sīkgraudainām smiltīm ar neliela biezuma aleiritu vai mālu starpkārtiņām, ūdens debits ir dažāds — no 0,1 līdz 10 l/s. Pēc ķīmiskā sastāva ūdeņi satur Na hlorīdu, daudz bromu, pat 500 mg/l. Mineralizācijas pakāpe — no 30 līdz 120 g/l. Pārējie ordovika un silūra sistēmas slāņi nesatur atzīmējamus ūdeni nesošus horizontus.

Devona periods. Virs silūra sistēmas nogulumiem uzgulst devona sistēmas nogulumi, kurus iedala apakšdevona, vidusdevona un augšdevona nogulumos; tie ir sastopami visā Baltijā. Latvijā devona nogulumi atrodas tieši zem kvartāro nogulumu segas, izņemot republikas dienvidrietumu daļu, kur tiem uzgulst karbona, perma, triasa un jūras sistēmas nogulumi. Devona nogulumiem Latvijas tautsaimniecībā ir liela nozīme kā derīgiem izrakteņiem, arī kā artēziskiem ūdeņiem. Devona nogulumu griezumā dažādos līmeņos redzami vairāki artēzisko ūdeņu horizonti, kurus vienu no otra atdala māla, mērģeļu vai citu necaurīdīgo iežu starpslāņi. Devona iežu horizontus iedala svītās, kam doti to ģeogrāfisko vietu nosaukumi, kurās vispilgtāk konstatēti šie nogulumi. Devona perioda sākumā Latvijā bija sauszeme, tajā notika erozijas procesi. Vienīgi Ziemeļkurzemē klāja jūra, kas izgulsnēja smilšaini mālāinus nogulumus. Apakšdevona Ķemeru svītas artēzisko ūdeņu horizontos, kuri izplatīti smilšakmeņos un aleirītos, ūdeņiem raksturīga paaugstināta mineralizācijas pakāpe — no 10 līdz 36 g/l, tie satur Ca un Na hlorīdus. Vidusdevonā Latvijā izveidojās jūra ar mazsāļu ūdeni. Šajā jūrā no Skandināvijas kalniem tika sanests daudz smilšu, arī nedaudz mālu. Vidusdevona beigās jūra sašaurinājās un tās vietā Latvijas ziemeļos izveidojās lagūnas un ezeri. Vidusdevona smiltis, smilšakmeņi un māli atsedzas Gaujas, Salacas, Ventas un to pieteku krastos. Vidēji tie ir 300 m biezi.

Vidusdevona *Pērnavas svītas* (D_2^{pe}) *artēzisko ūdeņu horizonts* sastāv no slīpslāņainiem pelēki baltiem sīkgraudainiem smilšakmeņiem (līdz 60 m biezs slānis). Baltijas sineklizē pjezometriskais līmenis ir

zemāks par Zemes virsmu, bet Rīgas līča rajonos ir pozitīvs un pie Valmieras pastāv liels ūdens spiediens. Ūdens debīts svārstās no 5 līdz 20 l/s. Ūdeņu atslogošanās notiek Rīgas līča ziemeļu daļā un Baltijas jūrā. Satur Na hlorīdu un sulfātu, mineralizācijas pakāpe — līdz 15 g/l.

Burtnieku svītas ūdeņi (D_2^{bur}) sastopami sarkanos smilšakmeņos ar aleirīta starpslāņiem. Šiem artēziskā ūdens slāņiem ir liela nozīme, jo tos izmanto Ziemeļlatvijas pilsētās un apdzīvotās vietas. Pārējā teritorijā tos neekspluatē, izņemot tektonisko lūzumu vietās Jūrmalā un Rīgā. Ūdens slāņi atslogojas Rīgas līcī, Gaujas, Salacas un Ventas upes ielejās. Debits no 1 līdz 10 l/s. Ūdeņi visumā saldi, ar mineralizāciju 0,3—0,9 g/l. Satur Ca, Mg hidroģenkarbonātus, B, Ba, F u. c.

Augšdevona jūra vairākas reizes transgresēja un regresēja. Augšdevona jūrās uzkrājās kalcija karbonāti, kas Latvijas dienvidrietumu daļā dolomitizējās, veidojot devona dolomītus, kaļķakmeņus, merģelus. Jūrai vairākkārt regresējot, lagūnās izveidojās lagunārie nogulumi, ģipši, ģipšainie merģeļi. Perioda beigās jūra atkāpās rietumu virzienā, tā palika tikai Dienvidkurzemē un Lietuvas rietumu daļā, kur arī dažreiz tā izžuva.

Gaujas svītas horizonta (D_3^{gi}) biežums Latvijas centrālajā ieliecē sasniedz 120 m, bet Kurzemē — 60 m. Slāņi ir balti vai iesārti, smilšaini aleirīti, tie izplatīti pa visu Latvijas teritoriju. Pjezometriskais līmenis atkarīgs galvenokārt no virsmas reljefa, ūdens daudzums mainās kā horizontālā, tā vertikālā virzienā. Debits — 1—5 l/s. Ūdeņi ir saldi, ar maksimālo mineralizāciju 1—2 g/l. Urbumos līdz ar dziļumu mineralizācija pieaug (no 0,5 līdz 2 g/l). Ūdens satur galvenokārt Ca un Mg hidroģenkarbonātus, nedaudz Ca sulfātu vai Na sulfātu, kā arī Ca un Na hlorīdu piejaukumu. Atslogojas Rīgas līcī, Gaujas un Abavas upes ielejās. Gaujas svītas horizonta ūdeņus republikā visbiežāk izmanto ūdens apgādē.

Amatas svītas horizonta (D_3^{am}) biežums Latvijas centrālajā ieliecē sasniedz 35 m. Tas sastāv no irdeniem smilšakmeņiem, kurus augšdaļā pārsedz māli. Ūdeņiem ir liels spiediens un pjezometriskais līmenis Jaunaglonā sasniedz +117 m, bet pie Rīgas tas ir +2 m. Debits — no 1 līdz 5 l/s. Lielākā daļa ūdeņu ir saldi, ar nelielu mineralizāciju — 0,3—0,8 g/l. Ūdeņi satur Ca un Mg hidroģenkarbonātus. Amatas svītas ūdeņus plaši lieto ūdens apgādē.

Plaviņu svītas artēzisko ūdeņu horizonts (D_3^{pl}) sastāv no plaisainiem, porainiem un kavernoziem dolomītiem, kas ir šīs svītas ūdens nesējslāņi. Ūdeņi uzkrājas un cirkulē dolomītu plaisās un porās. Šī horizonta ūdeņiem parasti ir liels spiediens, bet Piejūras zemienē un lielāko upju ielejās artēziskā horizonta pjezometriskie līmeņi krītas. Debits ir no 0,3 līdz 20 l/s. Ūdens ir kvalitatīvs, jo tas salds — mineralizācija 0,3—0,8 g/l. Satur Ca un Mg hidroģenkarbonātus, dažreiz arī sulfātus, ja ieplūst augstāk gulošie Salaspils svītas ūdeņi, krasi palielinās mineralizācija. Šie ūdeņi parasti ir ar paaugstinātu dzelzs saturu. Latvijas dienvidrietumu daļā sastopami sulfātu ūdeņi ar mineralizāciju līdz 2,0 g/l.

Salaspils svītas artēzisko ūdeņu horizonts (D_3^{sal}) nav biezs (līdz 15 m), tas sastāv no ģipšainiem dolomītmerģeļu iežiem. Salaspils svītā cirkulējošie ūdeņi vietām izraisa karsta procesus, it sevišķi atslodzes vietās — upju ielejās, ieplakās (Skaistkalne, Kurmene, Baldone, Saurieši). Debits nekad nepārsniedz 0,3 l/s. Satur sulfātus (ap 2 g/l), arī sērūdeņradi līdz 20 mg/l, ir artēziskie ūdeņi. Ūdens cietība liela.

Daugavas svītas artēzisko ūdeņu horizonts (D_3^{dg}) sastāv no blīviem dolomītiem, merģeļiem, kuri vietām ir plaisaini un veido plaisu tīklu. Austrumu daļā svītas biezums sasniedz 40 m, bet rietumos — ap 8 m. Dolomītu plaisās cirkulē spiedūdeņi ar augstu pjezometrisko līmeni (100 m). Atslodze notiek Rīgas līcī, Daugavas un citu upju ielejās. Ūdens satur Ca un Mg hidroģēnkarbonātus, mineralizācija no 0,5 līdz 1 g/l.

Ogres svītas artēzisko ūdeņu horizonts (D_3^{ogr}) izplatīts Latvijas centrālajā ieliecē. Tā sastāvā ir smilšakmeņi ar dolomītu un mālu slāņiem un kopējo biezumu ap 55 m. Atslogojas Ogres, Pededzes, Mēmeles, Daugavas ielejās. Ūdens ir vāji mineralizēts — 0,5 g/l, satur Ca, Mg hidroģēnkarbonātus.

Amulas svītas artēzisko ūdeņu horizonts (D_3^{am}) sastopams Rieumalvielā. Hidroģeoloģiskie dati iegūti pēc nedaudz urbumiem. Amulas svīta sastāv no merģelāini ģipšainiem dolomītiem, ar smilšakmens un māla starpslāņiem (līdz 25 m). Debits — 0,2—1,5 l/s. Satur Ca un Mg sulfātus un hidroģēnkarbonātus. Mineralizācijas pakāpe ir 0,9—3 g/l, cietība — 20—30 mmol/l.

Famenas ūdens nesējslāņu kompleksā ietverti Jonišķu, Kursas, Abavas, Mūru, Snīķeres, Žagares un Ketleru svītas. Slāņu kompleksa biezums svārstās no 70 līdz 190 m un pieaug dienvidu virzienā. Ūdens nesējslāņus veido smilts, smilšakmeņi, dolomīti. Pjezometriskais līmenis atrodas zemāk par jūras līmeni. Satur Ca, Mg hidroģēnkarbonātus, mineralizācija — līdz 0,6 g/l. Debiti ir mainīgi — no 0,1 līdz 13 l/s. Atslogojas Baltijas jūrā un Ventas ielejā. Šos ūdeņus izlieto Aizputē, Dobelē, Saldū un Skrundā. Liepājā artēzisko ūdeņu intensīvas lietošanas rezultātā ir izveidojusies depresijas piltuve ar pjezometrisko līmeni 7 m zem jūras līmeņa. To krājumi sadzīvinājumā ar citiem artēzisko ūdeņu slāņiem ir nabadzīgāki.

Karbons perioda sākumā Kurzemes dienvidos iestiepās šaurs jūras līcis no Lietuvas. Ieplūstošās upes tur sanesa smilšainus nogulumus. Jūrai paplašinoties, sāļu koncentrācija pieauga un izgulsnējās dolomīti un dolomītmerģeļi. Karbons iežu, kuri satur ūdeņus, kopējais biezums sasniedz 142 m. Galvenais ūdensnesējslānis ir sikkristāliski vāji cementēti plaisaini smilšakmeņi. Karbons artēzisko ūdeņu līmenis atkarīgs no reljefa, to debits ir 3—12 l/s. Tie satur Ca, Mg hidroģēnkarbonātus, mineralizācija — 0,2—0,5 g/l. Izmanto Liepājas, Durbes, Skrundas un Auces pilsētas.

Perma periodā Baltijā bija arī klimats un no dienvidiem Kurzemē ieplūda jūra ar sāļu ūdeni. Izgulsnējās gaiši kārtaini, plaisaini kaļķakmeņi, retāk dolomīti, kuri uzgulst uz karbonātu nogulsniem. Permas sistēmas ūdens nesējslānis ir līdz 35 m biezs plaisains

kaļķakmens, virspusē zem kvartāra nogulumiem plaisu tikls ir biežāks. Pjezometriskais līmenis ir 2—25 m, vidējais debits — no 2 līdz 4 l/s. Satur Ca hidroģēnkarbonātu, ūdens cietība ir 4—7 mmol/l. Dienvidkurzemē šos ūdeņus lieto apdzīvoto vietu ūdens apgādei.

Triasa un juras sistēmas nogulumos Latvijas dienvidrietumu daļā ūdens krājumi ir nelieli un tiem nav praktiskas nozīmes. Tā, piemēram, augšējās juras sistēmas smiltis gandrīz nesatur ūdeni, debits ir 0,006 l/s.

LATVIJAS TERITORIJAS HIDROĢEOLOĢISKIE RAJONI

Latvija ietilpst sarežģītā Baltijas artēziskajā baseinā. Tās teritorijā ir Baltijas vairoga dienvidu nogāze, Baltkrievijas—Lietuvas izciļņa ziemeļrietumu nogāze, kuras savienojas ar Latvijas centrālo ielieci. Latvijas rietumdaļā atrodas Lietuvas—Polijas artēziskā baseina (Baltijas sineklīzes) augšdaļa.

Artēziskos baseinus savukārt iedala artēziskā baseina apakšrajos, ņemot vērā ģeostruktūras elementus, kā arī hidrodinamiskos un hidroķīmiskos apstākļus (113. att.). Šim ģeostruktūrām ir svarīga nozīme pazemes ūdeņu veidošanā un režīma radīšanā Latvijas centrālās ielieces artēziskā baseina apakšrajonā, kurš dienvidos robežojas ar Baltkrievijas—Lietuvas artēziskā baseina apakšrajonu, bet ziemeļos — ar Baltijas vairoga dienvidu nogāzes artēziskā baseina apakšrajonu.

Artēziskos baseinus iedala arī pēc ūdens horizonta dziļuma un izolētības, kas rada dažādu ūdens apmaiņas intensitāti, ko savukārt ietekmē zemes virsējie iežu horizonti un iespaido lielo upju un ieleju ūdens atslodze vairākos hidroģeoloģiskos rajonos. Svarīgi ir arī ūdens nesējhorizontu kvalitatīvie un kvantitatīvie rādītāji. Visu šo heterogēno ūdens slāņu sagulumu sistēmu veido daudzas sarežģītas slāņkopas, kuras kā ūdens necaurlaidīgie slāņi (māli, blīvi dolomīti, kaļķakmeņi, mergēļi u. c.) un ūdens caurlaidīgie slāņi (smiltis, grants, aleirīti, plaisaini dolomīti, kaļķakmeņi u. c.) mijas dažādos dziļumos gan vertikālā, gan horizontālā virzienā. Ņemot vērā kvartāra nogulumu ūdens nesējslāņus un galvenokārt pamatiežu slāņus, pēc dominējošām izmaiņām ūdens daudzuma, sastāva, dziļuma un hidrodinamiskiem apstākļiem Latvijas teritorijā M. Lavrinovičs izšķir šādus hidroģeoloģiskos rajonus: Ziemeļrietumu Vidzemes, Ziemeļkurzemes, Viduslatvijas, Ziemeļaustrumu, Dienvidaustrumu, Viduskurzemes un Dienvidkurzemes (114. att.).

Ziemeļrietumu Vidzemes hidroģeoloģiskais rajons. Hidroģeoloģiskais rajons aptver Vidzemes piekrasti, Rīgas smilšainā līdzenuma ziemeļu daļu, ziemeļrietumu Vidzemes pacēlumu, Vidusgaujas ieplakas ziemeļrietumu daļu. Rajona teritorijā izplatītas subglaciālas vagas un purvainas zemienes. Kvartāra nogulumu biezums svārstās ļoti plašās robežās, vidēji sasniedzot 30—40 m. Ievērojami gruntsūdeņu krājumi ir tikai senā Baltijas ledus ezera smiltis un fluvio-glaciālajos smiltis un grunts nogulumos, kuri uzgulst uz morēnu un līmnogliciālajiem māliem. Šādi apstākļi ir Gaujas lejasgala rajonā



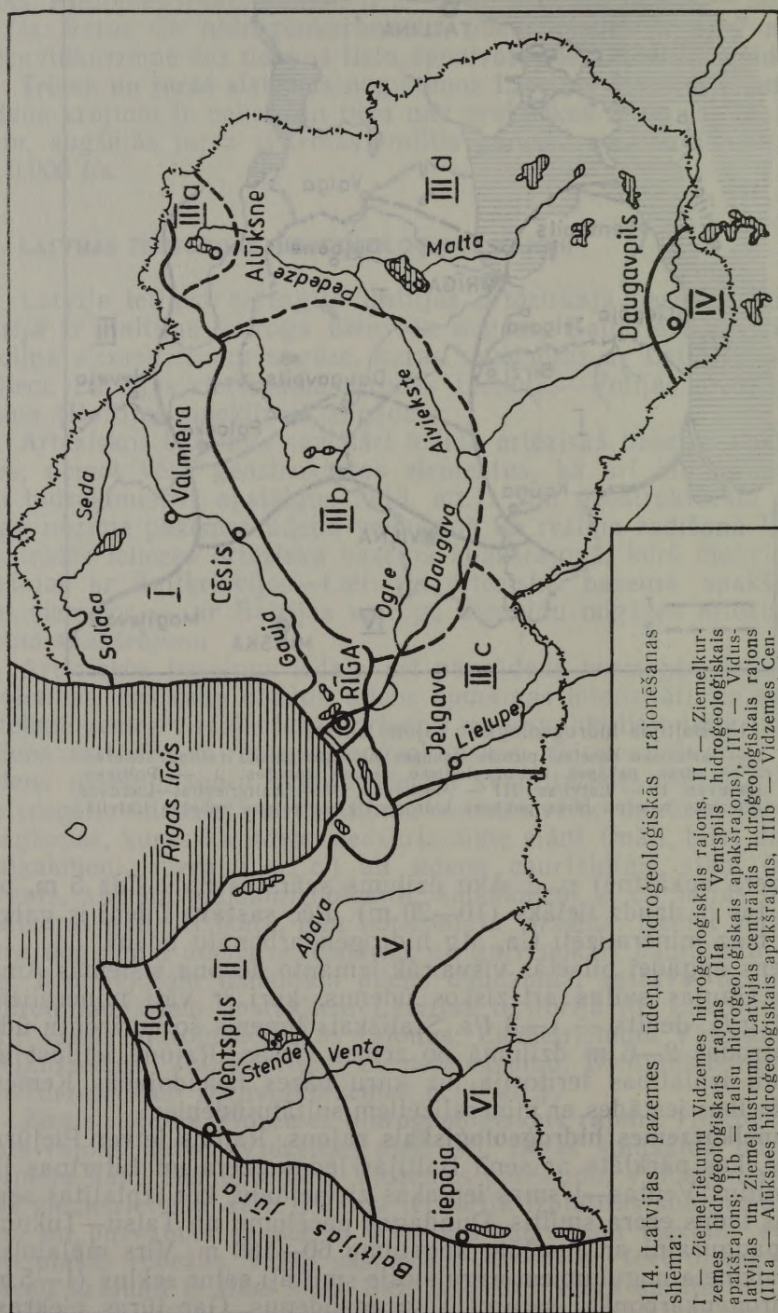
113. Baltijas hidroģeoloģisko rajonu shēma:

1 — artēzisko baseinu pirmās pakāpes hidroģeoloģisko rajonu robežas,
2 — otrās pakāpes hidroģeoloģisko rajonu robežas: I — Polijas—
Lietuvas, II — Latvijas; III — Maskavas, IV — Baltkrievijas—Lietuvas
artēzisko baseinu otrās pakāpes hidroģeoloģisko rajonu robežas Latvijā.

(Baltežera apkārtnē) u. c. Aku dziļums svārstās no 1 līdz 5 m, bet vietām tas ir daudz lielāks (10—20 m). Pēc sastāva ūdeņi ir galvenokārt maz mineralizēti Ca, Mg hidroģēnkarbonātu ūdeņi.

Ūdens apgādei pilsētās visvairāk izmanto devona sistēmas Amatas un Gaujās svītas artēziskos ūdeņus, kuri ir vāji mineralizēti (0,3—1 g/l), debits — 1—3 l/s. Statiskais līmenis šo horizontu ūdeņiem atrodas 2—6 m dziļumā no zemes virsas. Rajonā ietilpst arī sērūdeņu izplatības teritorija, uz kuru bāzes izveidojušās Ķemeru dziedniecības iestādes ar mineralizētiem sulfātu ūdeņiem.

Ziemeļkurzemes hidroģeoloģiskais rajons. Rajons ietver Piejūras zemieni, kas pārklāta ar senā Baltijas ledus ezera un Litorīnas jūras smiltīm, Ventas—Usmas iepakas ziemeļdaļu, kur izplatītas senā Baltijas ledus ezera smiltis, Dundagas pacēlumu un Talsu—Tukuma kēmu pauguraini ar absolūto augstumu 60—180 m. Virs mālainiem ledus laikmeta nogulumiem uzgulstošie smiltāji satur sekļus (1—5 m) Ca hidroģēnkarbonātu saturošus gruntsūdeņus. Gar jūras piekrasti vietām sastopami arī nātrija hlorīda ūdeņi, bet rajona dienvidos



114. Latvijas pazemes ūdeņu hidrogeoloģiskās rajonēšanas shēma:

ūdeņi satur arī sulfātus. Šo hidroģeoloģisko rajonu iedala 2 apakš-
rajonos.

Ventspils hidroģeoloģiskajā apakšrajonā izmanto galvenokārt
kvartāra sistēmas gruntsūdeņus.

Talsu hidroģeoloģiskajā apakšrajonā izmanto devona sistēmas
Gaujas svītas artēziskos ūdeņus urbumos, kuru dziļums svārstās no
74 līdz 145 m. Ūdens faktiskais līmenis atrodas 8—22 m dziļumā.

Viduslatvijas un ziemeļaustrumu Latvijas centrālais hidroģeoloģiskais rajons. Rajonā ietilpst Viduslatvijas nolaidenums, daļa no
Vidusgaujas ieplakas un lielākā daļa Vidzemes Centrālās augstie-
nes. Šajā lielākajā hidroģeoloģiskajā rajonā izdala 4 apakšrajonus.

Alūksnes hidroģeoloģiskais apakšrajons ietver Vidzemes Centrālās
augstienes ziemeļaustrumu daļu. Reljefos raksturīgi morēnu pau-
guri. Ūdens apgādes galvenie avoti ir Daugavas un Ogres svītu
artēziskie horizonti, kas ir vāji mineralizēti Ca, Mg hidrogēnkarbo-
nātu ūdeņi. Urbumu dziļumi pauguru virsotnēs sasniedz 117 m, bet
starp pauguriem — 85 m.

Vidzemes Centrālās augstienes apakšrajons ietver arī daļu no
Viduslatvijas nolaidenuma. Vidzemes Centrālajā augstienē kvartāra
nogulumu biezums sasniedz 120—170 m, tie sastāv no morēnu un
starpmorēnu nogulumiem. Reljefā dominē morēnu un kēmu pauguri.
Gruntsūdeņi izplatīti morēnas smilšainajos starpslāņos un virsējos
smilšainajos horizontos 1—10 m dziļumā. Visvairāk šajā hidroģeoloģiskajā
apakšrajonā izplatīti Ogres svītas artēziskie ūdeņi. Dauga-
vas, Salaspils un Pļaviņu svītu artēziskie ūdeņi šeit sastopami maz.
Statiskie līmeņi atrodas urbumos līdz 40 m dziļumam, bet dažos
jau fontanē.

Jelgavas hidroģeoloģiskais apakšrajons ietver Zemgales līdze-
numu, Rīgas smilšainā līdzenuma dienvidu daļu un Viduslatvijas
nolaidenuma dienvidrietumu daļu. Kvartāra nogulumu biezums šeit
nav liels — vidēji ap 10—20 m. Zemgales līdzenumā izplatīti ūdens
necaurīdīgi morēnu māli un limnoglaciālie māli, Rīgas smilšai-
najā līdzenumā — Baltijas baseina transgresiju smilšainie nogu-
lumi. Gruntsūdeņi izplatīti galvenokārt virsējos smilšainajos nogu-
lumos, zem kuriem atrodas limnoglaciālie māli un morēna. Šajā
apakšrajonā viscaur izplatīti Gaujas un Amatas svītu artēzisko
ūdeņu horizonti, bet tie atrodas dziļāk par 100 m. Ūdeņi no šiem
horizontiem iegūst urbumos 100—250 m dziļumā. Ogres un Dauga-
vas svītu artēziskie horizonti ieņem lielu platību. No šiem horizon-
tiem ūdeņi iegūst 30—60 m dziļos urbumos. Rajona rietumdaļā ir
izplatīts Amulas svītas artēziskais horizonts.

Rēzeknes hidroģeoloģiskais apakšrajons ietver Aknīstes pacēlumu
(115—125 m), Vidusdaugavas līdzenuma ziemeļdaļu, Viļānu—Krust-
pils lēzeno pacēlumu un Lubānas līdzenumu. Visvairāk ūdens apgā-
des vajadzībām pilsētās izmanto Pļaviņu, Daugavas un Ogres svītu
artēzisko horizontu ūdeņus. Dziļāko horizontu ūdens krājumus grūti
izmantot, jo to statiskie līmeņi atrodas ievērojamā dziļumā.

Dienvidastrumu Latvijas (Daugavpils) hidroģeoloģiskais rajons.
Rajons raksturīgs ar sarežģītu reljefu, ko veido Latgales augstienes

dienvidu daļa, Augšzemes augstiene un Zilupes valnis ar daudzveidīgiem pauguriem, kuru absolūtie augstumi sasniedz 180—250 m. Šajā rajonā ietilpst arī Vidusdaugavas līdzenuma dienvidu daļa. Aknīstē kvartāra nogulumi subglaciālās iegultnēs sasniedz maksimālos biezumus — 200—300 m, tie ir vislielākie republikā. Rajona austrumu daļā kvartāra nogulumu biezumi sasniedz tikai 50—70 m. Rajonu šķērso plaša Daugavas ieleja un vairākas subglaciālās vagas. Reljefa ieplakās ir daudz ezeru, purvainu zemieņu un purvu. Ledus laikmeta nogulumu kārtas virsējā daļā (līdz 5—10 m dziļumam) atrodas gruntsūdeņi, bet starpmorēnu nogulumos ir daudz starpslāņu ūdeņu, kas atrodas zem spiediena. Pamatiežos visvairāk izplatīts Gaujas svītas artēziskais horizonts. Izmanto arī Salacas svītas artēzisko horizontu. Urbumu dziļums 100—170 m. Daugavpils tuvumā pamatiežos konstatēts dziļš iegrauzums, kur atsedzas Tartu un Narvas svītu artēzisko ūdeņu horizonti, kas ir sālsūdeņi — satur 103 g/l sāļu.

Viduskurzemes hidroģeoloģiskais rajons. Šajā rajonā ietilpst Kurzemes piejūras zemienes vidusdaļa, Ventas—Usmas ieplakas vidusdaļa, lielākā daļa Rietumkurzemes augstienes un Austrumkurzemes augstienes, kā arī Piejūras smilšainās zemienes rietumu daļa. Kvartāra nogulumu biezums nepārsniedz 20—30 m. Zemienēs tie sastāv no fluvioglaciālām smiltīm un limnoglaciāliem māliem. Pauguri sastāv no morēnu materiāliem un kēmi no fluvioglaciāliem smilšaini grantainiem materiāliem. Kvartāra nogulumos gruntsūdeņi sastopami jau 1—5 m dziļumā un dziļāk.

Artēziskie ūdeņi atrodas Gaujas un Amulas svītu artēziskajos horizontos, kā arī Kursas svītas artēzisko ūdeņu horizontā. Vislielākā praktiskā nozīme ir Gaujas svītas artēziskajam horizontam, kas sasniedzams urbumos 100—150 m dziļumā. Pēc sastāva tie ir maz mineralizēti Ca, Mg hidroģēnkarbonātu ūdeņi.

Dienvidkurzemes hidroģeoloģiskais rajons. Šis rajons ietver Piejūras zemienes dienvidu daļu, Ventas—Usmas ieplakas dienvidu daļu, Rietumkurzemes augstienes dienvidu daļu, Austrumkurzemes augstienes dienvidu daļu un Zemgales līdzenuma dienvidu daļu. Reljefs viļņots ar absolūto augstumu līdz 30—90 m. Kvartāra nogulumu biezums ir no 5 līdz 50 m, bet Austrumkurzemes augstienē tas pārsniedz 100 m. Gruntsūdeņi kvartāra nogulumos atrodas 2—11 m dziļumā.

Izmanto galvenokārt karbona sistēmas iežu artēziskos ūdeņus. Tos ņem no 40 līdz 170 m dziļiem urbumiem. Perma sistēmas artēziskā horizonta ūdeņus izmanto retāk.

INŽENIERĢEOLOĢIJAS PAMATI

GRUNTS MĀCĪBA

Inženierģeoloģija ir ģeoloģijas nozare, kas pēta iežus kā vidi, kurā tiek novietotas dažādu būvju pamatnes un kur tiek veikta celtniecība. Bez tam tā izzina ģeoloģiskos procesus, lai novērstu varbū-

tību, ka šie procesi varētu apdraudēt būvju stabilitāti. Inženierģeoloģijā izšķir šādas galvenās nozares:

- grunts mācību,
- inženierdinamiku,
- reģionālo inženierģeoloģiju.

Šobrīd inženierģeoloģijā pastāv arī nozares, kas pēta ģeoloģiskās vides racionālas izmantošanas un aizsardzības problēmas. Tā aplūko ne tikai ģeoloģiskās vides iedarbību uz būvobjektiem, bet arī celtniecības objektu nevēlamo iedarbību uz ģeoloģisko vidi (rūpniecisko notekūdeņu novadīšana, gāzu krātuves u. c.). Visām nozīmīgākajām celtnēm līdz ar projektu sniedz atzinumus un datus par dotās teritorijas inženierģeoloģiskajiem apstākļiem, galvenokārt grunts raksturojumu. Inženierģeoloģijas nozari, kas pēta grunts sastāvu, uzbūvi un īpašības, sauc par grunts mācību. Būvju slodzes izraisītos mehāniskos procesus objektos pēta grunts mehānika. Inženierģeoloģijā iežus novērtē pēc grunts masas. Par *grunts masu* sauc zemes garozas virsējo kārtu pat līdz 4—5 km dziļumam, kurā noris cilvēku darbība (šahtas, raktuves). Grunts masu pēta kā daudzkomponentu sistēmu, kuras īpašības izmainās atkarībā no tā, kā grunts poras pildītas ar ūdeni vai gaisu. Izšķir

- *vienfāzes* grunti — sausas smilts grunts, kaut arī tā satur nedaudz gāzu, tās praktiski neietekmē grunts īpašības;
- *divfāžu* grunti — sastāv no cietām daļiņām un ūdens;
- *trisfāžu* grunti — bez cietajām daļiņām un ūdens satur arī gaisu, kam ir svarīga loma.

Šis iedalījums ir shematisks, tajā svarīga nozīme ir grunts granulometriskajam sastāvam. Gruntīm mainoties no vienas fāzes otrā, būtiski mainās grunts īpašības. Tā, piemēram, māli sausā stāvoklī iztur lielu slodzi, bet piesātināti ar ūdeni tie kļūst plastiski un viegli deformējas. Arī smalkas smiltis piesātinātas ar ūdeni veido celtniecībā nelabvēlīgo «plūstošo smilti». Less samitrinoties no cieta ieža pārvēršas viegli deformējamā iezī, kurš zem spiediena saplok.

Grunts cietās fāzes īpatnības raksturo ieža tekstūra un struktūra. *Grunts tekstūra* nosaka atsevišķo elementu telpisko izvietojumu un orientāciju iežos, piemēram, slāņainās sloksņu māla tekstūras, kas nogulsņējas sezonāli, vai slāniskās tekstūras, kas veidojas metamorfos iežos spiediena rezultātā u. c. *Grunts struktūra* atkarīga no minerālu graudu lieluma, formas un kristalizācijas pakāpes. Ja ir labi izteikts kristāliskais stāvoklis, kā tas ir vairumā magmatisko un metamorfo iežu, tad struktūra ir pilnkristāliska. Nogulumiežiem ir vājāk izteikts kristāliskais stāvoklis un nav grunts struktūras saišu starp atsevišķiem struktūras elementiem. Irđeno grunšu struktūras galvenais rādītājs ir to granulometriskais sastāvs, t. i., sastāvdaļu izmēri, ko izsaka milimetros un apvieno atsevišķās frakcijās.

Pēc granulometriskā sastāva, ņemot vērā minerālsastāvu, nosaka iežu *litoloģisko tipu*.

Grunts *celtnieciskās īpašības* nosaka iežus veidojošie minerāli, kvarcs, laukšpatu grupa, vizlas, dolomīti, kalcīts, ģipsis u. c. Sevišķa nozīme ir mālu minerāliem, kuriem ir augsta dispersitāte. Bieži

šādas grūntis ir dispersas sistēmas ar atšķirīgām koloīdu īpašībām, koagulācijas spēju, tiksotropiju, jonu adsorbciju u. c. Pat neliels mālu daļiņu piejaukums piešķir grūntim plastiskumu, lipīgumu, uzbrīšanas spēju un citas īpašības. Grūnts īpašības maina arī tās minerālu fizikālās īpašības: cietība, šķīdība, izturība pret dēdēšanu, blīvums, pretestība bīdei u. c. Grūnts daļiņu blīvumu izsaka ar grūnts cieto daļiņu masas un tilpuma attiecību. Granīta minerālgrūnts blīvums ir 2,3—2,7 g/cm³. Grūnts plastiskums atkarīgs no māla daļiņu satura, mineraloģiskā sastāva un konsistences. *Plastiskums* ir grūnts spēja ārējās slodzes iedarbībā izmainīt formu un to saglabāt pēc ārējo spēku darbības izbeigšanās. Atkarībā no mitruma grūntis var būt cietas, plastiskas un plūstošas. Plastiskai mālu grūntij ir noteikts mitruma diapazons, kas atbilst drupšanai un plūstamībai. To raksturo konsistences rādītājs. Mālu grūntīs svarīga celtniecības īpašība ir *uzbrīšana*, kas rada mālu ieža tilpuma palielināšanos samitrināšanas rezultātā. Uzbrīšanu raksturo ar uzbrīšanas rādītāju un uzbrīšanas spiedienu. Uzbrīšanas rādītāju (bez sāniskās izplešanās) aprēķina pēc formulas

$$E_{sw} = \frac{h_1 - h}{h},$$

kur h_1 — grūnts parauga augstums pēc samitrināšanas, mm;
 h — parauga sākotnējais augstums, mm.

Ja $E_{sw} \geq 0,04$, mālu grūnts ir uzbrīstošs. Uzbrīšanas spiedienu mālu grūntim, ja nav iespējama grūnts tilpuma palielināšanās, mēra MPa.

Inženierģeoloģijā nozīmīga ir grūnts *salizturība*, kas ir spēja pretoties temperatūras iedarbībai sasāļšanas un atkuššanas rezultātā.

Lipīgums ir grūnts spēja pielipt pie dažādiem priekšmetiem. To raksturo spēks MPa, kas nepieciešams šo priekšmetu atraušānai no grūnts. Lipīgums traucē ekskavatora un transportlīdzekļu darba efektivitāti, grūnts transportēšanu.

Iežu *tiksotropija* ir grūnts spēja dinamiskas darbības (vibrācijas, triecienu u. c.) rezultātā sašķidrīnāties, t. i., no plastiskā stāvokļa pāriet plūstošā.

No grūnts mehāniskajām īpašībām raksturīgākās ir pretestība spiedei, pretestība bīdei, deformējamība. Ārējo slodžu iedarbībā grūnts masīvā attīstās spriegums, kurš rada nobīdi, grūnts izspiešanos no pamatu apakšas, rodas noslīdeņi un grūnts nobīde uz sāniem, kā arī citas bīdes deformācijas.

Grunšu klasifikācija

Ir zināmas F. Savarenska (1937), J. Sergejeva (1982), L. Belija (1985) un citas grunšu klasifikācijas shēmas inženierģeoloģiskās izpētes darbos, projektēšanā un celtniecībā grunšu klasifikāciju nosaka Valsts standarts. Visās grunšu klasifikācijas shēmās grūntis iedala pēc ģenēzes un raksturīgajiem iežu tiptiem, ievērojot to galvenās

īpašības. Svarīgākā ir grunts spēja pretoties būvju radītām slodzēm, kuras mēra megapaskālos. Šo īpašību nosaka daudzi faktori: iežu struktūras saites, minerālu kristālu uzbūve, dispersijas pakāpe, ķīmiskie procesi, ūdens attiecība pret iežiem, plaisainība, izotropisms un citas fizikālās un ķīmiskās īpašības. Iežu veidošanās procesos rodas iežu struktūras saites. Magmatiskiem iežiem tas notiek, magmai atdziestot, metamorfiem iežiem — metamorfisma procesos, bet nogulumiežiem — nogulsņējoties un izkristalizējoties no šķīdumiem un daudzos citos procesos. Iežu pastāvēšanas laikā iežu struktūras saites izmainās. Šo procesu īpaši ietekmē dēdēšana, infiltrācija, piesātināšana, kā rezultātā grunts pārveidojas. Grunšu sastāvu un īpašības var izmainīt arī cilvēka darbība, tiek veidotas mākslīgas grunts ar izturīgām struktūras saitēm. Inženierģeoloģijā grunšu klasifikācijā izšķir klinšainas, pusklinšainas, irdenas un īpatnēja sastāva grunts (sk. L. Belija «Iežu inženierģeoloģiskā klasifikācija»; 35. tab.).

PAZEMES ŪDEŅU DARBĪBA

Karsta procesi. Zemes virsas reljefu izmaina arī pazemes ūdeņu plūsmas. Gan pazemes, gan arī virszemes ūdeņiem, nonākot saskarē ar šķīstošiem iežiem (kaļķakmeni, dolomītu, ģipšakmeni u. c.), sākas šo iežu šķīdināšana kā virspusē, tā dziļumā un izšķīdušo iežu izskalošanās. Iežos sāk veidoties plaisas, alas, tukšumi un citas formas, kas rada iebrukumus — šādu procesu sauc par karstu. Ar terminu «karsta procesi» apzīmē ģeoloģiskās parādības, ko izraisa pazemes un virszemes ūdeņu kopēja darbība. Tā izpaužas galvenokārt kā iežu šķīšana un dažāda lieluma plaisu, alu un tukšumu izveidošanās iežos. Karsta nosaukums cēlies no Dienvidslāvijas kaļķakmens Karsta plato, kas atrodas netālu no Triestas. Šie procesi novērojami Dienvidslāvijā visā Dināru kalnienē, Krimā, Urālu rietumu nogāzē, Vidusāzijā, Tjanšanā, Kaukāzā, dažās vietās arī Baltijas valstīs u. c. Pasaulē karsta apgabali aizņem vairāk nekā 50 milj. km², no kuriem 80% izplatīti karbonātu ieži (kaļķakmens, dolomīts). Mazāka izplatība ir ģipšainiem iežiem, kuru šķīdība ir daudz lielāka. Tā 1 l destilēta ūdens var izšķīdināt 0,2 g kalcīta, bet 2,6 g ģipša. Iežu izšķīšana var notikt kā zemes virspusē, tā arī dziļumā. Iežu virspusē pirmās plaisas parādās karbonātu iežos, pa tām sākas ūdens filtrācija un iežu šķīšana, filtrācija palielinās un šķīšana paātrinās. Rezultātā Zemes virspusē izveidojas dažāda platuma un dziļuma rievas jeb vagas, radot karra reljefu (115. att.). Dažās vietās karra masīvā izšķīdinot iežus, var izveidoties pat līdz 50 m dziļas karsta akas. Karsta procesa intensitāte stipri atkarīga no ūdens filtrācijas ātruma, kas strauji palielinās, ja paplašinās plaisas un sākas brīva ūdens cirkulācija. Karsta procesa intensitāti veicina arī temperatūra, CO₂ un dažāds sāļu daudzums ūdenī. Temperatūrai paaugstinoties, pieaug karbonātu iežu šķīšana. Ģipšaino iežu šķīdība, temperatūrai palielinoties, pieaug līdz 35°C, pēc tam tā samazinās. Kalcīta šķīdību daudzkārt palielina CO₂ saturs ūdenī, jo tas veicina

Iežu inženierģeoloģiskā klasifikācija (L. Belijs, 1985. g.)

35. tabula

Klase	Grupa un apakšgrupa	Tipi	Galvenās īpašības
Klīnšainie ieži	Magmatiskie ieži: intruzīvie ieži efuzīvie ieži	Granīts, sienīts, diorīts, gabro Kvarcporfīrs, andezīts, diabāzs, bazalts, porfīrs u. c.	Ciešas kristāliskās un cementēšanās saites, kuru izturība ir līdzīga minerāldaliņu izturībai, ieži ir blīvi (masīvi), bez ūdens ietilpības, ūdens caurlaidība tikai plaisās, ūdeni nešķīst, liela pretestība spiedei — praktiski nav saspižami (ja nav plaisu), izotropi vai anizotropi.
	Nogulumieži, cementētie: drupu ieži ķīmiskie nogulumi biokīmiskie nogulumi Metamorfie ieži: kontakta metamorfie ieži reģionālie metamorfie ieži	Smilšakmens, konglomerāts, brekcija Cietais trepels, diatomīds Kaļķakmens, dolomīts, kramainie ieži Marmors, kramainis, skārpi Gneiss, kvarcīts, kristāliskie slānekļi, magmatīts	
Pusklīnšainie ieži	Magmatiskie ieži Nogulumieži, cementētie: drupu ieži ķīmiskie nogulumi organogēnie ieži Metamorfie ieži	Stipri sadēdējušie un plaisainie, porainie trahīti, vulkaniskais tufs. Konglomerāts, brekcija, smilšakmens ar māla cementu, argilīti Gipsis, akmeņsāls Gliemežu kaļķakmens (dolomīts), krīts, merģelis Slānekļi: māla, grafitā, talka	Ciešas kristāliskas saites un cementācijas saites, kas visuma ir vājākas nekā klīnšainiem iežiem. Blīvi, sīkporaini vai masīvi ieži, bez vai ar mazu ūdens ietilpību, ūdeni nešķīst, izņemot karbonātiežus (0,01 g/l), sulfātiežus (2—3 g/l) un halogēniežus (300 g/l); ūdens caurlaidība pa plaisām vāja un videja, pretestība spiedei — augsta un videja, spiedes rezultātā deformējas vāji, anizotropi.

Irdenie ieži	Nogulumieži, necementētie: putekļainie, mālainie drupu ieži	Putekļainie: less, smilts, putekļu māli Mālainie: māls, smilšmāls, mālsmilts Rupjgabalinie: akmeņi, oļi, šķembas Smiltsieži: grants, smilts, zvīrgzdi	Ūdens saites — koloidālas, kas vājakas par minerālgraudu izturību; ievērojama porainība un ūdens ietilpība; ūdenī nešķīst; bīdes pretestība vāja; deformējas zem spiediena; piemīt spēja uzbrīst, ieslēgt sala uzblidumus. Sausā stāvoklī birstoši, poraini bez mitruma ietilpības, bez saistspējas. Stipra ūdens caurlaidība, maza bīdes pretestība; zem statiskas slodzes vāji deformējas, zem dinamiskas slodzes stipri sablīvējas; piesātinoties ar ūdeni, sašķidrinas un sāk plust.
Ipatnēja sastāva un konsistences ieži	Nogulumieži, cementētie un necementētie: drupu ieži biogēnie ieži	Mūžīgā sasaluma ieži, sasāļotie ieži, tehnogēnie ieži Augsne, kūdra, dūņas (sapropelis)	

šķīstošo karbonātu veidošanos, bet ģipšus CO_2 iespaido maz. Ģipša šķīdība gandrīz 4 reizes palielinās, ja ūdenī ir izšķīduši NaCl un KCl.

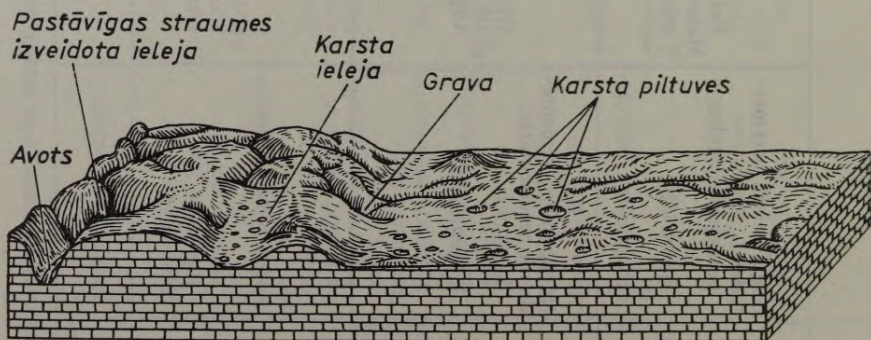
Karsta procesu visvairāk bremsē māla daļiņas, kas jau sākumā tamponē izveidojušās plaisas.

Karsta procesi var veidoties tikai tad, ja noris ūdens cirkulācija. Visintensīvāk tā noris upju ielejās vai citās reljefa ieplakās, kur straujāk virzās drenējošie ūdeņi. Noteiktā dziļumā, atkarībā no iežu sastāva, reljefa un citiem faktoriem, kur vairs nenotiek intensīva pazemes ūdeņu cirkulācija, atrodas karsta bāze. Visa pazemes karsta sistēma atkarībā arī no vietējā hidrogrāfiskā tīkla attīstās līdz karsta bāzei. Pazeminoties karsta bāzei, pastiprinās karsta procesi. Izšķir *aktīvo karstu* un *seno jeb pasīvo karstu*, kura veidotās formas pašreiz atrodas zemāk par karsta bāzi un vairs tālāk neatīstās. Senie karsti sastopami Sibīrijā u. c.

Karstu procesā izveidojas ne tikai dažādas *virszemes* (atklātās), bet arī *pazemes* (slēgtās) karstu formas.

Jaunākos kalnu rajonos Alpos, Krimā un citur bez zemes virspusē veidotām karru formām sastopamās izplatītākās formas ir *karstu piltuves* un *bedres*, kas veidojušās, atmosfēras ūdeņiem šķīdinot iežus un ieplūstot atklātos karsta apstākļos (116. att.). Tās izplatītas veselām rindām un savienojoties var veidot lielākas karsta virszemes formas — ieplakas, kuru dziļums var sasniegt 10—100 metrus. Dienvidslāvijā Livonskas ieplaka aizņem 379 km². Iebrūkot pazemes izveidotām karsta tukšuma velvēm, Zemes virspusē rodas *krītenes*. Šādas krītenes izplatītas ģipšainu iežu rajonos, Latvijā — Skaistkalnes, Baldones un Ķemeru apkārtnē, kā arī Sanktpēterburgā, Permas apgabalos u. c. Krītenes izvietojas rindās galvenokārt gar upju ielejām, gar tektoniskām plaisām, un to izmēri var būt no dažiem metriem līdz pat 100 metriem.

Ja karsta procesi norisinās iežos, kuri pārklāti ar biezu nešķīstošu kārtu, veidojas pazemes (slēgtās) karsta formas — alas, koridori, pazemes ezeri, upes. Dažreiz karsta rajonos novērojama upju un ezeru izzušana. Upes, savā ceļā satiekot piltuves un kanālus, var noplūst pazemē, bet dažreiz tās parādās no jauna. Baškīrijas upe



115. Karsta rajona blokdiagramma.



116. Karsta piltuve.

Jamāņjema 40 km plūst zem zemes un tikai 17 km no izteces parādās virspusē. Upes, plūstot pa karsta apgabaliem, var zaudēt daļu ūdens, kā, piemēram, Ogre savā vidusdaļā. Karsta procesos izveidotās alas ir dažāda lieluma un formas, tās izveido dažādus labirintus un koridorus. Pasaulē pazīstama karsta ala ir mamuta ala ASV Kenfuki štatā, kas kopā ar saviem sānzariem ir 250 km gara. Šajā alā galeriju augstums mainās no 1 m līdz 80 m, tajā tek 3 upes. Lai mamuta alu varētu apmeklēt tūristi, tajā ierīkoti lifti («Mamuta mājā») un apgaismojums. Maz vēl pētītas karsta alas Dienvidamerikā un Āfrikā. Liela karsta ala ir Ezeru ala, kas atrodas Podolijā, tā ir 26 km gara. Karstu alās veidojas un ir izplatītas satecējumu formas — stalaktīti un stalagmīti —, bieži izgulsnējas šūnakmens.

Izšķir arī tā saucamos kailkarstus un segtos karstus. Kailkarstos augsnes kārtā ir noskalota un nav augu valsts, piemēram, Krimā, Kaukāzā. Mēreni mitrā klimatā sastopamas segto karstu formas, kas pārklātas ar augu valsti, jo nav noskalota augsnes kārtā, piemēram, Latvijas kriterēs un karstu formās pie Ņeņegas ezera, Baškirijā u. c. Pašreizējo karsta intensitāti novērtē relatīvi pēc tā, cik ātri palielinās piltuvju un citu karsta formu platība gada laikā, sākotnējo platību izvēloties 1 km². Z. Makejevs izdala intensīvus karsta rajonus, ja rodas 5—10 piltuves gadā, stiprus karsta rajonus — 1—5 piltuves gadā, vidējus karsta rajonus, ja rodas 1 piltuve 20 gados, un vājus karsta rajonus, ja viena piltuve rodas tikai 50 gados.

Karsta procesi ir bīstami dažādu celtniecības objektu būvniecībai un ekspluatācijai (var ciest ēkas, tilti, dambji, ceļi, šahtas u. c.). Pasaulē pazīstama ir Andalūzijas 72 m augstā dambja spēkstacija, kuras pamatā atrodas kaļķaini karsta procesa skarti ieži. Ielaižot spēkstacijas krātuvē ūdeni, tas viss pa plaisām noplūda leņpus dambja. Karsta rajonos uzceltas Pavlovas, Kahovkas HES, Latvijā — Pļaviņu HES. Karsta ūdeņi apgrūtina derīgo izrakteņu iegūšanu šahtās, metro līniju celtniecību. Tāpēc jāveic pasākumi, kas izraisa ūdens līmeņa pazemināšanos, jālieto kesoni, jāizdara iežu cementsēšana, bitumizācija, mākslīga ieža sasaldēšana, mākslīga kolmatācija u. c. Ceļu ierīkošana karsta rajonos nav ieteicama šī procesa dārdzības dēļ. Projektējot dažādas celtnes pilsētās, kur sastopami

karsta rajoni, ir detalizēti jāizpēta ģeoloģiskā uzbūve un hidroģeoloģiskie apstākļi. Tā Rīgā rūpes sagādā Ķengaraga un Imantas augšdevona Salaspils svītas ģipšainie nogulumi, kuros viegli veidojas un veidojušies karsta procesi.

Sufozijas procesi. No karsta procesa ir jāatšķir sufozija (latīņu *suffozio* — parakties), kas rodas, ja ūdeņi, plūstot pa iežu porām un plaisām, ne vien šķīdina, bet mehāniski izskalo iežu masīva sīkākās frakcijas, kuru rezultātā iežos var izveidoties tukšumi, kanāli, alas, kas izsauc zemes iegrimumus, un veidojas formas, kas līdzīgas karsta piltuvēm, alām u. c. Izšķir divus sufoziju veidus: *mehānisko* un *ķīmiski mehānisko sufoziju*. Ja pazemes ūdeņi izskalo smilšu, aleirītu un māla daļas un tās tiek iznestas suspensiju veidā, tad šo procesu sauc par mehānisko sufoziju. Tas raksturīgs smilšainiem iežiem un visintensīvāk noris iežos ar neviendabīgu un mainīgu granulometrisko sastāvu. Ja pazemes ūdeņi cirkulē iežos, kur bez smilšu, aleirīta un māla daļiņām sastopami šķīstošie ieži, tad noris ķīmiski mehāniskā sufozija. Plūstošie ūdeņi vispirms izšķīdina sāļus, piemēram, Latvijā karbonātu cementu devona smilšakmeņos, un tad turpinās siko daļiņu mehāniskā izskalošana. Sufozijas turbulentā ūdens kustība viskrasāk izpaužas nogāzēs. Pazemes ūdeņu hidrodinamiskais spiediens, kam ir liela nozīme sufozijas norisē, palielina pazemes ūdeņu kustības ātrumu. To izsaka ar kritiskās plūsmas gradienta un kritiskās ūdens plūsmas ātrumu. Notiek daļiņu atraušānās no masīviem iežiem un to aiznešana suspendētā stāvoklī. Kritiskās plūsmas lielumu un ātrumu, kas atkarīgs no smilšaino iežu blīvuma un porainības, var noteikt pēc E. Zamarina formulām

$$Ik = (\rho - 1) (1 - n) + 0,5n,$$

kur Ik — plūsmas gradienti,

ρ — ieža blīvums,

n — porainība, izteikta daļas veidā.

Hidrodinamiskais spiediens darbojas atbilstoši hidrodinamiskajai līknei, kuru plūstošās sufozijas straumei aprēķina pēc formulas

$$D = \rho_0 n L,$$

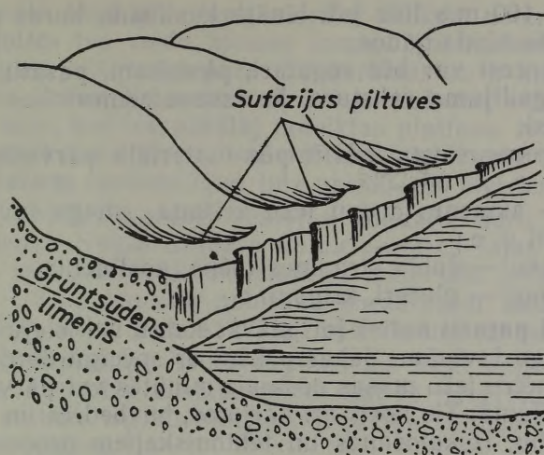
kur D — hidrodinamiskais spiediens, g/cm³,

ρ_0 — ūdens blīvums,

n — porainība,

L — hidrauliskais gradients.

Smilts iežos sufozija sākas, ja kritiskais plūsmas gradients > 5 . Būvējot hidroelektrostacijas vai dambjus, lielie gradienti rodas sakarā ar ūdens līmeņa starpību augšpus un lejpus dambja, sāk izveidoties pazemes ūdeņu plūsma zem dambja pamatiem vai apkārt dambim. Sufozijai attīstoties, celtne vai dambis var deformēties vai pat sabrukt. Īpaši izteikti sufozijas procesi ir lesa iežos, kuros jau ir izšķīduši karbonāti un kas atrodas kontaktā ar citiem iežiem. Sufozijas rezultātā šajos rajonos bieži veidojas noslīdeņi. Latvijā sufozijas procesi novērojami upju ielejās, īpaši devona smilšaino iežu atsegu-



117. Sufozijas piltuves upes terasē. Sufozijas rezultātā radušies noslīdeņi.

mos. Tajos izveidojas sufozijas piltuves, alas (117. att.), tukšumi kā Gaujas, Salacas, Amatas un citu upju krastos. Parasti smilšakmeņu lūzuma vietās intensīvi plūst sufozijas ūdeņi, tie veidojuši Gūtmaņa alu, Līepas Ellīti, Vintera alu pie Cēsīm u. c. Vietās, kur sufozijas procesā sairuši smilšakmeņi un noplūdis ūdeņains materiāls, radušās piltuvveida ieplakas. Šādas kritenes sastopamas arī Vaidavas ielejā un Braslas upes lejteces rajonos. Sufozijas rajonos, būvējot celtnes, svarīgi ir pārtraukt ūdens filtrāciju iežos, regulējot pazemes ūdens izplūdes vietas un virszemes noteci, pazeminot gruntsūdens līmeni, ierīkojot hidroizolāciju, samazinot filtrācijas ātrumu un, ja nepieciešams, pielietojot arī silikatizāciju, cementēšanu, saldēšanu un citus inženiertehniskos pasākumus.

NOGĀŽU PROCESI

Nogāžu procesos noris iežu materiāla pārvietošanās pa nogāzi ciētā vai pusšķidrā stāvoklī gravitācijas spēka ietekmē. Šajos procesos parasti piedalās arī ūdens vai ledus. Lai izprastu nogāžu procesus, ir jāzina apkārtnes apstākļi, kustības ātrums pārvietošanās procesā, nogāzes orientācija un platība, ģeoloģiskā uzbūve un berze, kura rodas starp nogāzi un iežu materiālu. Apkārtnes apstākļi atkarīgi no klimata, īpaši no nokrišņu daudzuma. Bagātīgu nokrišņu apgabalos nogāzes kļūst lēzenākas, jo materiāls tiek nepārtraukti nonests. Gravitācijas spēku darbība paātrinās, ja noris nepareiza zemes apstrāde, pēc lieliem ugunsgrēkiem, kad gājusi bojā koku sakņu sistēma. Sauss klimats veicina stāvu nogāžu saglabāšanos. Nogāžu procesos mehāniskās pārvietošanās ātrums ir ļoti

dažāds — no 100 m/s līdz ļoti lēnām kustībām, kuras mēra metros vai metru daļās simts gados.

Nogāžu procesi var būt regulāri, piemēram, pasātu vai musonu lietavās, vai gadījuma rakstura, ko izsauc zemestrīces vai citi tektoniskie procesi.

Nogāžu procesus var iedalīt pēc materiāla pārvietošanās veida un ātruma:

- *krišana* — akmeņu, drupu iežu krišana, sniega lavīnas, nogrūvumi, nobirumi u. c.;
- *ātra tecēšana* — dubļu straumes (sēļi), noslīdeņi;
- *lēna tecēšana* — glečeri, krips u. c.

Nogrūvumi parasti notiek ļoti stāvās kalnu vai ieleju nogāzēs. Tie ir līdzīgi sniega lavīnām. Sākas pēkšņi ar spēcīgu dārdoņu, un miljoniem kubikmetru iežu masas nedaudz minūtēs var pārvietoties dažu kilometru attālumā. Tie noris arī karjeros, būvbedrēs un ir saistīti ar iežu plaisainību, izskalošanos un tektoniskajiem procesiem. Nogrūvumi veidojas pēc bagātīgām lietavām, kuras palielina ieža materiāla blīvumu, ieža izskalošanos un plaisu rašanos.

Nogrūvumi raksturīgi rajonos, kur sastopami saplaisājuši kaļķakmeņi un smilšakmeņi, bet tie retāk notiek blīvos magmatiskos un metamorfos iežos. Parasti pirms nogrūvumiem iežos parādās jaunas nogāzei paralēlas plaisas, kuras paplašinoties rada dobļus trokšņus. Lielākā daļa nogrūvumu notiek pavasaros, dienas pirmajā pusē. Šajā laikā iežu plaisās iekļuvušajam ūdenim sasilstot, palielinās tā tilpums un plaisu sienas tiek pabīdītas. Nogrūvumus veicina arī ģeoloģiskās uzbūves dažādība, piemēram, ja ieži guļ uz māla starpslāņa, kurā pa plaisām nokļūst ūdens, māli zaudē savu noturību, kļūst plastiski, sāk tecēt un klinšu gabali sāk nogrūt. Nogrūvumiem krītot pa stāvu nogāzi, tie bieži atsitās pret krauju izciļņiem un daļu no atsistā materiāla aizrauj līdzī. Materiāls sadrupinās, un bieži izveidojas lieli putekļu mākoņi, kas ilgi nenosēžas.

Nogrūvumi izplatīti jauno kalnu rajonos — Kaukāzā, Pamirā, sevišķi Alpos, kur tie bieži izraisa katastrofas. VI gs. Itālijā tika aprakta pilsēta Vellija, kas nozuda no zemes virsas. Nesen 1978. g. nogrūvumā Šveicē gāja bojā vairāk nekā 3000 cilvēku. Nogrūvumi ātrāk veidojas iežos, kuri viegli sadēd, piemēram, vizlu slānekļos, kas sastopami Apalačos u. c. Kalnu rajonos nogrūvumi aizsprosto šaurās un dziļās upju ielejas un izveidojas dziļi sprostezeri. Tā Kaukāzā izveidojās pazīstamais Ricas ezers. Dažreiz nogrūvuma masa var būt ļoti liela, Pamirā tā sasniedza 7 miljonus tonnu un, aizsprostojot ieleju, izveidoja Sarezas ezeru.

Lai likvidētu nobrukumus, kas var sagraut pilsētas, rūpniecības objektus, ceļus, dzelzceļus, bieži ir jāizveido jaunas mākslīgas gultnes upēm, jācīnās ar plaisu tamponēšanu vai jāizraisa mākslīgi sprādzieni, kas jau iepriekš atdalītu daļu materiāla. To veic pēc rūpīgas inženierģeoloģiskās izpētes; tā rezultātā tiek pieņemti lēmumi par nogrūvuma bloķēšanu vai inženieraizsargbūvju ierīkošanu.

Nobiras veidojas pie stāvām nogāzēm, kur aktīvi noris fiziskās iežu dēdēšanas procesi. Iežu intensīvas sadēdēšanas rezultātā rodas

drupu materiāls, kurš gravitācijas spēka ietekmē nobirst nogāžu pakājē. Sakrājoties tas veido konusa formu. Nobiru konusi parasti ir bez augu segas, jo to masa parasti papildinās un ir kustīga. Konusu materiāls pēc lielām lietavām vai sniega kušanas sāk virzīties līdz līdzenākai vietai, kur tas pārklāj noteiktas platības. Nobiras var aizņemt nedaudz kvadrātmetru vai pat kvadrātkilometru. To biezums var būt no dažiem centimetriem līdz pat 30—50 metriem.

Kustīgās nobiras parasti veidojas nogāzēs, kuru slīpums pārsniedz 45° leņķi. Sausā klimatā kalnu nogāzes lejas daļā, kurā ir blīvi masīvi ieži, var veidoties akmeņu materiālu jūras, kuras sauc par *kurumi*. Uz aprimušām nobirām, kuras satur akmeņus, smiltis, granti, veidojas augu sega, sāk augt zāle, krūmi un meži.

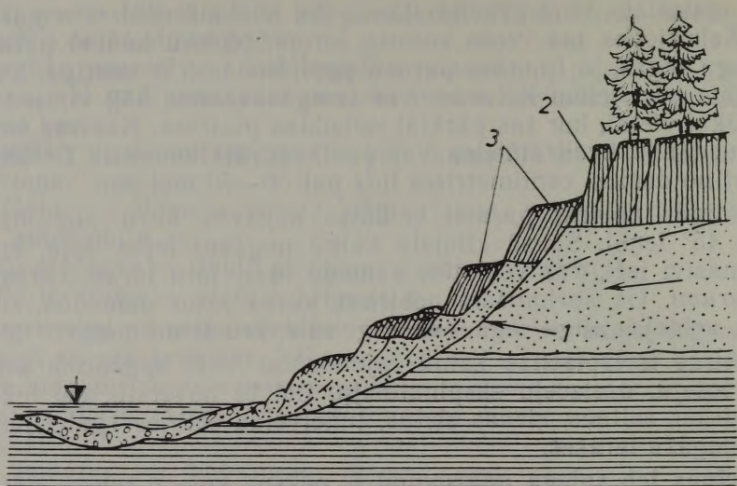
Nobiras ir izplatītas kalnu rajonos un bieži apgrūrina un pārtrauc šoseju, dzelzceļu ekspluatāciju. Lai to novērstu, ceļ inženier-ģeoloģiskās celtnes, sienas sietus, tunelveida celtnes (galerijas) vai veido nogāžu terases.

Lavīnas jeb sniega nogrurvumi ir pēkšņa sniega masas pārvietošanās kalna nogāzē. Sniega lavīna parasti veidojas, ja nogāze ir stāvāka par 20° . To veidošanās atkarīga no sniega kārtas biezuma, mitruma, nogāzes orientācijas un no procesiem, kuri noris pašā sniega masā (sniega porainība, kristalizācijas pakāpe u. c.). Pēc atkušņiem irdenā sniega masa nav saistīta ar apakšējiem sniega slāņiem, tāpēc vajadzīgs tikai neliels satricinājums, lai sāktos tās kustība. Šis sniega masas pārvietošanos var izsaukt vēja trieciens, skaļa kliegšana, šāvieni u. c. Tās sauc par *sausajām lavinām*. Otrs tips ir *slapjās lavīnas*, kuras parasti veidojas pavasaros, kad sniega masas virspusē veidojas smagāka, slapjāka masa. Ūdens nokļūst līdz nogāžu gruntij, berze starp sniegu un grunti samazinās, un smagais slapjais sniega slānis viegli pāriet kustībā. Šādām lavinām nav sniega mākoņa. Lavīnas kustas pa dažādām nogāzēm. No stāvām kraujām visa masa krīt lejā ar milzīgu spēku —, ja masa ir 100 000 t, trieciena spēks var sasniegt 60 tf/m^2 . Dažreiz pirms lavīnas ar graujošu spēku virzās gaisa vilnis ($80\text{—}100 \text{ tf/m}^2$). Sniega masas var virzīties arī pa noteiktām gultnēm un, ja tās sasniedz stāvas kraujas, sāk virzīties ar lēcieniem. Bieži lavīnas aizrauj sev līdzī klinšu blukus — pat vairākus desmitus kubikmetru. Pakājēs materiāls var uzkrāties konusa veidā. Atkarībā no nogāzes slīpuma un sniega masas tā virzīšanās ātrums var būt no 2 km/h līdz 350 km/h, tad šo virzīšanos sauc par krišanu.

Lavīnas izplatītas Tjanšanā, Altajā, Kaukāzā un Ziemeļurālos. Sevišķi bieži tās ir Alpos (Šveicē, Austrijā, Itālijā), kur tā ir parasta parādība.

Lai novērstu lavīnu postošo darbību, tās ar artilērijas apšaudīšanu un iepriekšēju bombardēšanu no gaisa, lietojot speciālas sprāgstvielas, izraisa mākslīgi.

Noslīdeņi ir ieža masīva pārvietošanās lejup pa nogāzi pazemes un virszemes ūdeņu iedarbības rezultātā un gravitācijas spēka ietekmē. Tie atšķiras no nogrurvumiem, kas rodas pēkšņi un ātri



118. Noslīdeņa shematisks griezumš:

1 — slīdes virsma, 2 — noslīdeņa krauja, 3 — noslīdeņa terases.

pārvietojas pa stāvu nogāzi gravitācijas spēka ietekmē. Lai noslīdeņi rastos, jābūt

- nogāzei, kaut arī nelielai;
- iežiem no lietavām vai lieliem pazemes ūdeņu daudzumiem jākļūst nogāzē plastiskiem;
- gruntsūdens nesošajam vai arī citam ūdeņu slānim jābūt augstāk par upes vai jūras līmeni.

Noslīdeņi visbiežāk novērojami upju ielejās, jūras krastos, bet vērojami arī gravu nogāzēs, karjeros un rokot parastos novadgrāvjus meliorācijas vajadzībām. Noslīdeņu veidošanās procesā var izdalīt četras stadijas:

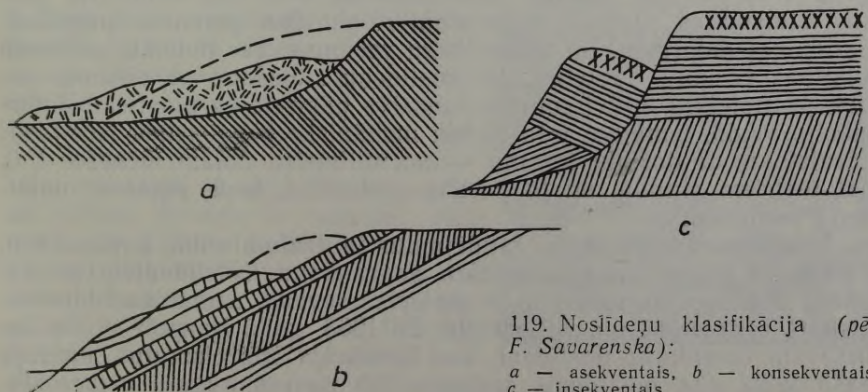
- pirms noslīdēšanas,
- noslīdēšana,
- sekundāra noslīdēšana un
- stabilizācija.

Noslīdeņu veidošanos veicina nogāzes lielums un slīpums, iežu sastāvs, tekstūra, masīva sagulums, hidrogeoloģiskie apstākļi, kā arī seismiskie un citi faktori. Noslīdeņu forma un uzbūve var atšķirties. Parasti, iežu masīviem zaudējot saistīgumu, tie sāk slidēt uz leju un izveido slīdvirsmu (118. att.). Bieži iežu noslīdēšana notiek pakāpeniski, un veidojas kāpņveida noslīdeņi un virsma ir ar noslīdeņu terasēm. Noslīdot slīdvirsmas augšdaļā atsedzas un izveido *noslīdeņa krauju*. Lejas daļā slīdvirsmas un nogāzes krustošanās līniju sauc par *slīdēšanas bāzi* jeb *noslīdeņu pakāji*. Noslīdeņu pakāje parasti atbilst nogāzes pakājei, bet dažreiz tā atrodas augstāk vai zemāk par nogāzes pakāji, tas var radīt izspiestus ieža vaļņus. Sādi vaļņi sastopami pat 100 metru attālumā no nogāzes, piemēram, Melnās jūras piekrastē Odesas apkārtnē. Par *noslīdeņa ķer-*

meni sauc visu noslīdējušo ieža masīvu, kura platums var būt vairāki simti metru, bet tilpums desmitiem miljonu kubikmetru. Noslīdeņu veidošanā darbojas daudzi ģeoloģiskie un hidroģeoloģiskie faktori, un to klasifikācija ir sarežģīta, tāpēc ir izstrādātas daudzas reģionālas klasifikācijas.

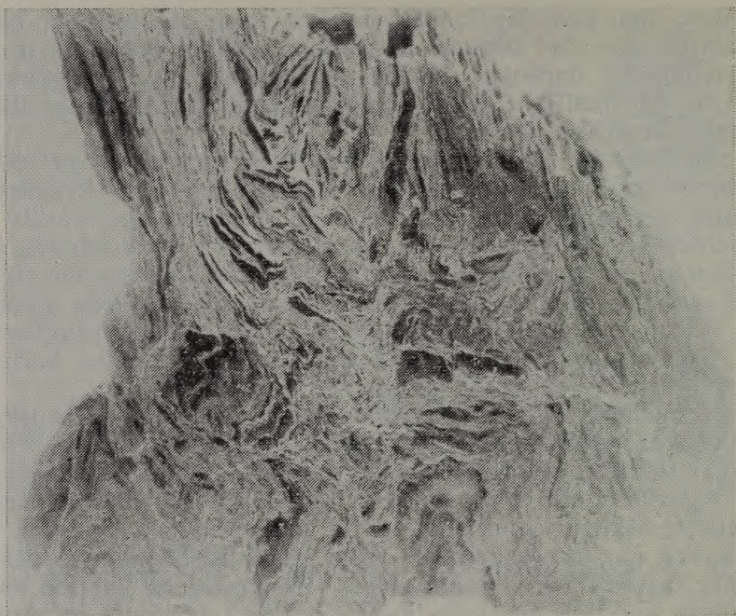
Ir pazīstama F. Savarenska klasifikācija, kas noslīdeņus atkarībā no nogāzes uzbūves un slīdvirsmas stāvokļa iedala asekventos, konsekventos un insekventos noslīdeņos (119. att.). *Asekventie noslīdeņi* veidojas vienveidīgos iežos, un slīdvirsmai ir cilindriska forma, kas atkarīga no nogāzes konfigurācijas, iežu sastāva un stāvokļa. *Konsekvento* noslīdeņu veidošanās noris pa divu dažādu slāņu kontakta virsmu un noslīdeņu virsmas stāvokli nosaka sagulumu apstākļi. Par *insekventiem* noslīdeņiem, sauc noslīdeņus, kuru slīdvirsmu šķērso dažādu iežu slāņojums un sastāvs.

Pētot noslīdeņu iespējamo veidošanos, ir jāzina iežu litoloģiskais sastāvs, sagulums, iežu plaisainība, pazemes ūdeņu kustības ātrums, virsūdeņu iedarbība un citi faktori. Visbiežāk noslīdeņi veidojas nogāzēs, kuras veido mālaini ieži, kur starp daļiņām berze ir ļoti neliela, Māliem samitrinoties, tie kļūst plastiski un krasi samazinās spēks, kas saista daļiņas. Mālu iežu plastiskumu nosaka mālu minerālu sastāvs. Samitrinātu smilts iežu noslīdeņu kustību ierobežo berze, kura atkarīga no smilts daļiņu berzes koeficienta un no tā, cik blīvi smilšu graudiņi pieguļ viens otram. Iežu masīva stabilitāti samazina ne tikai samitrināšana ar virsējiem un pazemes ūdeņiem, bet arī to palielinātā kopējā masa. Bez tam, ūdeņiem filtrējoties pa nogāzi, sufozijas procesā rodas hidrodinamiskais un hidrostatiskais spiediens. Pazemes ūdens plūsma rada t. s. filtrācijas spiedienu uz nogāzi, kas arī veicina noslīdeņu veidošanos. Tipiski sufozijas noslīdeņi veidojas Volgas krastos Volgogradas apkārtnē, kur zem māla slāņiem slīpi pieguļ smilšu slānis. Palu laikā smiltis tiek piepildītas ar ūdeni. Līmenim kritoties, ūdens strauji noplūst uz upi, izskalojot simtiem tonnu smilšu. Process izraisa augšējā māla slāņa noslīdeņus un nosēšanos. Latvijā vērojamas devona aleirītu un mālaino iežu izmaiņas, kas radušās ilgstošā sablīvēšanās procesā,



119. Noslīdeņu klasifikācija (pēc F. Savarenska):

a — asekventais, b — konsekventais, c — insekventais.



120. Noslīdeņa sīks krokojums Narvas svītas ģipsainajos mālos.

samazinoties plastiskumam. Iežiem atsedzoties, sākas mālaino daļiņu atmiekšķēšanās un iežu plastiskuma atjaunošanās, kas pavasarī izraisa noslīdeņus. Tā Gaujas svītas augšējie atsegtie mālainie iežu blāķi ir noslīdējuši no Kūku, Zvārtas un Sprīngu iežiem, kā arī vairākās vietās Amatas ielejā. Veidojoties noslīdeņiem, raksturīga pazīme ir plaisu rašanās, kas sākumā ir kā sīki švīkojumi (120. att.), kuri jau norāda kustības virzienu. Ar laiku plaisas paplašinās, sevišķi apakšējā daļā, un pagarinās. Plaisas savienojas cita ar citu, veidojot pat atdalīšanās joslas. Ja nogāzēs ir meži, tad koku stumbri tiek sagāzti noslīdeņa virzienā, bet vēlāk tie cenšas iztaisnoties. Dažreiz koku stumbri pat tiek gareniski pārplēsti. Salīdzinot deformēto un taisno koku vecumus, var noteikt noslīdeņu kustības vecumu. Jāatzīmē, ka noslīdeņu slīdēšana ne vienmēr notiek pa noteiktu slīdvirsmu, bet masīvs pārvietojas plastisku deformāciju veidā, izmainot iežu fiziski mehānisko konsistenci. Noslīdeņi pārvietojas ar dažādu ātrumu — no milimetru daļām mēnešos līdz pat metriem stundā, un to nosaka pretestība, kura jāpārvar noslīdeņu ķermenim.

Noslīdeņi nodara lielus zaudējumus tautsaimniecībā, izraisot ēku, dzelzceļu, šoseju un citu objektu sagraušanu. Noslīdeņiem un arī citām nogāžu deformācijām ir jāpievērš sevišķa uzmanība hidrotehniskajā celtniecībā un meliorācijā. Tā 1963. gadā Neapolē no lielām lietavām izveidojās noslīdeņi, kas iznīcināja trīs ciematus, un tajā pašā laikā cits noslīdenis sagrāva 265 metrus augstu aizsprostu,

kura rezultātā gāja bojā vairāk nekā 3000 cilvēku. 1981. gadā Ankaras priekšpilsētas rajonā noslīdenis sagrāva 200 ēkas un radīja cilvēku upurus. Ļoti bieži noslīdeņi veidojas Svecē, kur tie mēdz būt pat 1,5 km plati ar vairāk nekā 150 tūkstošiem m³ zemes, kā arī Norvēģijas mālos u. c. Noslīdeņi izplatīti un izveido noslīdeņu arēnu arī Volgas krastos, tie bieži norisusi Gorkijā, Saratovā, Volgogradā u. c. Tā Uljanovā tās pastāvēšanas laikā ir reģistrēti vairāk nekā 25 lieli noslīdeņi. Bieži noslīdeņi veidojas Tjanšanā, Pamirā, Melnās jūras piekrastes rajonos, Dņepras, Donas, Okas un Lietuvā Nemūnas krastos. Latvijā visvairāk noslīdeņu ir Salacas vidustecē, Gaujā starp Cēsīm un Siguldu, Lielajā Juglā, Daugavā starp Krāslavu un Līvāniem un citās vietās.

Noslīdeņu novēršanai lieto *pasīvos* jeb *profilaktiskos pasākumus*, kuriem jānovērš noslīdeņu veidošanās, un *aktīvos pasākumus*, kuri saistīti ar dažādu aizsargbūvju celtniecību.

○ Pasīvie pasākumi ir aizliegums norakt noslīdeņa apakšējo daļu un ierīkot uzbērumu vai celtni būves noslīdeņa augšējā daļā. Arī dažādu augu seku stādīšana un notekūdeņu novadīšana, transporta līdzekļu kustības ātruma ierobežošana pieder profilakses pasākumiem.

○ Aktīvie pasākumi ir krastu nostiprināšana pret izskalošanu, pazemes ūdeņu drenāža ar akām, nogāzes nostiprināšana ar pāļiem vai sienām. Lieto arī iežu silikatizāciju, cementāciju un elektroķīmisko metodi vai arī noslīdeņu norakšanu un noskalošanu.

Sēļi. Kalnos, kur ir stāvas nogāzes un daudz sadēdējuša ieža materiāla, lielas lietavas vai strauja sniega kušana var izraisīt dubļu un akmeņu plūsmas, ko sauc par sēļiem (121. att.). Sēļi plūst pa kalnu ielejām, kurās tek vai agrāk tecējušas upes. Sēļi izveidojas ieleju augštecēs, kur ir labvēlīgi apstākļi iežu dēdēšanai, to produktu veidošanai un uzkrāšanai. Tā Andu kalnos lielā daudzumā ir vizlu slānekļi, kuri viegli sadēd, un no tiem veidojas sēļi. Sēļu masa parasti sastāv no dažāda drupu materiāla, kurš satur 25—30 masas % ūdens. Sēļu plūsmas ir īslaicīgas — no dažm minūtēm līdz 2—6 stundām, bet pārvietošanās ātrums ir iespaidīgs — pat līdz 6 m/s. Parasti visātrāk kustas sēļa vidusdaļa (3 m/s), bet lejasdaļā un sānos ātrums ir mazāks (0,5 m/s). Jo ātrums lielāks, jo lielāki akmeņi tiek nesti līdzi. Vietās, kur ātrums ir mazāks, šis materiāls nogulsņējas gar malām vai frontāli priekšā. Sēļu platums ir no 6 līdz 300 m, bet garums var sasniegt



121. Sēļi.

24 km, pārnestais materiāls — vairāk nekā 1 milj. m³. Sēļi bieži pārvietojas atsevišķu vaļņu veidā, kuri seko cits citam. Vaļņi izveidojas sakarā ar īslaicīgu gultnes aizsprostošanu nogrūvuma rajonos vai nespēju materiālam izplūst cauri ieleju sašaurinājumiem. Izveidojas pat līdz 10 m augsts sēļu materiāls, bet slapjākais, kustīgākais materiāls aizplūst tālāk, nesot līdzī izrautos kokus, krūmus u. c. Vietās, kur strauji samazinās gultnes kritums, izmainās virziens vai ceļā ir mākslīgi aizdambējumi un citi šķēršļi, sēļu ātrums strauji samazinās un sāk izgulsnēties iežu materiāli kā svaigi sajaukta betona masa.

Atkarībā no dominējošā materiāla sēļus iedala saistītos sēļos un nesaistītos sēļos.

Saistītos sēļos ir daudz mālaino un aleirīta daļu (10—40%). Ūdens šajos sēļos ir vai nu plēvīšu veidā absorbēts uz iežu daļiņu virsmām, vai arī ieslēgts iežu porās. Tā kā sēļu masā saistītā ūdens ir daudz, šī masa var pārvietoties pa dažādu reljefu, pārnēsot arī lielus akmeņu krājumus. Saistītie sēļi veidojas kalnu nogāzēs, kur ir daudz mālaino iežu, māla slānekļu, mergeļu u. c. Pazīstams ir alpu sēļu tips, kas veidojas, ja gultnes kritums 15°, tad sēļu cietā fāze ir 40—45% no kopējās sēļu masas (blīvums 1,34—1,38 g/cm³), bet, ja nogāzes kritums ir 36°, sēļu cietā fāze sasniedz 65—70% (blīvums — 1,49—1,53 g/cm³).

Nesaistītos sēļos mālaino daļiņu ir maz, bet ūdens masa, kas radusies no īslaicīgām lietavām, nes daudz smilšu, grants, oļu un akmeņu (nešķirotu). Tie veidojas nogāzēs, kur cietie ieži ir magmatiskie, metamorfie ieži un kaļķakmeņi.

Pastāv *vulkānisko materiālu sēļi*, kas veidojas pie darbīgiem vulkāniem no vulkānisko pelnu un putekļu materiāla.

Sēļiem piemīt liels graujošs spēks, un tie nodara lielus postījumus tautsaimniecībā, noārdot dambjus, uzbērumus, hidroelektrostacijas un pārklājot lauksaimniecībā izmantojamās zemes ar akmeņu un dubļu kārtu. Lai ierobežotu sēļu postošo darbību, pielieto dažādas metodes. Sēļu likvidēšanai nepieciešams novērst iežu noskalotāšanu, tāpēc nogāzes apstāda ar mežiem, atjauno augu segu, apkaro augšņu eroziju, veicot pareizu lauksaimniecisko zemju apstrādāšanu. Svarīgs priekšnoteikums ir virszemes ūdeņu noteces noregulēšana. Dažkārt tiek izveidota nelielu aizsprostu sistēma no dambjiem vai citiem šķēršļiem. Lai samazinātu nogāžu kritumu, ierīko mākslīgas terases, izveido aizdambējumus. Sēļu kustību var regulēt, ja iepriekš veic mākslīgus sprādzienus, kas pārvieto sēļus vajadzīgā virzienā. Lai visu to veiktu, ir jābūt detalizētiem ģeoloģiskajiem un ģeomorfoloģiskajiem pētījumiem, kas dod iespēju izvēlēties pareizākās metodes sēļu likvidēšanai.

Pasaulē visizplatītākie sēļu rajoni ir jauno kalnu rajoni — Alpi, Andi, Himalaji u. c. Sēļi sastopami arī Kaukāzā, Aizbaikālā, Karpatos, Austrumsibīrijā u. c. Viens no lielākajiem sēļiem reģistrēts 1921. g. Alma-Atas rajonā, kur sēlis, lielā ātrumā nesdams milzīgu ieža masu, savā ceļā aizrāva un iznīcināja ēkas kopā ar cilvēkiem, pilsētas ielās atstāja vairāk nekā 1,5 milj. t iežu materiāla, kura pārvešanai bija nepieciešami vairāk par 100 000 dzelzceļa vagonu. Ša-

jos rajonos izstrādāti pasākumi, ar kuriem novērš sēļu veidošanos to sākuma stadijās.

Kripss ir lēna, bet nepārtraukta augsnes un cilmieža plūsma uz leju pa nogāzi gravitācijas spēka ietekmē. Augsnes kripss noris gandrīz katrā nogāzē. Tas parādās pat mikroveidā, ja tiek ierīkota meliorācijas sistēma, ierakti elektriskie stabi vai izdarītas citas rakšanas augsnes slānī. Noslīdot augsne cenšas ieņemt vertikālu stāvokli. Tur, kur augsne ir izveidojusies uz granšainā materiāla, nogāzes lejas daļā novērojama atsevišķa rupjāka materiāla noslīdēšana un cilmieža veidošanās. Nevienādu augsnes noslīdēšanu un bremzēšanu veicina dažādie velēnu veidošanās procesi. Kripa ātrums augsnē parasti nosakāms tikai ilgākā laika posmā. Kripa izpaušmē svarīga loma ir temperatūras maiņām, nokrišņu daudzumam, nogāžu leņķim, augsnes tipam un cilmiežiem. Tā eolās smiltīs, augsnes kripss attīstās lēni. Smilšainās augsnēs ar labi noapaļotiem minerālu graudiem tas vieglāk reaģē uz smaguma spēka iedarbību un ātrums var sasniegt 3 m/100 gados. Kripsu bremzē arī koku saknes. Visvieglāk kripss padodas mālainās augsnēs un apgabalos, kur augsne bieži sasalst un atkūst. Šajā procesā notiek ledus iekūlēšanās un augsnes cilmieža tilpums palielināšanās, kas rada pat 140 tf/m² spiedienu. Augšņu (uzrūgšana) pacelšanās sala iespaidā notiek perpendikulāri nogāzei un var sasniegt pat 1 m. Pēc augsnes atkuššanas akmeņi, oļi un citi lielāki cilmieža gabali nosēžas un nogāzē nonāk zemāk nekā bijuši. Tādā veidā pēc vairākām sasalšanām un atkušnām tie plūst arvien zemāk pa nogāzi. Siltā klimata zonās augsnes uz mālainām nogāzēm izžūst, veidojas plaisas, pa kurām sadēdējušais materiāls pārvietojas uz leju.

HIDROĢEOLOĢISKĀ UN INŽENIERĢEOLOĢISKĀ IZPĒTE

Celtniecības objekta projektēšanā un meliorācijas sistēmu ierīkošanā obligāts nosacījums ir vietas inženierģeoloģiskā un hidroģeoloģiskā izpēte. Tā dod iespēju izvēlēties labāko objekta izvietojumu, kā arī pareizi noteikt būvdarbu tehnoloģiju un hidroģeoloģiskā objekta ekspluatācijas režīmu. Pētījumu datiem jābūt par iežu sastāvu, sagulumu apstākļiem, fizikālajām un mehāniskajām īpašībām, pazemes ūdeņu dziļumu, režīmu, krājumiem, ķīmisko sastāvu, mineralizāciju, agresivitāti un arī reljefa īpatnībām. Jāiegūst arī dati par ģeoloģiskajiem, hidroģeoloģiskajiem un inženierģeoloģiskajiem procesiem izpētes rajonos. Tas dod iespēju prognozēt būvobjekta stabilitāti, kā arī meliorācijas sistēmas un ģeoloģiskās vides mijiedarbību objekta projektēšanas un ekspluatācijas laikā. Ir jāizvēlas pareizi pasākumi, lai nodrošinātu liekā ūdens novadīšanu vai arī divpusējā meliorācijas sistēmā savlaicīgi novadītu lieko ūdeni un nodrošinātu ūdens pievadīšanu (sūkni), uzturot kultūraugu optimālo mitruma režīmu.

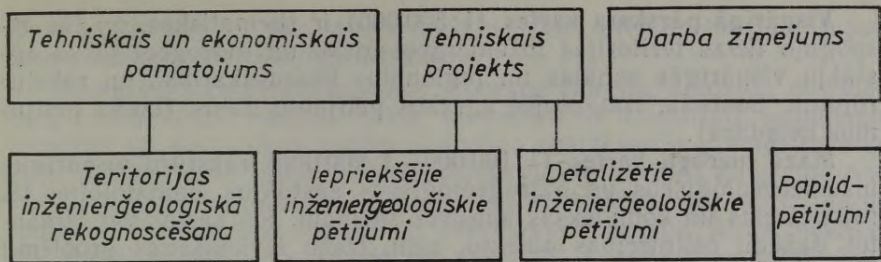
Pētījumi dod iespēju izvēlēties tehniski pilnīgāko un lētāko objekta konstrukciju un meliorācijas sistēmu ierīkošanu. Inženierģeoloģisko un hidroģeoloģisko pētījumu saturu un apjomu nosaka ģeoloģiskie, klimatiskie, ģeomorfoloģiskie, ekonomiskie apstākļi, kā arī

iepriekšējā hidroģeoloģiskā un inženierģeoloģiskā izpētē. Pētījumu saturs un apjoms ir atšķirīgs, to nosaka celtniecības veidi (hidrotehniskās būves, ūdens krātuves, ceļu transporta būves, rūpniecības un civilās ēkas utt.). Tā projektējot hidrotehniskās būves, objekta pamatnes ieži jāizpēta lielā dziļumā, pat dažus simtus metru dziļi, bet, projektējot civilās ēkas, dziļums parasti nepārsniedz 10 m. Hidrotehniskajām būvēm un ūdens krātuvēm sevišķi detalizēti jāpēta iežu masīva filtrācijas spējas, lai novērstu iespējamo ūdens noplūdi. Jebkura celtne iedarbojas uz būvpamatni, bet būvpamatne uz celtni. Mijiedarbības raksturs atkarīgs no grunts un zemes ģeoloģiskajiem un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem pētāmajā teritorijā. Tāpēc celtniecības objektiem jāpēta galvenokārt būves radītais spiediens, tā virziens un sadalījums, lai novērstu objekta deformāciju. Raksturīgs piemērs —, ja masīvos viendabīgos iežos ir māla starpkārta, ēkas uz pamatni rada tikai vertikālo spiedienu, māla starpkārta nedaudz sablīvējas un netiek izraisīta deformācija, bet, būvējot dambjus un hidroelektrostacijas, ir jāreķinās ar ūdens spiedienu horizontālā virzienā, kas vērsts apakšējā bjeļa virzienā. Tā Pļaviņu hidroelektrostacijas pamatā māla starpslāņos normāla spiediena ($0,8 \text{ MPa}_2$) apstākļos novirzes koeficients ir 0,5. Bez tam arī hidroelektrostaciju turbīnu radītā dinamiskā slodze stipri palielina būvju noslīdēšanas iespēju.

Celtniecības objektu inženierģeoloģiskā projektēšana parasti notiek trīs stadijās: tehniski ekonomiskā pamatojuma, tehniskā projekta un darba zīmējuma stadijā (122. att.).

Lai izdarītu *tehniski ekonomisko pamatojumu*, jāveic pētāmās teritorijas inženierģeoloģiskā rekognoscēšana, izmantojot arī literatūras datus, fonda materiālus u. tml. Jānoskaidro labākais objekta izvietojums un galvenie tehniskie parametri. Hidrotehniskajām būvēm un ūdens krātuvēm jāizstrādā kompleksā izmantošanas shēma, pilsētu projektiem vai rekonstrukcijai jāizstrādā piepilsētas zonas ģenerālais plāns, jāizvēlas pirmās kārtas apbūve. Jāsastāda tehniskais projekts un jānosaka celtnes konstrukcija, darba apstākļi, izmaksas, ekspluatācijas apstākļi. Šo jautājumu atrisināšanai vispirms jāveic detalizēti inženierģeoloģiskie un hidroģeoloģiskie pētījumi, salīdzinot ar iepriekšējiem inženierģeoloģiskajiem pētījumiem un jāizvēlas optimālie varianti. Jāsniedz visi projektēšanai nepieciešamie dati, kuri apstiprinātu tehnisko projektu. Tajos ietilpst būvbedres dokumentācija, būvobjekta sēšanās raksturs un citi dati.

Inženierģeoloģisko un hidroģeoloģisko pētījumu apjomu nosaka ģeoloģiskās uzbūves sarežģītība. Tā gruntīs, kur krokots iežu sagulums, ir stipri jāpalielina urbumu un šurfu skaits, bet dažreiz pat jāveic slīpi urbumi. Plaisainos iežos urbumi neļauj pilnīgi spriest par plaisainības pakāpi un raksturu. Tāpēc karsta rajonos papildus jānoskaidro karsta intensitāte, jāprognozē to attīstība ekspluatācijas gaitā. Pētāmās teritorijas ģeomorfoloģiskie un hidroģeoloģiskie apstākļi stipri ietekmē inženierģeoloģisko pētījumu saturu un apjomu. Reljefs nosaka urbuma un šurfa izvietojumu. Inženierģeoloģiskie procesi (noslīdeņi, sufozija, kriogēnie procesi) bieži prasa izmainīt



122. Inženierģeoloģiskās projektēšanas stadijas. Vispārīga shēma (pēc V. Lomta-
dzes).

celtņu izbūves vietu. Jāņem vērā arī klimatiskie apstākļi, piemēram, liels nokrišņu daudzums var izraisīt noslīdeņus, izskalošanos, sēļu veidošanos utt.

Visi hidroģeoloģiskie un inženierģeoloģiskie pētījumi ir jāievāc tādā apjomā, lai noteiktu pareizāko būvobjekta novietojumu, veicamos pasākumus celtnes stabilitātei, izdevīgākās grunts, kuras nodrošinātu pret celtņu sēšanos un deformācijām. Bez tam celtniecība jāveic tā, lai negatīvi neietekmētu apkārtnes ekoloģiskos apstākļus. Visu šo darbu veikšanai jāparedz inženierģeoloģiskā un hidroģeoloģiskā kartēšana, urbšanas, zondēšanas šurfu rakšanas un citi darbi, ģeofiziskie pētījumi, eksperimentālie un stacionārie novērojumi, dažādo iežu paraugu izpēte laboratorijās, materiālu kamerālā apstrāde un atskaites noformēšana. Izšķir vairākus inženierģeoloģiskos un hidroģeoloģiskos pētījumu veidus:

- inženierģeoloģiskā un hidroģeoloģiskā kartēšana un izpētes darbi;
- eksperimentālie lauku darbi;
- laboratorijas darbi.

INŽENIERĢEOLOĢISKĀ UN HIDROĢEOLOĢISKĀ KARTĒŠANA UN IZPĒTES DARBI

Pētāmās teritorijas hidroģeoloģiskā un inženierģeoloģiskā rekognoscēšanā viens no galvenajiem pētījumu veidiem ir kartēšana. Inženierģeoloģiskā un hidroģeoloģiskā kartēšana ir pētāmās teritorijas ģeoloģiskās uzbūves, hidroģeoloģisko un ģeomorfoloģisko apstākļu, ģeoloģisko procesu, iežu fizikālo un mehānisko īpašību kompleksā izpēte lauka apstākļos. Iegūtie rezultāti un pētījumi tiek atzīmēti inženierģeoloģiskajās vai hidroģeoloģiskajās kartēs. Inženierģeoloģiskajām un hidroģeoloģiskajām izmaiņām raksturīgs zonāls vai reģionāls raksturs, tās saistītas ar ģeogrāfisko zonalitāti. Zonāls raksturs ir klimatiskiem apstākļiem, gruntsūdeņu izplatībai, dēdēšanas procesiem. Reģionālās likumsakarības nosaka rajona ģeoloģiskā uzbūve, iežu sastāvs un sagulumi. Inženierģeoloģiskā un hidroģeoloģiskā izmeklēšanas darba detaliskumu noteic kartes mērogs.

Vispārīgā pārskata kartes (1:500 000) ir shematiskas, un tās atspoguļo lielas teritorijas inženierģeoloģisko un hidroģeoloģisko apstākļu vispārīgās zonālās un reģionālās likumsakarības un raksturojumu. Sastāda, izmantojot agrākos pētījumu datus (lauka pētījumus neizdara).

Maza mēroga kartes (1:100 000—1:200 000) raksturo vispārīgus inženierģeoloģiskos un hidroģeoloģiskos apstākļus, pamatojoties uz rajonēšanas un kompleksās apguves shēmām. Šīs kartes var izmantot dažādu celtniecības objektu, ceļu, trašu izvietojuma problēmu risināšanā un citos nolūkos.

Vidēja mēroga kartes (1:25 000—1:50 000) izmanto projektēšanas sākuma stadijās būvlaukumu, ceļu, tiltu un citu objektu izvēlei. Šādu kartējumu veic rajonos, kur jau agrāk veikta kartēšana.

Detalizētas liela mēroga kartes (1:10 000 un lielāka mēroga) raksturo izraudzītā būvobjekta meliorācijas sistēmu, inženierģeoloģiskos un hidroģeoloģiskos apstākļus. Lai risinātu konkrētus un praktiskus jautājumus, ir nepieciešams izdarīt urbšanas un citus izpētes darbus.

Parasti hidroģeoloģisko un inženierģeoloģisko kartēšanu veic, vadoties pēc esošās ģeoloģiskās kartes, bet, ja tādas nav, izdara kompleksu ģeoloģisko kartēšanu, iezīmējot urbumus, šurfu datus, aprakstot dabiskos un mākslīgos atsegumus, izdarot reljefa pētījumus, pēc analīzēm laboratorijās, kā arī ierīkojot eksperimentālos pētījumus, ievāc, novērtē un apraksta ieža un pazemes ūdeņu paraugus. To visu atzīmē uz darba kartes, no kuras sastāda vajadzīgās hidroģeoloģiskās, inženierģeoloģiskās vai citas kartes. Kartēšanas darbos izšķir trīs periodus: sagatavošanas periodu, lauku darbus un kamerālo periodu.

Sagatavošanas periodā izpēta un apkopo literatūras datus un fondu materiālus par pētāmās teritorijas ģeoloģiskajiem, ģeomorfoloģiskajiem, hidroģeoloģiskajiem un inženierģeoloģiskajiem apstākļiem. Šajā periodā nosaka arī lauka darba metodi un secību, sagādā nepieciešamo topogrāfisko materiālu un inventāru.

Lauku darba periodā galvenā inženierģeoloģiskā un hidroģeoloģiskā pētījumu metode ir lauka metode — noteiktā maršrutā veic ģeoloģiskos, ģeomorfoloģiskos, hidroģeoloģiskos, inženierģeoloģiskos un citus novērojumus, izmantojot dabiskos un mākslīgos atsegumus, karjerus, būvbedres u. tml. Atseguma vietas atzīmē kartē, raksturīgākās nofotogrāfē un uzzīmē abrisa vai cita veida zīmējumus.

Lai izdarītu hidrotehnisko celtniecību, nosaka tektoniskās plaisas, iežu dislokāciju, grunts sastāvu, izplatību, iežu fizikālās, mehāniskās un citas īpašības.

Lai noskaidrotu reljefa saistību ar iežu raksturu un izcelšanos, kā arī virszemes un pazemes ūdeņu raksturu, kartē atzīmē arī ģeomorfoloģiskos un hidroģeoloģiskos novērojumus. Izdarot hidroģeoloģisko kartēšanu, nosaka pazemes ūdeņu horizontu, izplatību, dziļumu, režīmu, ūdens daudzumu, hidrauliskās īpašības un ķīmisko sastāvu.

Bez tam nosaka arī aku, avotu un citu ūdeņu debitu, līmeņus un paņem paraugus ķīmiskajām analizēm.

Aprakstot inženierģeoloģiskos procesus (karstu, sufoziju, noslīdeņus, nobrukumus, nobīras u. c.), noskaidro to intensitāti, iespējamo attīstību un bīstamības pakāpi. Latvijas apstākļos ir svarīgi noteikt upju darbību palu laikā, lai prognozētu un vajadzības gadījumā novērstu krastu izskalošanos, jaunu gultņu veidošanos, upju nogulumu rašanos, gravu eroziju un deluviālos procesus, jūras piekrastes abrāzijas procesus, karsta un sufozijas intensitātes palielināšanos šķīstošos iežos, kā arī pārpurvošanās un antropogēnos procesus. Kartē jāatzīmē šo procesu iespējamās vietas.

Inženierģeoloģiskajās kartēs jāatzīmē arī būvmateriālu atradņu vietas, izplatība, robežas, saguluma apstākļi, krājumi, kvalitāte un prognozes par izmantošanas apstākļiem un iespējām.

Lauka darba periodā izstrādā ģeoloģisko pētījumu veidus, nosprauž urbšanas trases, paredzamos šurīu rakumus, ģeofizisko pētījumu vietas, kuros veic šos darbus.

Kamerālajā periodā apstrādā un sistematizē lauka darba materiālus. Pamatojoties uz kartēšanas rezultātiem, ģeoloģiski litoloģiskiem profilie mun citiem rezultātiem, sastāda inženierģeoloģisko vai hidroģeoloģisko atskaiti, kurai pievieno arī kartes, ģeoloģiskos profilus, dažādus grafiskos pielikumus un pieņemtos iežu apzīmējumus. Hidroģeoloģiskās kartēs iezīmē hidroizohipses, hidropjēzas, atzīmē ūdens ķīmiskos rādītājus, ūdens daudzumu, agresivitāti un citus hidroģeoloģiskos apstākļus.

Inženierģeoloģijā pēc satura izšķir 4 galvenos inženierģeoloģisko karšu veidus:

- inženierģeoloģisko apstākļu karte;
- inženierģeoloģiskās rajonēšanas karte;
- speciālā inženierģeoloģiskā karte;
- inženierģeoloģisko prognožu karte.

Inženierģeoloģisko apstākļu karte satur visu noteikto informāciju par pētāmās teritorijas inženierģeoloģiskajiem apstākļiem, kur galvenā nozīme ir grunts sastāvam. Lielākā daļa inženierģeoloģisko karšu sastādītas pēc prof. I. Popova pieņemtiem principiem — tiek parādīta dažādu formāciju un ģenētisko iežu kompleksa izplatība, bet speciālās tabulās sniegts iežu fizikālo un mehānisko īpašību raksturojums.

Formāciju sastāvā izšķir noteikta vecuma un dažādas ģenēzes iežu grupas, kas veidojušās līdzīgos ģeogrāfiskos, fizikālos un ķīmiskos apstākļos. Tās sauc par *ģeoģenētiskiem kompleksiem*. Tā Latvijas apstākļos kvartāra kontinentālajā formācijā izšķir ledāja, fluvio-glaciālos, limnoglaciālos, aluviālos un citus ģeoģenētiskos kompleksus. Liela mēroga kartēs var izdalīt pat atsevišķus iežu *petrogrāfiskos tipus*, kuriem ir līdzīgs mineraloģiskais sastāvs, fizikālās un mehāniskās īpašības. Ledāja izveidoto iežu kompleksā var ietilpt dažādas morēnas: smilšaini mālainas, puteklainas, smilšmāla un citas. Iežu petrogrāfisko sastāvu var iedalīt *iežu inženierģeoloģiskajos*

veidos un paveidos (putekļaina smiltis u. c.). Tas atvieglo formulu un tehnisko līdzekļu pielietošanu inženierģeoloģisko jautājumu risināšanā. Tā, piemēram, putekļainām smiltīm ir liels plastiskums un nenoteiktība pret statiskām slodzēm. Kartēs dažādas formācijas atzīmē dažādās krāsās. Iežu vecumu un ģenēzi parāda ar pieņemtiem apzīmējumiem (pēdējā apledošanas glaciālie nogulumi — gl. Q IV; pēdējā apledošanas limnoglaciālie nogulumi — lgl. Q IV). L. Savarenskis, V. Lomtadze iežu grupas iedala pēc inženierģeoloģiskās klasifikācijas, dažādās grunšu grupas (klinšainās, pusklinšainās, irdenās u. c.) apzīmējot dažādās krāsās. Inženierģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās kartes atbilstoši mērogam parāda dažādas izcelsmes reljefa formas (drumlinus, kēmus, osus utt.) un lokālos procesus (karstus, sufozijas, gravu vai upju eroziju). To intensitāti var parādīt ar dažādu krāsu ietonējumiem. Kalnu apgabalos parādās tektoniskā lūzuma līnijas, mūžīgā sasaluma robežas un biezums, vulkānisko un seismisko rajonu robežas. Lai nepārslogotu kartes, iežu fizikālās un mehāniskās īpašības raksturo pievienotās tabulas. Inženierģeoloģisko un hidroģeoloģisko apstākļu kartes izmanto inženierģeoloģiskajā vai hidroģeoloģiskajā rajonēšanā, prognozēšanā un speciālu karšu sastādīšanā.

Inženierģeoloģiskās rajonēšanas kartēs izšķir reģionus, apgabalus, rajonus, iecirkņus ar līdzīgiem inženierģeoloģiskiem vai hidroģeoloģiskiem apstākļiem. Tā, piemēram, izdala kūdraino grunšu izplatības rajonu vai nelielā gruntsūdeņa dziļuma izplatības rajonu u. tml.

Šīs kartes dod iespēju risināt dažādo objektu ekspluatācijas, aizsardzības, ekoloģijas un citas problēmas. Piemēram, drumlinu reljefa apgabalā ir raksturīgi nelieli virsmas relatīvie augstumi (5—10 m), šos paaugstinājumus atdala šauri pazeminājumi, kuros veidojas purvi vai pārpurvotas vietas. Šiem apgabaliem ir līdzīgi ģeoloģiskie, hidroģeoloģiskie un inženierģeoloģiskie apstākļi.

Speciālās ģeoloģiskās kartes jāizgatavo īpašos gadījumos, piemēram, metro trases posmu, liela HES būvlaukuma teritorijas inženierģeoloģisko apstākļu izpētes karte, kur galvenā vērība jāpievērš projektējamā aizsprosta dziļumam vai iežu plaisainībai utt.

Inženierģeoloģisko prognožu kartes attēlo dažādo hidroģeoloģisko un inženierģeoloģisko apstākļu izmaiņas, kas iespējamās dažādo būvju celtniecības un ekspluatācijas laikā, tās var izraisīt grunts sēšanos, noslīdeņus, ūdens līmeņa izmaiņas pēc ūdens krātuves izveidošanās utt. Kartes domātas tikai konkrētiem celtniecības objektiem.

Raksturojot inženierģeoloģiskos un hidroģeoloģiskos apstākļus, kartēm vienmēr jāpievieno ģeoloģiski litoloģiskie griezumumi, dažādi grafiki, zīmējumi, shēmas. Ģeoloģiski litoloģiskais profils jāizvēlas tai virzienā, kurā vislabāk atspoguļo galvenos inženierģeoloģiskos faktorus: iežu sastāvu, sagulumu, to fizikālās un mehāniskās īpašības, kā arī hidroģeoloģiskos apstākļus. To konstruē pēc urbumu vai atsegumu datiem. Urbumi jāizvieto tā, lai tie raksturotu visus rajona ģeomorfoloģiskos elementus. Urbumu biežība atkarīga no ģeoloģisko apstākļu sarežģītības, saguluma un to biezuma. Robežas, kas

atdala divu dažādu urbumu vienāda sastāva, vecuma un ģenēzes slāņus vienu no otra, kartē savieno ar nepārtrauktu līniju. Iežu slāņus, kas ir dotajā urbumā, bet neparādās blakus urbumā, izķīlē. Slāņa tektoniskos traucējumus, lūzumus, nomatus, uzmatu iezīmē ar rupjākām, nepārtrauktām līnijām. Iežu ģenēzi apzīmē ar pieņemtiem latīņu burtiem, kurus raksta aiz ieža vecuma apzīmējumiem, piemēram, devona sistēmas lagunāru nogulumu apzīmē D_{3lg}. Gruntsūdens līmeni iezīmē ar zilu pārtrauktu līniju un ūdens necaurļaidīgā slāņa virsmu — ar sarkanu pārtrauktu līniju. Zem ģeoloģiskā griezuma uz zīmē 4 horizontālas ailes: pirmajā ieraksta urbuma numuru, otrajā — attālumu starp urbumiem, trešajā — urbuma absolūto augstumu un ceturtajā — ģeomorfoloģisko raksturojumu (paliene, terase utt.).

Pētāmās teritorijas inženierģeoloģiskā un hidroģeoloģiskā atskaite sastāv no šādām daļām:

○ pētāmās teritorijas ģeogrāfiskais un administratīvais stāvoklis, platība;

○ izpētes mērķis un uzdevumi;

○ lauku un kamerālo darbu metodika (urbumu, šurfu, atsegumu skaits, dziļums, veiktie izmēģinājumi un analīzes);

○ reljefa raksturojums;

○ pētāmās teritorijas ģeoloģiskā uzbūve:

pamatiežu raksturojums,

kvartāro nogulumu raksturojums;

○ pašreizējie ģeoloģiskie procesi;

○ derīgie izrakteņi (vietējie celtniecības materiāli, grants, māli utt.);

○ hidroģeoloģiskie apstākļi (gruntsūdens dziļums, plūsmas virziens, ātrums, ūdens nesējslāņa, necaurļaidīgā slāņa raksturojums, avoti, pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs utt.);

○ inženierģeoloģiskie apstākļi (grunts raksturojums, inženierģeoloģisko procesu raksturojums, procesi, kuri var ietekmēt celtnes deformāciju, celtniecības materiālu krājumi un raksturojums);

○ secinājumi un slēdzieni;

○ grafiskais materiāls:

ģeoloģiski litoloģiskais profils, ģeoloģiski litoloģiskā, hidroģeoloģiskā, inženierģeoloģiskā karte, blokdiagrammas, abrisi, zīmējumi, fotogrāfijas, utt.;

○ pielikums:

pazemes ūdeņu ķīmiskās analīzes, grunts īpašības, izmēģinājuma darba protokoli, urbšanas žurnāli, stratigrāfiskās kolonas, paraugu saraksts utt.

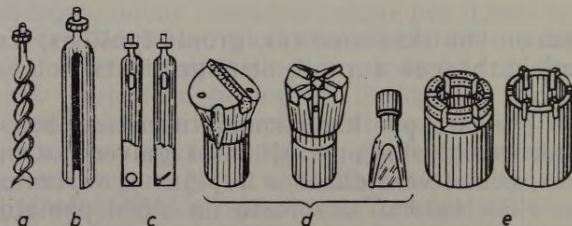
Ja atskaite jāizdara par kādu konkrētu celtniecības objektu, jāraksturo inženierģeoloģiskie apstākļi visos galvenajos mezglu izvietojuma punktos, ņemot vērā dažādos iespējamus variantus. Tā hidroelektrostacijas ēkā, betonu aizsprostu un slūžu pamatņu izpētei ir jābūt visdetalizētākajai ar lielu un blīvu izdarīto urbumu skaitu. Atskaite nobeigumā ir jādod inženierģeoloģisko un hidroģeoloģisko procesu prognoze, rekomendācijas cīņai pret nelabvēlīgiem procesiem

objekta celtniecības un ekspluatācijas apstākļos. Jādod arī slēdzieni ne tikai par objekta, bet arī par rajona inženierģeoloģiskajiem un hidroģeoloģiskajiem apstākļiem. Atskaite jānoformē pēc bibliogrāfiskiem noteikumiem.

EKSPERIMENTĀLIE LAUKA DARBI

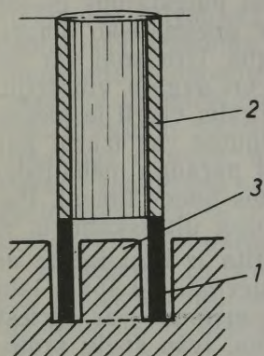
Urbšana. Inženierģeoloģiskās un hidroģeoloģiskās izpētes galvenais darba veids ir urbšana, kas ļauj iegūt ieža paraugus un pazemes ūdeņus no liela dziļuma, paralēli izdara dažādus ģeofizikālus pētījumus. Izšķir rokas urbšanu un mehānizēto urbšanu, bet pēc urbšanas veida rotācijas, vibrācijas urbšanu un kalšanu. Atkarībā no iežu sastāva, urbšanas veida, vajadzīgajiem paraugiem urbšanā izmanto dažādus uzgaļus: spirālveida urbi, karotveida urbi, dubļu kausu, dažādus kaltus un kronišus (123. att.).

Blivajās morēnās, kas ir izplatītākās būvpamatnes Latvijā, urbnot ar rokām, lieto spirālveida urbi. Māliežus urbj ar karotveida urbi, bet mehānizēto urbšanu veic ar serdes cauruli. Cietu iežu sasmalcināšanai izmanto formas kaltus. Cietu iežu urbšanai lieto speciālus uzgaļus — kronišus (no dimanta vai cieta kausējuma). Puscietu iežu urbšanai izmanto cilindrus ar sazobotu malu, ar kuriem iegūst neizmainītus ieža paraugus — serdes —, kuru garums atkarīgs no caurules garuma — 1—3 m (124. att.). Ar ūdeni piesātinātās aleirīta, putekļu, smilts un mālsmilts gruntis (plūstošas gruntis) urbj ar dubļu kausu. Dubļu kauss var būt ar lokveida vai plakānu vārstu, kurš urbjot paceļas un ieži aizpilda cauruli. Tos izmanto gan urbumu tīrīšanai, gan ūdens atsūkņēšanai no urbuma (125. att.). Inženierģeoloģiskā un hidroģeoloģiskā izpētē rokas urbšanu lieto maz, vieniņi vietās, kur grūti novietot mehāniskos agregātus (stāvās upju nogāzēs, pauguru nogāzēs un mācību prakses vietās). Rokas urbšanas dziļums parasti ir 3—10 m, dažreiz tas var būt pat līdz 50 metriem. Inženierģeoloģiskajā izpētē darba urbšanas dziļums reti pārsniedz 100 metrus, turpretī hidroģeoloģijā tas var sasniegt vairākus kilometrus, bet naftas ieguvē — pat vairāk nekā 10 kilometrus. Rokas urbšanas kompleksā ietilpst arī trijkājis, gruntsveris paraugu pa-



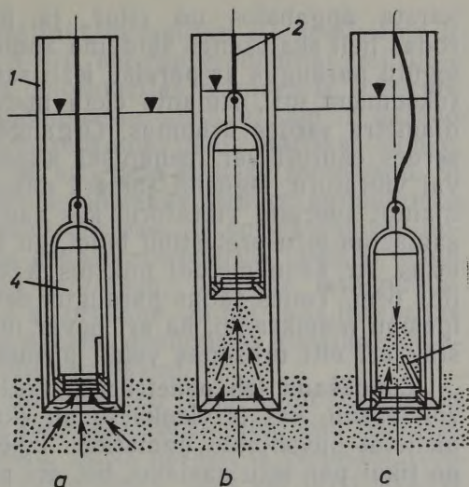
123. Urbšanas instrumentu uzgaļi:

a — spirālveida, *b* — karotveida urbis, *c* — dubļu kauss, *d* — kalti, *e* — kroniši serdes urbšanai.



124. Serdes urbšana:

1 — kronītis, 2 — serdes caurule, 3 — serde.



125. Urbšana ar dubļu kausi:

a — pacelšanas sākums, b — pacelšanas beigās (iesūkšana), c — brīvais kritiens (paraugu ņemšana); 1 — apvalkcaurule, 2 — trose, 3 — dubļu kausa vārsts, 4 — dubļu kauss.

ņemšanai un citi instrumenti. Apvalkcaurules lieto gadījumos, ja jānostiprina urbuma siena, kā arī ūdens horizonta vai plūstošas grunts nostiprināšanai. Apvalkcauruļu diametri ir lielāki par uzgaļu diametriem, un to garums parasti ir 2—3 m, tos vieno speciālas uznavas. Urbjot dziļāk par 5—10 m, urbstieņu izcelšanai no urbuma nepieciešams trijkājis ar rokas vinču. Dziļajiem urbumiem urbšanas gaitā uzgaļi tiek mainīti no lielāka uz mazāku. Urbšanas pēdējā posmā uzgaļa diametrs nedrīkst būt mazāks par 91 mm. Urbšanas gaitā ģeologs seko iežu litoloģiskajam un granulometriskajam sastāvam, mitrumam, iespējai parādīties pazemes ūdeņiem, kuri jāizolē ar apvalkcaurulēm. Urbšanu beidzot, apvalkcaurules izvelk, urbumu aizver vai tamponē ar speciālu cementu vai māla suspensiju. Mehāniskai urbšanai lieto speciālas urbšanas iekārtas, kas parasti uzmontētas uz automašīnām. Inženierģeoloģijā, lai iegūtu kvalitatīvus, nesabojātus ieža paraugus ar neizmainītu struktūru, lieto serdes urbšanu. Parasti urbšanu veic, skalojot ar ūdeni mālu suspensiju, sāls šķīdumu vai arī bez skalošanas. Tā, piemēram, ekspluatācijas urbumus ūdens apgādes vajadzībām, kad nav jāiegūst grunts paraugi, var izdarīt, izmantojot skalošanu, lai atdesētu sakarsušo uzgali un iztīrītu urbumu no sīkajām iežu daļiņām. Skalojamo šķīdumu ievada gar urbstieni, kur tas kopā ar sīkām iežu daļiņām starp apvalkcauruli un urbstieni paceļas Zemes virspusē. Lai paraugos saglabātu dabisko iežu mitrumu, urbšana jāizdara bez skalošanas. Skalošanas vietā var izmantot arī saspīestu gaisu. Plaisainos iežos, galvenokārt

karsta apgabalos un citur, ja ieži ir stipri plaisaini, skalojot rodas lieli skalošanas šķīduma zudumi. Hidrotehniskajām būvē, lai iegūtu paraugus ar pareizu iežu sastāvu, tekstūru, porainību, karsta tukšumiem utt., izmanto cieta materiāla (dimanta) 600—1000 mm diametra serdes urbumus. Organgēnos iežos un putekļainos mālos serdes cauruli var mehāniski iespiest, iesist ar pneimatisko āmuru vai vibratoru, iegūstot samērā dabiskus paraugus. Urbšanai var izmantot speciālu vibratoru, kas rada urbstieņa un uzgaļa vibrāciju, samazina iežu pretestību bīdei, un līdz ar to uzgalis viegli iespiežas iežos. Ar šādu metodi mikstos iežos dažās minūtēs var izurbt pat līdz 6 m. Toties šādus paraugus nevar izmantot parauga mehānisko īpašību noteikšanai, kā arī nevar noteikt pazemes ūdens līmeni. Pastāv arī citi urbšanas veidi, piemēram, izmantojot ultraskaņu u. c.

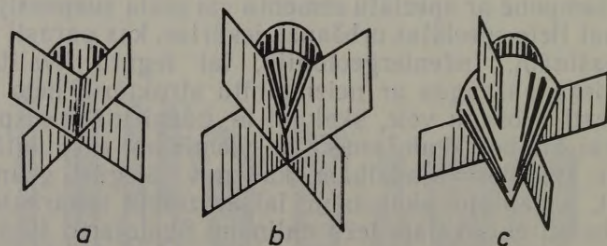
Zondēšana jeb penetrācija. Ļoti plaši izplatīta ir iežu izpēte ar zondēšanu, kas ir vienkārša un ekonomiski izdevīga. To īpaši labi pielietot būvobjektu pamattiežu izpētei. Pēc šīs metodes var spriest ne tikai par iežu sastāvu, bet arī par to blīvumu. Iežu spēju pretoties zondes iespiešanai (spiežot vai sitot) nosaka ar dinamometru, kas ievietots uzgalī. Zondēšana var būt dinamiska (zondi ievada ar sitienu) un statiska (zondi ievada ar vienmērīgu spiedienu). Ar *statisko zondēšanu* zondi var iegremdēt pat līdz 60 m dziļumam. Zondes uzgalim parasti ir koniska forma, kuru pievieno stienim (126. att.). Zonde paredzēta mālu, kūdras, sapropeļu dabiskās stiprības noteikšanai. *Dinamisko zondēšanu* izmanto smilšu blīvuma un deformācijas moduļu noteikšanai, mālu grunšu sablīvēšanas, kā arī atsevišķu slāņu izplatības noteikšanai. Deformācijas moduli smilts iežiem aprēķina pēc formulas:

$$E = qn,$$

kur E — iežu deformācijas modulis, MPa;

q — zondes konusa pamatnes īpatnējā pretestība, MPa;

n — koeficients, kas atkarīgs no smilšu granulometriskā, sastāva, mitruma utt.)

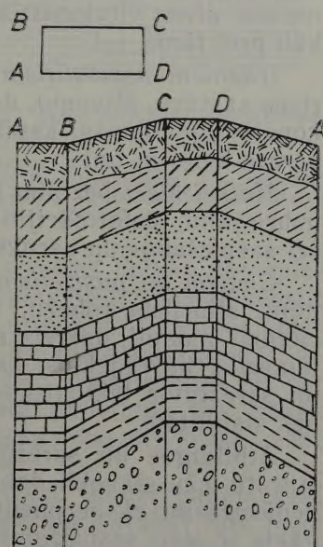
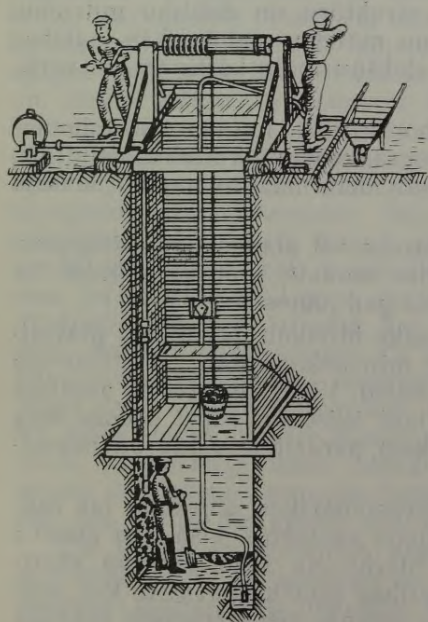


126. Zondes uzgaļi mālu iežu zondēšanai:

a — kombinēts konisks uzgalis ar spārnem uz galvenā korpusa, b — kombinēts koniski spārnains uzgalis, c — spārnains uzgalis.

Tā puteklainām, ar ūdeni piesātinātām smiltīm šis koeficients ir 3—4, smalkgraudainai smiltij — 8—10, bet rupjgraudainai smiltij — 14—16. Dažādas ģenēzes smiltīm deformācijas rezultāti ir atšķirīgi, jo, neskatoties uz vienādu granulometrisku sastāvu, tām ir dažāda struktūra. Būvobjektiem, kuriem paredzama tikai statiska slodze, ģeoloģiskā griezuma noteikšanai parasti lieto statisko zondēšanu. Šī zondēšana ir parocīga, jo ir lielāks ievadišanas ātrums, automatiska rezultāta reģistrēšana un citas priekšrocības. Ar šo metodi var noteikt griezumu plānās, neizturīgās grunšu starpkārtās, dažādu slāņu izplatības robežas, nestspēju pāļu pamatiem, dažādus ieslēgumus. Parasti zondēšanu veic kompleksā ar urbšanu. Ja pētāmās teritorijas ģeoloģiskā uzbūve ir zināma, tad dažādu ģeoloģisko griezumu detalizētākai izpētei parasti veic papildu zondēšanu.

Šurfēšana. To lieto, ja precīzi un detalizēti jāizpēta un jāapraksta ieži dabiskos noguluma apstākļos, jānosaka plaisainība, iežu fizikālās un mehāniskās īpašības visā masīvā. Šurfs parasti ir vertikāla (reti slīpa) taisnstūrveida, retāk apaļa rakta bedre, kurā var brīvi strādāt (127. att.). Šurfēšanas bedres parasti ir nedziļas, līdz 10 vai 15 metriem, tajā jāveic inženierģeoloģisko apstākļu noskaidrošana atbildīgiem būvobjektiem. Šurfos var precīzi noteikt ieža mitrumu, bet rakšana dziļāk par gruntsūdens līmeni ir apgrūtināta, jo jāveic speciāli gruntsūdens atsūkņēšanas darbi vai arī mākslīgas saldēšanas darbi u. c. Iežu saldēšanā izmainās to struktūra, tilpums. Šurfēšanu izmanto sevišķi atbildīgiem celtniecības objektiem, jo papildus var



127. Šurfs un tā sienu izklājums.

paņemt precīzus iežu paraugus un laboratorijā noteikt iežu mehāniskās īpašības (deformācijas moduli, pretestību bīdei u. c.). Šurfēšanas dokumentācijā apraksta visus ieža slāņus, izklājumu no visām četrām šurfa sienām, kas ļauj precīzāk noteikt slāņa biezumu un sagulumu būvobjektā. Pie hidrostaciju būvju pamatiem šaurai nogāzei izveido horizontālas vai slīpas pazemes ejas ar trapeceveida šķēsgriezumu, lai noteiktu iežu plaisainību un dažreiz noslīdeņa masīva vai delūvija slāņa biezumu. Var lietot arī šauras (0,8 m) un seklas (2 m) tranšejas.

LABORATORIJAS DARBI

Dažādu celtniecības objektu un hidrotehnisko būvju projektēšanā un celtniecībā svarīga nozīme ir iežu fizikālajām un mehāniskajām īpašībām. Tā, piemēram, pamatnes iežu saspiežamības un stiprības aprēķini ļauj noteikt objekta pareizāku izvietojumu un izdevīgāko konstrukciju. Iežu fizikālās un mehāniskās īpašības parasti nosaka laboratorijā, izmantojot laukā iegūtos paraugus. Bez fizikālajām un mehāniskajām īpašībām nosaka arī iežu struktūras un tekstūras īpatnības, mineraloģiski petrogrāfisko un dažreiz arī ķīmisko sastāvu. Laboratorijas darbu metodika un aparātūra aprakstīta speciālās rokasgrāmatās.

Iežu paraugus pēc konsistences parasti iedala mīkstos, irdenos, mālajos, puscietos un cietos. Nosakot mehāniskās un fizikālās īpašības, iežiem jābūt ar neizmainītu struktūru un dabisku mitrumu. Dažiem iežiem, kā piemēram, slokšņu māliem, mehāniskās īpašības nosaka divos virzienos: horizontāli slokšņu mālu kārtiņām un vertikāli pret tām.

Irdeniem nesaistītiem iežiem laboratorijās nosaka granulometrisko sastāvu, blīvumu, dabisko mitrumu, kopējo porainību, cieto fāzi, kopējo tilpummasu, kapilārās īpašības, deformācijas moduli, iekšējo berzes leņķi u. tml.

Mālu iežiem bez šīm īpašībām nosaka vēl plastiskumu, lipīgumu, uzbrišanu, deformācijas un elastības moduli, pretestību bīdei, kā arī saspiešanos un sarukšanu dažādos gadījumos.

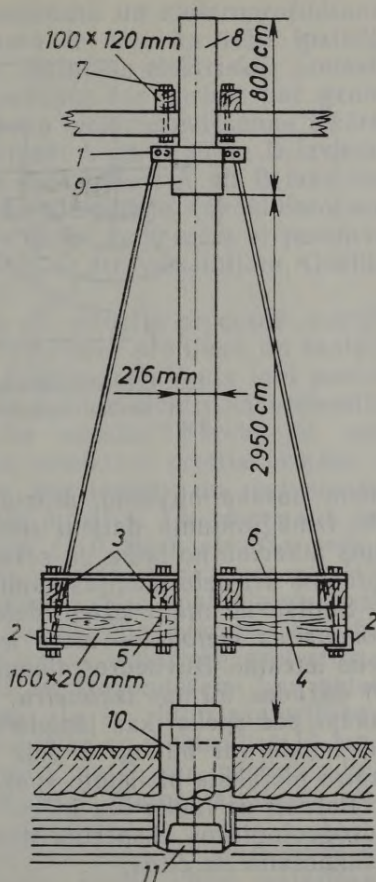
Cietiem un puscietiem iežiem nosaka blīvumu, porainību, plaisainību, stiprības robežu, salizturību, mitrumkapacitāti, elastības un cietības moduli, dažreiz arī šķīdību ūdenī. Visas iespējamās analīzes jānosaka būvobjektos, kas atrodas labi šķīstošu, stipri dēdošu iežu un sarežģītos tektoniskos rajonos, kam parasti ir slikta būvpamatnes stabilitāte.

Atbildīgos un sarežģītos inženierģeoloģiskos objektos, lai raksturotu iežu stāvokli dabiskos sagulumu apstākļos, visā iežu masīvā nepieciešami eksperimentālie lauka darbi. No šiem darbiem svarīgākie ir iežu saspiežamības un stiprības noteikšana u. c. Pēc iežu saspiežamības var spriest par grunts sēšanās vienmērīgumu dažādās būves pamatnēs, kas atkarīga no slodzes lieluma un laika perioda.

Vienmēr ir jāuzrāda pētāmā objekta kritiskā slodze, kā arī pieļaujamais gruntsūdens līmenis.

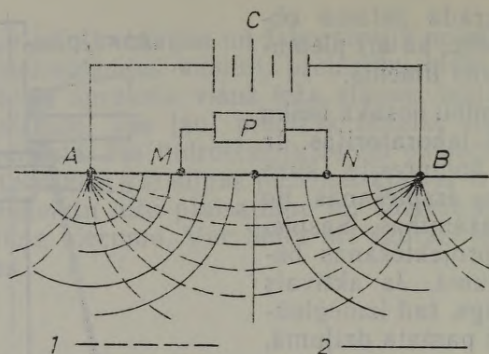
Ieža saspiežamību nosaka lauku apstākļos un arī laboratorijās. Ir jāatšķir grunts kompresija, kurā tiek izslēgta sānu izspiešanās, no vispārējās saspiežamības. Saspiežamību nosaka projektēšanas būves pamatu dziļumā. Ja aktīvais slānis ir viendabīgs, tad izmēģinājumu izdara tikai pamata dziļumā, bet, ja ir dažāda sastāva slāņi, tad izmēģinājumus veic katram slānim. Saspiežamību uz lauka parasti nosaka, izmantojot dzelzs vai cita smaga materiāla apaļo vai kvadrātveida spiedogu. Būvbedrēs vai arī šurfos notīra horizontālu laukumu, kur novieto spiedogu, to pakāpeniski slogo ar dažādiem smagiem priekšmetiem (sliedēm, akmeņiem, granti), ievērojot vienmērīgu slodzes sadalījumu uz novietotās platformas virs spiedoga. Spiedienu var izdarīt arī ar domkrata, hidroauliskās preses vai citas ierīces palīdzību. Parasti izmanto apaļos spiedogus, blīviem māliem un smiltis iežiem to diametrs ir 56,2 cm, laukums — 2500 cm², vidēji blīviem un irdeniem iežiem — 5000 cm². Neizturīgiem un nevienmērīgiem iežiem izmanto lielus spiedogus (>5000 cm²). Grunts sēšanās mērījumus veic ar nivelieri (precizitāte $\pm 0,1$ mm). Izmēģinājums jāizdara dziļumā, kas vismaz trīs reizes lielāks par spiedoga platumu vai diametru. Tā kā šāds dziļums bieži atrodas zemāk par gruntsūdens līmeni, visērtāk izmantot urbumus. Urbumos spiedienu rada ar apvalkcaurulēm (128. att.), uz spiedogu radot 0,1—0,2 MPa slodzi. Novēro spiedoga sēšanos līdz stabilizācijai un sastāda saspiešanās likni. Slodzi pakāpeniski palielina, līdz sākas grunts izspiešanās zem spiedoga un plaisāšana vai arī krasa sēšanās, kas liecina par grunts sabrukšanu.

Lai iegūtu deformācijas atgriezenisko līkni, slodzi pakāpeniski samazina. Pēc tam spiedogu no urbuma izceļ un paralēli tajā pašā dziļumā noņem otru monolītu no urbuma, kas izurbts blakus, lai noteiktu iežu saspiežamību laboratorijas apstākļos. Abiem iežu mono-



128. Ieža saspiežamības noteikšana urbumā:

1 — apskava, 2 — stūreņi, 3 un 4 — balki, 5 un 7 — bultskrūves, 6 — segums, 8 — caurule, 9 — uzmava, 10 — apvalkcaurule, 11 — spiedogs.



129. Elektrozondēšana:

1 — strāvas izplatības līnijas, 2 — ekvipotenciālās līnijas.

lītiem nosaka blīvumu, mitrumu, vidējo saspiežamības koeficientu. Pēc izmēģinājuma datiem zīmē grafiku, kurā redzams sēšanās lielums atkarībā no laika un sēšanās atkarībā no slodzes, pēc formulas aprēķina arī deformācijas moduli.

Smilšu un mālu iežiem deformāciju urbumos var noteikt ar *presiometrijas metodi* — mēra iežu sablīvēšanos urbuma sienās spiediena ietekmē. Būvbedres dibenā iežu stiprības pārbaudei dažreiz lieto arī dažādas formas *iskimetru*, ar kuru nosaka ieža neviendabīguma pakāpi pēc spēka, kas jāpielieto, lai to pagrieztu. Iskimetra griešanas leņķis var būt no 0° līdz 45° , klāt ir ierīce, kas nosaka un uz papīra pieraksta pielietoto spēku.

Parasti uz lauka bez inženierģeoloģiskiem novērojumiem veic arī hidroģeoloģiskos eksperimentālos darbus, piemēram, iežu filtrāciju, atsūkņēšanu un citus.

ĢEOFIZIKĀLĀS METODES

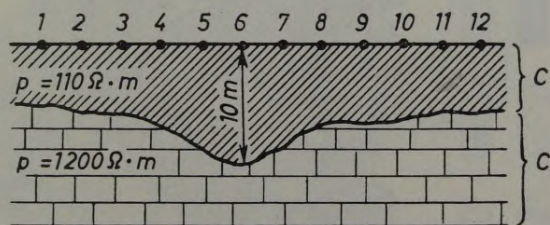
Inženierģeoloģiskos un hidroģeoloģiskos pētījumos plaši lieto ģeofizikālās metodes, kuras var veikt ātri, lēti, un iegūtie skaitļi ir precīzi. Visbiežāk lietotās ģeofizikālās metodes hidroģeoloģijā un inženierģeoloģijā ir elektroizpēte, radiometrija, seismiskā, gravimetriskā, magnetometriskā metode u. c. Ģeofizikālās metodes visizdevīgāk lietot neviendabīgā ģeoloģiskā vidē, kur iežu fizikālais stāvoklis (plaisainība, slāņu maiņas) un īpašības (blīvums, porainība, elektriskā pretestība) ir stipri atšķirīgas. Ģeofizikālās metodes nav ieteicams lietot kā patstāvīgas metodes bez urbšanas, zondēšanas, jo iegūtos datus nevar pareizi interpretēt. Ar ģeofizikālajām metodēm ērti nosakāms gruntsūdens dziļums, ūdens nesējslāņa biezums, režīms, ģeoloģijā tās lieto dažādu periodu nogulumu biezuma, slāņu virsmas reljefa, masīva neviendabīguma noteikšanai. Inženierģeoloģijā ar ģeofizikālām metodēm nosaka karsta un sufozijas procesus, noslīdeņus, mūžīgā sasaluma biezumu, būvmateriālu atradnes u. c.

Visplašāk lieto *vertikālo elektrozonēšanu* un *elektroprofilēšanu*, izmantojot līdzstrāvu. Metodes pamatā ir tas, ka iežu īpatnējā elektriskā pretestība atšķiras no vides īpatnējās elektriskās pretestības. Pēc īpatnējām elektriskām pretestībām var spriest par ģeoloģisko vidi. Parasti elektroizpētei izmanto elektrozonēšanas iekārtu no 4 elektrodiem (129. att.), kurā elektrodi A un B, C un D izvietoti simetriski attiecībā pret centru O. Ar elektrodiem A un B iežu masīvā ievada elektrisko strāvu no elektrodzinējiem (akumulatoriem, baterijām u. c.). Izveidojas elektriskais lauks, kuru mēra ar potencioometru P. Elektrisko lauku attēlo grafiski ar strāvas līnijām. Grafikā labi redzami svešķermeņi iežu masīvā.

Hidroģeoloģijā, lai noteiktu karsta un sufoziju procesus, mērījumus izdara ar *elektroprofilēšanu* pa vairākiem profiliem un sastāda elektrisko pretestību (izoomu karti). Elektroprofilēšana labi parāda iežu robežas, plaisas, lūzumus, kam ir dažāda elektriskā pretestība. Elektroprofilēšanā elektrisko pretestību nosaka, pārvietojot mēriekārtu ar elektrodiem A, B, C, D pa noteiktām profila līnijām un ievērojot pastāvīgus attālumus starp barojošiem un uztverošiem elektrodiem. Mērījumus izdara vairākos punktos. Tā, piemēram, zem pēdējā apledojuuma mālsmits morēnas ($110 \Omega\text{m}$) atrodas permas sistēmas kaļķakmeņi ($1200 \Omega\text{m}$), kuros parādās karsta procesi (130. att.). Punkti 1; 2; 3; ... 9; 10; 11; 12 norāda pilnu īpatnējo elektrisko pretestību, bet virs karsta iegruvuma, kur morēnas biezums ir lielāks, elektriskā pretestība samazinās, jo morēnas elektriskā pretestība ir mazāka nekā kaļķakmeņiem. Vertikālā elektrozonēšana ļauj noteikt horizontālā slāņa dziļumu un biezumu, ja šo slāņu pretestības ir atšķirīgas. Tāpat kā profilējot, arī zondējot ar elektrodiem A un B strāvu ievada iežu masīvā, bet elektrodi C un D, kas mērījuma laikā paliek nekustīgi, noder strāvas uztveršanai. Mainot attālumus starp A un B, mainās arī elektrozonēšanas dziļums.

Zemes garozas un zemeslodes pētīšanā lieto arī seismiskās metodes, kas balstās uz elastīgo svārstību radīto viļņu izplatīšanās ātruma izpēti zemestrīču, mākslīgu sprādzienu gadījumā utt.

Inženierģeoloģijā bieži lieto arī *radiometriskās metodes*, ar kurām ērti var noteikt iežu blīvumu, mineraloģisko sastāvu, kā arī mitrumu un gruntsūdens dziļumu. Metožu pamatā ir radioaktīvā



130. Rajona ģeoloģiskais griezumš:

1, 2 ... 12 — karsta procesa mērījumu punkti.

starojuma intensitātes izmaiņas, plūstot caur iegu masām. Galvenokārt izmanto neitronu starojuma izkliedēšanos un gamma starojuma absorbāciju un izkliedēšanos. Blīvuma noteikšanai lieto gamma metodi, kurā izmanto iegu spēju absorbēt gamma starojumu. Lieto arī radioviļņu metodi, aeroģeoloģiskās metodes, galvenā no tām ir aerofotogrāfiskā metode.

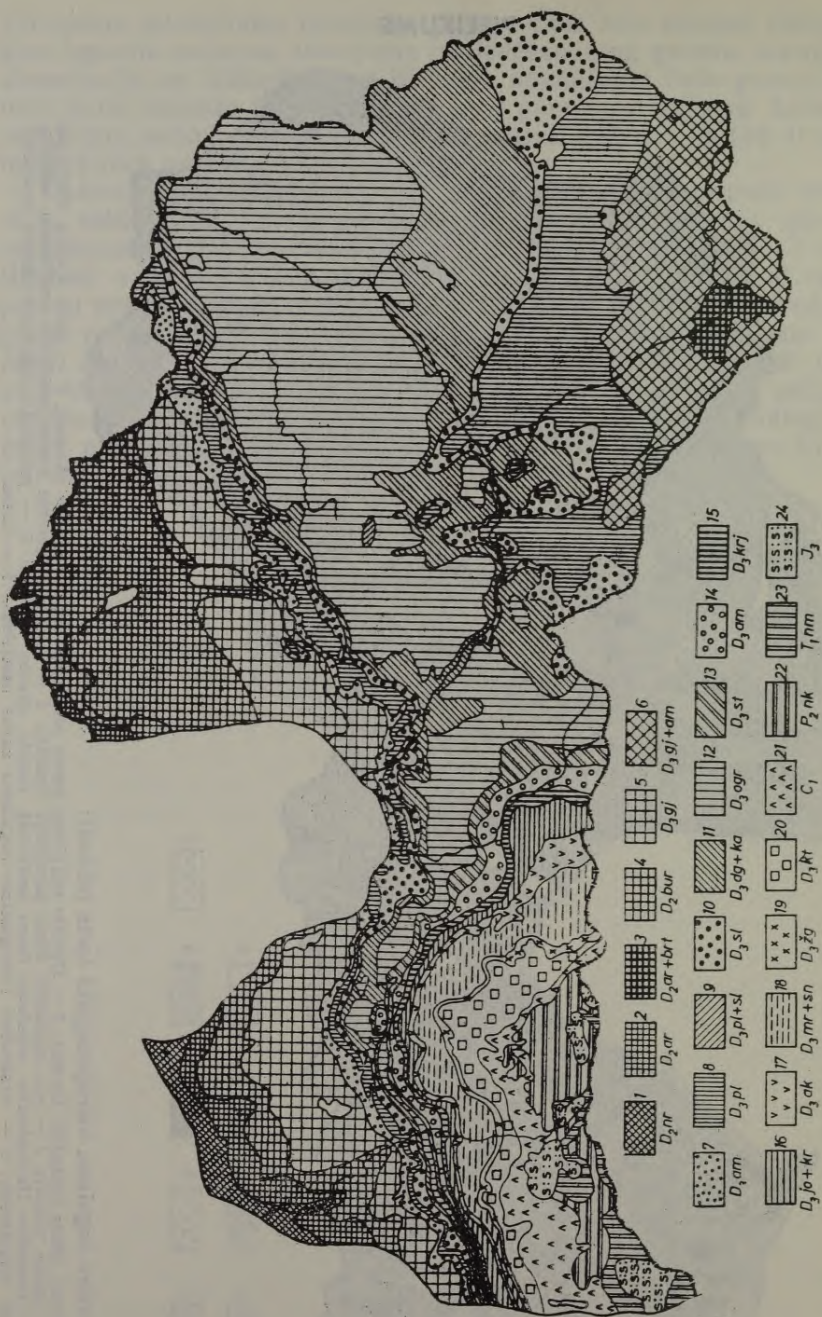
Dažreiz hidrogeoloģiskie un inženierģeoloģiskie procesi (noslīdeņu veidošanās, karsta un sufozijas procesi, dēdēšanas garozas veidošanās, gruntsūdeņu sastāva un saguluma izmaiņas u. c.) noris ilgstoši: vairākus gadus, gadu desmitus vai pat simtus. Lai varētu precīzi prognozēt šo procesu ietekmi uz būvobjektiem un hidroģeoloģisko režīmu, ir jāveic nepieciešamie *stacionārie ģeoloģiskie pētījumi*. Šie pētījumi jāizdara projektēšanas stadijā un parasti jāturpina arī pēc objekta celtniecības pabeigšanas. Stacionāro pētījumu uzdevumi ir novērtēt ģeoloģisko, inženierģeoloģisko un hidroģeoloģisko procesu attīstības dinamiku un dot to kvalitatīvu un kvantitatīvu raksturojumu, kā arī pareizas šo procesu prognozes.

PIELIKUMS



1. Latvijas kvartāro nogulumu hidrogeoloģiskā karte (shēma):

1 — purvu nogulumu ūdens nesējslāņi (kūdra); 2 — aluviālo nogulumu ūdens nesējslāņi (smilts, aļveirīti); 4 — eolo nogulumu ūdens nesējslāņi (mālsmilts); 6 — virsmoreņu fluvioglacīālo nogulumu ūdens nesējslāņi (plaisaini dolomīti, kaļķakmeņi); 8 — virsmoreņu limnogiāciālo nogulumu ūdens nesējslāņi; 9 — ūdens nesējslāņi (smilts, grants, akmeņi); 3 — jūras stadiju nogulumu (smilts); 5 — morēnu nogulumu ūdens nesējslāņi (smilšmāla, morēna, grants, akmeņi); 7 — pamatiežu nogulumu ūdens nesējslāņi.



2. Latvijas ģeoloģiskā karte (shēma).

1. Bambergs K. Latvijas kvartāro nogulumu izveidotās reljefa formas. — Jelgava: LLA, 1985. — 28 lpp.
2. Bambergs K., Maldavs Z. Ģeoloģijas pamatu praktikums. — R.: Zvaigzne, 1984. — 170 lpp.
3. Eberhards G. Fluvialā ģeomorfoloģija: I un II daļa. — R.: LVU, 1978. — 106 lpp.
4. Eberhards G. Glaciālā ģeomorfoloģija. — R.: LVU, 1977. — 123 lpp.
5. Indāns A., Bambergs K., Zobena A. u. c. Ģeoloģija. — R.: Zvaigzne, 1979. — 375 lpp.
6. Indāns A., Ošiņa I., Zobena A. Inženierģeoloģija. — R.: Zvaigzne, 1986. — 278 lpp.
7. Krops V. Ģeoloģija un hidroģeoloģija. — R., LLt, 1973. — 165 lpp.
8. Kuršs V. Devona zivju laikmetā. — R.: Zvaigzne, 1988. — 71 lpp.
9. Latvijas PSR Ģeoloģija / K. Sprinģa redakcijā. R.: ZAI, 1961. — 515 lpp.
10. Maldavs Z. Pazemes ūdens. — R.: LVI, 1964. — 235 lpp.
11. Maldavs Z., Melluma A., Seile A. Ģeomorfoloģijas pamati. — R.: Zvaigzne, 1981. — 208 lpp.
12. Mežals G., Skujāns R., Freivalds V., Bambergs K. Augsnes zinātne. R.: Zvaigzne, 1970. — 523 lpp.
13. Аллисон А., Палмер Д. Геология. — М.: Мир, 1984. — 151 с.
14. Ананьев В. П., Коробкин В. И. Инженерная геология. — М.: Высшая школа, 1973. — 299 с.
15. Белый Л. Д. Инженерная геология. — М.: Высшая школа, 1985. — 230 с.
16. Даниланс И. Я. Четвертичные отложения в Латвии. — Р.: Зинатне, 1973. — 312 с.
17. Геологическое строение и полезные ископаемые Латвии. — Р.: Зинатне, 1979. — 543 с.
18. Геология Латвийской ССР / Гл. ред. Я. П. Мисанс. — Р.: Зинатне, 1984. — 214 с.
19. Гольдберг В. М., Скворцов Н. П. Проницаемость и фильтрация в глинах. — М.: Недра, 1986. — 161 с.
20. Заруба К., Мени В. Инженерная геология. — М.: Мир, 1979. — 168 с.
21. Зенкович В. П. Основы учения о развитии морских берегов. — М.: АН СССР, 1962. — 709 с.
22. Иванова М. Ф. Общая геология с основами исторической геологии. — М.: Высшая школа, 1980. — 439 с.
23. Кац Д. М. Основы геологии и гидрогеологии. — М.: Колос, 1981. — 350 с.
24. Ланге К. О. Основы гидрогеологии. — М.: ИМУ, 1950. — 229 с.

25. Ларионов А. К. Занимательная инженерная геология. — М.: Недра, 1968. — 231 с.
26. Ломтадзе В. Д. Инженерная геология. — Л.: Недра, 1978. — 496 с.
27. Попов И. В. Инженерная геология. — М.: ИМУ, 1959. — 509 с.
28. Силин-Бекуурин А. И. Динамика подземных вод. — М.: ИМУ, 1958. — 258 с.
29. Справочное руководство гидрогеолога в 2-х т. / Под ред. В. И. Максимова. — Л.: Недра, 1979. — 807 с.
30. Якутова А. Ф., Хаин В. Е., Славин В. И. Общая геология. — М.: ИМУ, 1988. — 447 с.
31. Ясаманов Н. А. Современная геология. — М.: Недра, 1987. — 190 с.

- Abisāle 138
- Abisālie lūzumi (rifti) 91
- Abrāzija 141, 142
- Afēbijs 78
- Agloporīts 52
- Agronomiskās rūdas 40, 60, 61
 - Latvijā 61—73
- Aisbergi 148
- Akas, karsta 281
- Akumulatīvās formas 116
- Akumulācija 103, 104
- Aleirolīti 49
- Alpu epoha 83, 84
- Alūvijs 116
- Analīze, granulometriskā 191
- Andezīti 46
- Angolas epoha 82, 83
- Anizotropisms 38
- Anomālijas, gravitācijas spēka 28
 - , magnētiskās 25
- Antiklināles 88, 89
- Antikolapss 13
- Apatīts 61
- Apgabals, aseismiskais 103
 - , atslodzes 245
 - , pieplūdes 244
 - , spiediena 244
- Arhajs 78
- Astenosfēra 27, 29
- Astronomija 14
- Atmosfēra 33
- Atmosfēras nokrišņi 179—183
- Atoli 138
- Atomu režģis 38
- Augsne, purva 233
- Augsnes dabiskais mitrums 197, 198
 - erozija 112
 - kopejais mitrums 198
 - plūšana 172
 - relatīvais mitrums 198
 - soliilukcija 172
- Aulaktogēni 82
- Auna pieres 150
- Avoti 250—256
 - , aerācijas ūdeņu 251
 - , artēzisko ūdeņu 252
- Avoti, erozijas 251
 - , gruntsūdens 251
 - , karsta ūdeņu 252
 - , kāpjošie 251
 - , kontakta 251
 - , kritošie 251
 - , mākslīgie 253
 - , mūžīgā sasaluma 252
 - , pastāvīgi darbojošies 253
 - , plaisu 251, 252
 - , pārplūduma 251
 - , ritmiski darbojošies 253
 - , sezonālie 253
 - , sifonavoti 252
 - , terminālie 97, 98
- Avotkalķis 62, 254—256
- Avotu debīta noteikšana 253
 - mineralizācijas pakāpe 253—256
- Ālandu kvarcporfīrs 46
- Balkas 119
- Baltijas (Eburnejas) epoha 82, 83
- Barhāni 113, 114
- Bārs 144
- Baseins, artēziskais 244
 - , firma 148
 - , palēninātas ūdens apmaiņas 247
 - , platformu artēziskais 245
 - , starpkalnu ieplaku apgabalu artēziskais 245
- Batiāle 138
- Batolīti 98
- Bazalti 46
- Belozeras epoha 81, 83
- Biosfēra 33, 35, 36
- Blīvums, jūras ūdens 137
- Blokiogramma, karsta rajona 284
- Bokas 95
- Bordatolīts 61
- Brūnogles 60
- Bulārenas (Laksfordas) epoha 82, 83
- Būvmateriāli 40

- Cietība 85
 Cietības skala 38
 Cokols 131
 Cunami 139
- Dacīti 46
 Daikas 98
 Daltona likums 178
 Darsī likums 174, 203
 Debits, akas 250
 —, akas urbuma 213
 —, ipatnējais 213, 249
 Deflācija 110
 Deflācijas vagas 111
 Deformācija 85
 Deformācijas, kroku dislokācijas 87
 — modulis 304
 —, pārvāpumu dislokācijas 87
 Deglaciacija 129
 Dehidratācija 106
 Dekarbonizācija 107
 Delta 124, 125
 Deltas, fluvioglaciālās 162
 —, sausās 125
 Delūvijs 117
 Dendriti 36
 Denudācija 103, 104
 Depresijas piltuve 209
 — rādiuss 209
 Deskvamācija 105
 Desukcija 179
 Devons 79, 81, 271
 Dēdēšana 40
 Dēdēšanas garozas 108, 109
 Diabāzi 47
 Diaģenēze 47
 Dioriti 45
 Disjunktīvie traucējumi 91
 Dolomiti 56—58
 Dolomīts, maltais 61
 Dolomītu izmantošana 57, 58
 Doplera efekts 12
 Drumlini 158, 159
 Drūzas 36, 37
 Dziļlūzumi 91
 Dziļumieži 44, 45
 Dziļūdens iedobes 31
 Dzimta 76
 Džinsa katastrofu hipotēze 15
- Eksarācijas darbība 150
 Eksperimentālie lauka darbi 302—308
 Elastības modulis 85
 Elektroprofilēšana 309
 Elektrozondēšana 309
 Eluvijs 117
 Eolās formas 113
 Eoni 78
 Epirogenētiskās kustības 31
- Erodējošā darbība, jūras 141, 142
 —, ledāja 149—151
 —, upju 125—128
 Epohas 81
 Eroziija, augsnes 112
 —, ūdens 116
 —, vēja 110, 112
 Eroziijas—akumulācijas fluviālās formas 116
 Eroziijas bāze 126
 Estuāriji 125
 Eversijas katls 126
 Ezери, termokarstu 172
 Ezerkaļķi 62, 63
- Fanerozojs 78
 Fesenkova hipotēze 16, 17
 Filiti, sk. Šiferi
 Firna baseins 148
 Firns 147
 Fjordi 142
 Flēksūras 88
 Fluvioglaciālie gruntsūdeņi 241
 Fluviokēmi 161
 Formas, brīvās akumulatīvās 143, 144
 —, krastam pieguļošās 143, 144
 —, noslēgtās akumulatīvās 143, 144
 Formula, Dipi 213, 215
 —, Kozeni 196
 —, Parkera 214
 Fosilijas 76
 Fosforiti 61
 Fumarolas 96
- Gabro 45
 Gaismas gads 12
 Galaktika 12
 Garenviļņi 19
 Gāzes, izšķīdušās jūras ūdenī 136, 137
 Geizeriti 97
 Geizers 97
 Geodas 37
 Gijots 135
 Gneisi 74
 Gotas (Kibaras) epoha 82, 83
 Granodioriti 44, 45
 Granitpegmatīti 46
 Grants 48
 Gravu eroziijas bāze 119
 — veidošanās 118—120
 Grābens 92
 Grunšu klasifikācija 280, 281
 Grunts celtnieciskās īpašības 279
 —, divfāžu 278
 — drupšanas robeža 199
 — lipīgums 280
 — mācība 278—281
 — mehānika 279
 — plastiskums 280
 — plūstamības robeža 199

Grunts salizturība 280
 — struktūra 279
 — tekstūra 279
 — trisfāžu 279
 — uzbriešana 280
 — vienfāzes 279
 Gruntsūdens 234—243
 Gruntsūdeņi 211—216
 —, aluviālo nogulumu 240—242
 —, delūvija nogulumu 240, 242
 —, fluvioglaciālie 241
 —, kalnu apgabalā 240
 —, karsta rajona 240
 —, leduslaikmeta nogulumu 240, 241
 —, morēnu 240
 —, plaisaino iežu masīva 240
 —, smilšaino jūras piekrasti 240, 242, 243
 —, smilšaino tuksnešu 240, 243
 Gruntsūdeņu hidrodinamiskās zonas 238, 239
 — izplatība 240—243
 — pieplūde grāvim 215, 216
 — plūsma 211—216
 — veidi 240—243
 — zonalitāte 236—240
 —, barošanās 237, 240
 —, hidrodinamiskā jeb pazemes noteces 237
 —, klimatiskā 236, 237

Ģeofizika 7

Ģeogēnētiskie kompleksi 299

Ģeokīmija 7

Ģeoloģija 5, 14

—, derīgo izrakteņu 8

—, dinamiskā 6, 7, 84

—, izotopu 7

—, reģionālā 8

—, vēsturiskā 8

Ģeoloģiskā darbība, ledāja 146—155

—, Pasaules okeāna 133—146

—, upju 120—133

—, vēja 109—116

—, virszemes tekošo ūdeņu 116—120

Ģeoloģiskā vēsture 78

Ģeoloģiskās kartes 90

Ģeoloģiskie griezumumi 90

— procesi, eksogēnie 84, 103—172

—, endogēnie 84—103

Ģeomorfoloģija 8

Ģeosfēras 20

—, ārējās 33—36

Ģeosinkliāles 32, 33

Ģeotermālie apgabali 24

Ģeotermiskais gradients 22

Ģeotermiskā pakāpe 22

— zona 22

Ģeotermiskās kartes 23

Ģints 76

Ģipsākmeņi 58, 59

Habla likums 12

Hercinas epoha 83

Hidrātācija 106

Hidroboracīts 61

Hidrogrāfiskais tīkls 120

Hidroģeoloģija 8, 173

Hidroģeoloģijas uzdevumi 173—175

Hidroģeoloģiskā atskaite 301, 302

— izpēte 295—302

— kartēšana 297—302

Hidroģeoloģiskie apstākļi Latvijā 265—274

— rajoni Latvijā 274—278

—, —, dienvidaustrumu Latvijas 277, 278

—, —, Dienvidkurzemes 278

—, —, Viduskurzemes 278

—, —, Viduslatvijas un ziemeļaustrumu Latvijas centrālais 277

—, —, Ziemeļkurzemes 275, 277

Hidroģeosfēra 173

Hidroizophises 216, 234, 235

Hidrolakolīti 172

Hidrolīze 106

Hidroloģiskā cikla koncepcija 180, 183

Hidroloģiskie rajoni Latvijā 274, 275

Hidrosfēra 33, 34, 35, 173

Horsts 92

Humuss 35

Iedzelmes 127

Iegulas, avotkalķu 254—256

—, krauju 254

—, kupolveida spiedienūdeņu veidotās 254, 255

—, nogāžu 254

—, pakājes 254, 255

Iegultnes 155

Ielejas, piededāja baseina upju pieteku 163

—, —, — ūdeņu pārrāvumu 163

—, subglaciālās 163

Ielejveida pazeminājumi 159

Ieži, abisālie 41, 42

—, andezīti 46

—, bazalti 46

—, bāziskie 43

—, biokīmiskas izcelsmes 47

—, blāķu 48

—, brekcija 48

—, dacīti 46

—, devona dolomīti 56, 57

—, diabāzi 47

—, diorīti 45

—, diorītu—andezītu grupa 43

—, dolomīti 56—58

—, drupu 47—49

—, dziļumieži 44, 45

—, dzīslu 42

—, ekskluzīvie jeb izlijumieži 43

—, efuzīvie 41

Ieži, ezeru rūda 59
 —, gabro 45
 —, gabro—bazaltu grupa 43
 —, gaišie 21
 —, gneisi 74
 —, graniti 44
 —, granitpegmatiti 46
 —, granitu—liparitu grupa 43
 —, granodioriti 44, 45
 —, grants 48
 —, gipsakmeņi 58, 59
 —, hipabisālie 41, 42
 —, intruzīvie 41
 —, izlijumieži 46, 47
 —, jauktie 49
 —, juras kaļķakmeņi 56
 —, kaļķakmeņi 53—56
 —, karbona dolomiti 57
 —, kaustoboliti 59, 60
 —, konglomerāti 48
 —, kūdra 63—71
 —, kvarca smiltis 48
 —, kvarcdiorīts 45
 —, kvarciti 75
 —, kvarcporfīrins 46
 —, ķīmiskas un biokīmiskas izcelsmes 47, 53—60
 —, labradorīts 45
 —, laukakmeņi 48
 —, leptiti 74
 —, limonīti 59
 —, magmatiskie 41—44
 —, mandeļieži 47
 —, marmori 75
 —, māla slānekļi 75
 —, māls 47, 49—53
 —, melafīri 46
 —, metamorfie 41, 73—75
 —, migmatiti 74
 —, morēnu māli 52, 53
 —, nafta 60
 —, nefelīnu—sienītu grupa 43
 —, neitrālie 43, 44
 —, nogulumieži 41, 47
 —, okers 59
 —, olivīngabro 45
 —, pegmatiti 45
 —, peridotīts 45
 —, peridotītu—limburgītu grupa 43
 —, perma kaļķakmeņi 53
 —, piroksenīts 45
 —, porfīri 46
 —, purva rūda 59
 —, putekļainie 49
 —, rupjgraudainie 48
 —, ragmāņa slānekļi 75
 —, sapropelis 71—73
 —, sārmainie 43
 —, segmāli 51
 —, sienīti 44
 —, sienītu—trahītu grupa 43

Ieži, skābie 43, 44
 —, šiferi (filiti) 75
 —, šķembas 48
 —, tumšie 21
 —, ultrabāziskie 43
 —, uralitporfīri 46
 —, vidēja dziļuma 45, 46
 —, vidēji graudainie 48, 49
 —, vizlu slānekļi 75
 —, zvīrgzdi 48
 Iežu aktīvais slānis 169
 — biologiskā dēdēšana 108
 — dēdēšana 104—109
 — fizikāli mehāniskās īpašības 187—200
 — fiziskā jeb mehāniskā dēdēšana 104, 105, 109
 — granulometriskais sastāvs 191—200
 — hidrofizikālās īpašības 187—200
 — inženierģeoloģiskā klasifikācija 282, 283
 — inženierģeoloģiskie veidi un paveidi 299, 300
 — izturības robeža 85
 — kapilaritāte 195—197
 — klasifikācija 40, 282, 283
 — korāzija 110, 111
 — kūkumošanās 172
 — ķīmiskā dēdēšana 105—108
 — lipīgums 199, 200
 — litoloģiskais tips 192, 279
 — materiāla pārvietošana 123—125
 — mehāniskais sastāvs 191
 — mineraloģiskais sastāvs 41
 — petrogrāfiskie tipi 299
 — plastiskums 199
 — porainība 187—191
 — relatīvais blīvums 193, 194
 — sialitiskā dēdēšana 106
 — struktūra un deformācija 41, 85
 — šķīšana 105
 — tekstūra 41
 — tiksotropija 200, 280
 — tilpummasa 194, 195
 — vecuma noteikšana 75—77
 — uzbriešana 200
 — ūdens atdeve 198, 199
 — ūdens kapacitāte 197, 198
 Interģlaciālais laikmets 152
 Inženierģeoloģija 8, 278—310
 Inženierģeoloģiskā atskaite 301, 302
 — izpēte 295—310
 — kartēšana 297—302
 Isķimētrs 308
 Izomorfisms 38
 Izostāzija 27
 Izrakteņi, derīgie 35
 Iztvaiķošana 261
 Izvirduma cietie produkti 93
 — gāzveida produkti 93, 94
 — šķīdrie produkti 93

Jaunkarēlijas epoha 82, 83
 Jonosiēra 33, 34
 Jonu režģis 38
 Josla, bazaltu 29
 —, granītu 29
 —, kēmu terašu 160
 —, okeāniskā bazalta 29
 Juras periods 273
 Jūras dibena izplešanās, sk. Spreddinga process
 — erodējošā darbība 141, 142
 — straumes 139, 140

Kailkarsti 285
 Kainozojs 78
 Kaledonijas epoha 82, 83
 Kalnu grēdas, zemūdens 135
 Kalnakmeņi 53—56
 Kalķi, saldūdens 61—63, 254
 Kalķošanas materiāli 61—63
 Kamenska aparāts 206
 — caurule 206, 207
 Kanta-Laplasa hipotēze 14
 Kapilarometrs 197
 Karbonizācija 107
 Karbons 81, 146, 273
 Karēlijas epoha 82, 83
 Karlings 150
 Karnalīts 61
 Karsta akas 281
 — bāze 284
 Karsti, segtie 285
 Karstu piltuves un bedres 284
 Kartes, detalizētas liela mēroga 298
 —, inženierģeoloģiskās rajonēšanas 300
 —, inženierģeoloģisko apstākļu 299, 300
 —, inženierģeoloģisko prognožu 300
 —, maza mēroga 298
 —, speciālās ģeoloģiskās 300
 —, vidēja mēroga 298
 —, vispārīgā pārskata 298
 Katangas epoha 82, 83
 Kataģenēze 47
 Katarhajs 78
 Kaustobiolīti 59, 60
 Kāpas 113—115
 —, iekšzemes 115
 —, pikveida 114
 —, priekškāpas 113
 Kāpu grēdas 113
 Kārta 76
 Kembrijs 80
 Kēmi 160, 161, 267
 Kenoranas (Laurensijas) epoha 82, 83
 Kimerijas epoha 83
 Klarki 25
 Klase 76
 Klasteri 176
 Koeficienti, filtrācijas 204—211
 —, gravitācijas ūdens atdeves 198, 199

—, kinemātiskās viskozitātes 177
 —, neviendabīguma 192, 193
 —, porainības 189
 —, transpirācijas 179
 —, uzbriešanas 200
 —, ūdens kapacitātes 197
 —, virsmas spraiguma 177
 Kolapss 13
 Kolas (Transvālas) epoha 81, 83
 Koli titrs 227
 Kolūvijs 118
 Kondensācija 179
 Konkrēcijas 36, 37
 Konodonti 9
 Kontinentu tektoniskā uzbūve 32, 33
 Kosmogonija 14
 Krasti, dalmācijas tipa 142
 —, limāna 142
 —, riasa 142
 Krāteri 94
 —, parazitiskie 95
 Kripss 295
 Kristalogrāfijs 7
 Kristāli 37, 38
 Krokas šarnīrs 89
 Kupoli 90
 Kustības, atdalīšanās jeb disjunktīvās 86, 91, 92
 —, krokošanās jeb orogēnās 84, 86, 88—90
 —, svārstību jeb epeirogēnās 86—88
 —, talasogēnās 86
 —, tektoniskās 86
 Kūdra 61, 63—71, 233
 Kūdras atradnes 69
 — izmantošana 70, 71
 — kompostēšana 71
 — sastāvs 69
 Kvarcdiorīts 45
 Kvarcīti 75
 Kvartārais apledojums 152—155
 Kvartārģeoloģija 8
 Laboratorijas darbi 306—308
 Labradorīts 45
 Lagūna 144
 Lakolīti 98
 Laminārā tecēšana 121
 Lapilli 93
 Laterītu dēdēšanas garoza 109
 Laukakmeņi 48
 Lava 24
 Lavinas 289
 Ledāja cirks 148, 150
 — kustība 147
 — tipi 148, 149
 — veidošanās 147
 — eksarācijas—akumulācijas reljefa formas 159, 160
 — izcelšanās iemesli 168—172

- Ledāji 146—155, 168—172
 —, kalnu 148, 149
 —, kontinentālie 148
 —, karenie 149
 —, karu 149
 —, šelfa 148
 Ledus šķirtne 153
 Leptiti 74
 Lesoīdi 112
 Less 112
 Lesveida smilšmāli 112
 Limnokēmi 161
 Limonīti 59
 Litorāle 137
 Litosfēra 29
 Litosfēras plātnes 29, 30
 Līnija, sniega 147
 Līdzenumi, iluvioglaciālie 162, 267
 —, iekšledāja baseina 165
 —, limnoglaciālie 164
 —, pamatmorēnu 158
 —, pieledāja baseina 164, 165
 —, pieledāja virsledus baseina 165
 Līdzenums, Baltijas ledus ezera vei-
 dotais 165, 166
 Lobi 153
 Lokālmorēna 52
 Lūzuma amplitūda 92

Magnētiskais lauks 24, 25
Magnētiskās vētras 24
Mandēles 37
Mandēļieži 47
Marginālās grēdas 167
Marmori 75
Māla slānekļi 75
Māli, Baltijas jūras transgresijās no-
gulsnētie 50
 —, dzelžaini 49
 —, iekšledāja ezeru 51, 52
 —, kā augšņu cilmieži 52
 —, kvartārie 49, 50
 —, liesi 49
 —, mergelmāli 49
 —, morēnu 52, 53
 —, pamatiežu 49, 50
 —, pieledāja ezera 50, 51
 —, puteklaini 49
 —, segmāli 51
 —, sloksņu 50, 165
 —, smilšaini 49
Meandri 127
Megageja 82
Mehāniskais spriegums 85
Melafīri 46
Merkalli skala 102
Merkurs 13
Metagalaktika 12
Metamorfisms, dinamometamorfisms 74
 —, kontakta 40, 73, 74
 —, kontaktmetasomatiskais 74
 —, kontakttermālais 74
 —, reģionālais 74
Metode, bilances 263
 —, Boldireva—Nesterova 208
 —, dekantēšanas 191
 —, elektriskā lauka 7
 —, gravitācijas 7
 —, gravimetriskā 27, 28
 —, izotopu 218
 —, kālija—argona 77
 —, magnetometrijas 7
 —, presiometrijas 308
 —, paleomagnētisko iežu izpētes 25
 —, Pavlovska 213
 —, pārgāznes 253
 —, radioaktīvā 218
 —, radiooglekļa 77
 —, radioviļņu 310
 —, rezistivmetriskā 217
 —, rubīdija—stroncija 77
 —, seismiskā 7, 19, 27
 —, sijašanas 191
 —, tilpuma 253
 —, torija—svina 77
 —, urāna—svina 77
Metodes, aerogeoloģiskās 310
 —, aktuālisma 7
 —, elektrometriskās 220
 —, filtrācijas koeficienta noteikšanai
 204—211
 —, ģeofizikālās 6
 —, ģeoloģiskās 6
 —, iežu vecuma noteikšanai 75—77
 —, indikatoru 220
 —, paleontoloģiskās 75, 76
 —, radiometriskās 76, 77, 309, 310
 —, seismiskās 309
Mezozojs 78, 81
Mēness 13
Migmatīdi 74
Mineralizācijas pakāpe 221
Mineraloģija 7
Minerāli 36, 37
 —, amorfi 37
 —, eksogēnie 40
 —, endogēnie 40
Minerālu agregāti 36
 —, cietība 38
 —, dimanta spīdums 39
 —, īpašības 38—40
 —, klases 36
 —, krāsa 39
 —, lūzuma virsma 40
 —, simetrija 38
 —, skaldnība 39, 40
 —, spīdums 39
 —, svītras krāsa 39
 —, veidošanās 40
Minerālūdeņi 221, 253
 —, ogļskābie 224
 —, sērūdeņraža 224

Mohorovičiča robežvirsmā 26, 27
 Molekulu režģis 38
 Monoklināle 87, 88
 Morēnas 151, 152
 —, frontālās sabīdījuma gala 166
 —, uvāli 157
 Morēnu grēdas 158
 — pauguri 157
 — vaļņi 167
 Mosa skala 38

 Nafta 60
 Neki 98
 Noaru kāples 168
 Nobiras 288, 289
 Nogāze, kontinentālā 134
 —, I Baltijas vairoga dienvidu 265
 Nogāzes 132
 —, artēziskās 247
 —, marginālās 168
 Nogruvumi 288
 —, sniega 289
 Nogulumi, deluviālie 117
 —, eolie 113
 —, fluvio-glaciālie 151
 —, glaciālie 151
 —, gravitācijas 118
 —, kvartāra 152—155
 —, limnoglaciālie 151
 Nogulumieži 28
 —, dziļūdens 29
 —, terigēnie 47
 Noslīdeņi 289—293
 —, asekventie 291
 —, insekventie 291
 —, konsekventie 291
 Nomats 92
 Noteikšana, ūdenstilpju piesārņotības
 pakāpes 226
 Nunataki 148

 Okeāna krasta abrazijas profils 141
 — viļņu kustība 140
 Okeāns, Pasaules 133—146
 Okeānu iedalījums zonās 137—139
 Okers 59
 Oksidēšana 107
 Oļi 48
 Ordoviks 80
 Orogēnās kustības 84
 Osi 160, 267
 Ozonsfēra 34

 Paleogēns 81
 Paleogeogrāfija 8
 Paleontoloģija 8
 Paleozojs 78—80
 Pasāti 139
 Pašrakstītā elektroierīces 259

Pauguri, fluvio-glaciālie platoveida 161,
 162
 —, platoveida 164
 Pārbīdījumi 92
 Pegmatīti 45
 Pelagiālie 139
 Penetrācija, sk. Zondēšana
 Peridotīts 45
 Perms 81, 273
 Petrogrāfija 7
 Pēcvulkāniskās parādības 96—98
 Piegultnes sēri 127
 Piekājes, kontinentālās 135
 Piekraste 141
 Piena Ceļš 12
 Pirmsgeoloģiskais posms 77, 78
 Piroksenīts 45
 Piroluzīts 61
 Pjezometriskais līmenis 244
 Plastiskuma skaitlis 199
 Platformas 32
 Precesija 169
 Process, deluviālais 117
 —, fluviāls 116
 —, intruzīvs 93
 —, efuzīvs 93
 —, korāzijas 110, 111
 —, vulkāniskais 93
 Procesi, intruzīvie 98
 —, karsta 281—286
 —, nogāžu 287—295
 —, orogēnie 88
 —, sufozijas 286, 287
 —, tektoniskie 84
 —, vulkāniskie 93, 94
 Prolūvijs 116
 Polārblāzma 24
 Porainība 187—191
 —, ģeometriskā 190
 —, kapilārā 189
 —, nekapilārā 188
 —, reālā 190
 —, subkapilārā 189
 Porfīri 46
 Proterozojs 78, 146
 Protoģeosinklināles 82
 Pseudovulkāni 97
 Purvs 233, 234
 —, pārejas 67, 68
 —, sūnu jeb augstais 67, 68
 —, zāļu jeb zemais 67, 68
 Putekļu vētras 110

 Radiogeoloģija 7
 Ragmāņa slānekli 75
 Rasas punkts 179
 Reducēšanās 107
 Regresija 86, 141
 Reljefa formas 155—168
 —, kompleksi 155—168
 —, tipi 155—168

Urbumi 19, 296
 Urbums, centrālais 209
 Uvāli, limnoglaciālie 164
 Uzledus 171, 172
 Uz mats 92

Ūdenskritums 125

Ūdens abrazīvā darbība 123

- anomālijas 176
 - aprīte 175—187
 - , atmosfēras 173
 - baseins 120
 - , bioloģiskais 173
 - , brīvais 184, 186
 - , ceolīta 186, 187
 - , cietā veida 184
 - , cietība 221, 222
 - cirkulācija okeānos un jūrās 139
 - dinamiskais līmenis 209
 - , dzeramais 226
 - , ezeru 173
 - , gravitācijas 184, 186
 - , higoskopiskais 184
 - izdeve 249
 - izplatība 175—187
 - īpašības 175—177
 - , jūras 135, 136
 - , kapilārais 184, 186
 - , karenaiss kapilārais 195
 - , konstitucionālais 184, 187
 - , kristalizācijas 184, 187
 - , ķīmiski saistītais 184
 - , ledāju 173
 - nesējslāņi, Famenas 273
 - , nokrišņu 261
 - , pazemes 173
 - , plēvīšu 184
 - plūsmas, lineāras 116
 - —, pastāvīgas 117
 - —, periodiskas 117
 - —, plaknes 116
 - , purvu 173
 - , riņķojums dabā 177—183
 - , saistītais 184—186
 - , sniega 173
 - , statiskais līmenis 210
 - , tvaikveida 184, 185
 - , upju 173
 - , veidi iežos 184—187
 - , virsmas spraugums 177
- Ūdensšķirtnes 121
- Ūdenstīlpju aizaugšana un pārpurvo-
 šanās 63—66
- Ūdeņi, aerācijas zonas 231—233
- , apraktie sedimentācijas 201
 - , artēziskie 243—250
 - —, nozīme 249, 250
 - —, Amatas svītas horizonta 272
 - —, Amulas svītas horizonta 273
 - —, Burtnieku svītas horizonta 272

- —, Daugavas svītas horizonta 273
- —, Gaujas svītas horizonta 272
- —, Ogres svītas horizonta 273
- —, Pērnavas svītas horizonta 271, 272
- —, Pļaviņu svītas horizonta 272
- —, Salaspils svītas horizonta 273
- , aukstie radona 225
- , avotu 250—256
- , gravitācijas 231
- , gruntsūdens 234—243
 - — plūsmas baseini 234
 - — saguluma veidi 234
 - — virsmas karte 234—236
 - — zonalitāte 236—240
- , hidroģenkarbonātu 223
- , hlōridu 223
- , infiltrācijas 200, 201
- , juvenīlie 201, 202
- , kombinētie 224
- , kondensācijas 201
- , magmatiskie 201
- , mazsāļaini 221
- , minerālūdeņi 221, 224, 225, 253
- , pazemes 187, 216—278
 - —, agresivitāte 222, 223
 - —, aizsardzība 263—265
 - —, aluviālo nogulumu 269
 - —, ārstnieciskie 262
 - —, bakterioloģiskais sastāvs 225—227
 - —, balneoloģiskie 224, 225
 - —, Baltijas jūras stadiju nogu-
lumu 269
 - —, bilance 260—263
 - —, bioloģiskais režīms 258
 - —, blīvums 230
 - —, dabiskais režīms 256
 - —, dabiskie krājumi 262
 - —, darbība 281—287
 - —, dinamika 202—218
 - —, dinamiskie krājumi 262
 - —, dzidrums 229
 - —, ekspluatācijas krājumi 263
 - —, elektrovadītspēja 230
 - —, eolo nogulumu 268
 - —, ezeru nogulumu 269
 - —, fizikālās īpašības 229, 230
 - —, garša un piegarša 230
 - —, ģeoloģiskais režīms 256
 - —, hidroloģiskais režīms 258
 - —, klasifikācija 230—278
 - —, klimatiskais režīms 258
 - —, kosmiskais režīms 258
 - —, krājumi 260—263
 - —, krāš, 229
 - —, kvartāro nogulumu 266—270
 - —, ķīmiskais sastāvs 218—224
 - —, ķīmiskās īpašības 229, 230

Ūdeņi, pazemes, ķīmiskie komponenti 219, 220
 — —, līmeņa svārstības 259
 — —, mākslīgais režīms 256, 258
 — —, mākslīgie krājumi 263
 — —, mineralizācija 221, 222
 — —, morēnās sastopamie 269, 270
 — —, nesāļie 262
 — —, nogulsnes 229
 — —, pamatiežu 266, 270—274
 — —, patēriņa daļas elementi 260, 261
 — —, pieplūdes daļas elementi 260
 — —, piesārņošanās 264, 265
 — —, pietece 213
 — —, purvu nogulumu 268
 — —, radioaktivitāte 230
 — —, resursi 260—263
 — —, režīms 256—260
 — —, rūpnieciskie 227, 228, 262
 — —, skābums 220
 — —, smaka 229, 230
 — —, starpmorēnu 270
 — —, temperatūra 229
 — —, termālie 262
 — —, veidošanās 200—202
 — —, virsmorēnu nogulumu 269
 — —, zemmorēnu 270
 —, purva 233, 234
 —, reliktie 201
 —, saldūdeņi 221
 —, sāļi 221
 —, starpsasaluma 171
 —, stipri sāļaini 221
 —, sulfātu 224
 —, termālie 22
 —, termālie radona 225
 —, vāji sāļaini 221
 —, vidēji sāļaini 221
 —, virssasaluma 171
 —, virszemes notece 261
 — —, tekošie 116—120
 —, zemsasaluma 171

Vadfosilijas 76

Vairogi 32

Vagas, subglaciālās 163, 164

Valņi 157

Valņi, atšķelšanās 168

—, marginālie 166

Vecupes 128

Vends 78

Venera 13

Vēja akumulācija 113

— erozija 110

Vējš 109—116

Viļņi, seismiskie 99

Viļņu augstums 140

— dziļums 140

— kustība un īpašības 140, 150

— periods 140

— spēks 141

Vinogradova hipotēze 17

Virsmā, Konrāda 29

Viskozitāte 177

Vivianīts 61

Vizlu slānekļi 75

Vulkāniskās bumbas 93

Vulkāni 93—98

Vulkāniskie pelni 93

Vulkānisms 93—98

Vulkānu klasifikācija 94—96

— konusi 94

Zeme 13

Zemes blīvums 20, 21

— forma 17, 18

— garoza 20, 26, 27—31

— —, kontinentālā 27—29

— —, okeāniskā 27, 29, 30

— garozas ķīmiskais sastāvs 25

— — sastāvs 36

— — veidošanās 81—84

— ģeohronoloģiskā skala 81

— ģeoloģiskais vecums 75—77, 81

— ģeoloģiskās vēstures iedalījums 77—81

— izcelšanās 12

— izcelšanās hipotēzes 14—17

— kodols 20, 26

— magnētiskie poli 25

— magnētisms 24, 25

— mantija 20, 26, 27

— pastāvīgās temperatūras zona 22

— temperatūra 21—24

— uzbūve 19, 20

— virsas hipsogrāfiskā likne 18

Zemestrices, dažādu faktoru 99, 101

— epicentrs 99

— hipocentrs 99

— iegruvuma 101

— intensitāte 102, 103

— mākslīgi izraisītās 101

— spēks 101, 102

— tektoniskās 99, 101

—, vulkāniskās 99, 101

Znamenska caurule 206

Zona, dominējošā intensīvā ledāja erozijas 154

—, dominējošā pamatmorēnu akumulācijas 154

—, nerītiskā 137

—, paisuma—bēguma 137

—, periglaciālā 154

—, subdukcijas 31, 33

—, vājā ledāja erozijas 153

Zondēšana 304, 305

Zvirgzdi 48

Zvonci 164

Priekšvārds	3
GEOLOĢIJA	5
Ģeoloģija un tās nozīme tautas saimniecības attīstībā	5
Ģeoloģija — zinātņu komplekss	5
Iss pārskats par ģeoloģiskajiem pētījumiem Latvijā	8
Zemes izcelšanās un uzbūve	12
Zeme Visumā	12
Zemes izcelšanās hipotēzes	14
Zemes ģeofizikālais un ģeoķīmiskais raksturojums	17
Zemes forma	17
Zemes uzbūve	19
Zemes blīvums	20
Spiediens	21
Zemes temperatūra	21
Zemes magnētisms	24
Zemes garozas ģeoķīmiskās aplēses	25
Zemes iekšējo ģeosfēru raksturojums	26
Kodols	26
Mantijs	27
Garozs	27
Kontinentu tektoniskās pamatuzbūves elementi	32
Ārējo ģeosfēru raksturojums	33
Atmosfēra	33
Hidrosfēra	34
Biosfēra	35
Zemes garozas sastāvs	36
Minerāli	36
Iežu klasifikācija	40
Magmatisko iežu klasifikācija	41
Izplatītāko magmatisko iežu raksturojums	44
Nogulumiežu klasifikācija	47
Agronomiskās rūdas	60
Latvijas agronomisko rūdu raksturojums	61

Metamorfo iežu klasifikācija	73
Izplatītāko metamorfo iežu raksturojums	74
Zemes ģeoloģiskais vecums un ģeohronoloģiskā skala	75
Iežu vecuma noteikšanas metodes	75
Zemes ģeoloģiskās vēstures iedalījums	77
Zemes garozas galvenie veidošanās etapi	81
Dinamiskā ģeoloģija	84
Endogēnie ģeoloģiskie procesi	84
Iežu struktūra un deformācija	85
Tektoniskās kustības	86
Vulkānisms	93
Zemestrīces	99
Eksogēnie ģeoloģiskie procesi	103
Iežu dēdēšana	104
Vēja ģeoloģiskā darbība	109
Virszemes tekošo ūdeņu ģeoloģiskā darbība	116
Upju ģeoloģiskā darbība	120
Pasaules okeāna ģeoloģiskā darbība	133
Ledāja ģeoloģiskā darbība	146
Kvartālais apledojums un kvartāra nogulumu izveidotās reljefa formas	
Latvijā	152
Reljefa formas, to tipi un kompleksi	156
Ledāja izcelšanās iemesli	168
Kriogēnie procesi	169
 HIDROĢEOLOĢIJA	 173
Hidroģeoloģija un tās uzdevumi	173
Ūdens izplatība un aprīte dabā	175
Ūdens īpašību vispārīgs apskats	175
Ūdens riņķojums dabā	177
Ūdens veidi iežos	184
Iežu fizikāli mehāniskās vai hidrofizikālās īpašības	187
Pazemes ūdeņu veidošanās	200
Pazemes ūdeņu dinamika	202
Filtrācijas koeficienta noteikšanas metodes	204
Nostabilizējušos gruntsūdeņu plūsma viendabīgā iežu slānī	211
Pazemes ūdeņu plūsmas virziena un ātruma noteikšana	216
Pazemes ūdeņu ķīmiskais sastāvs	218
Pazemes ūdeņu ķīmiskā sastāva veidošanās	218
Pazemes ūdeņu ķīmiskie komponenti	219
Pazemes ūdeņu skābums un bāziskums	220
Pazemes ūdeņu mineralizācija	221
Pazemes ūdeņu agresivitāte	222
Pazemes ūdeņu ķīmiskā klasifikācija	223
Balneoloģiskie pazemes ūdeņi	224

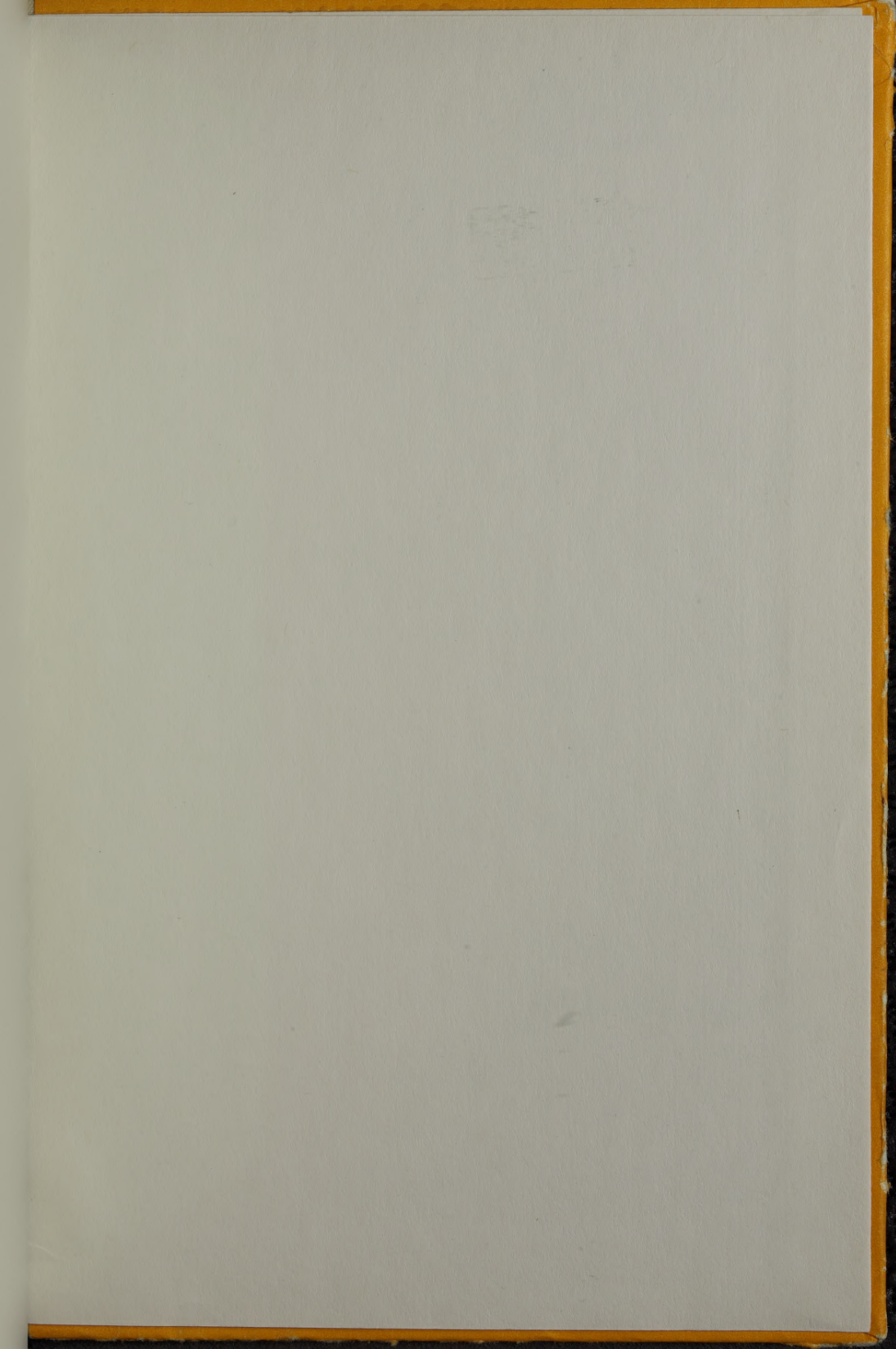
Pazemes ūdeņu bakterioloģiskais sastāvs	225
Rūpnieciskie pazemes ūdeņi	227
Pazemes ūdeņu ķīmisko īpašību loma lauksaimniecības un rūpniecības ūdens apgādē	228
Pazemes ūdeņu fizikālās un ķīmiskās īpašības	229
Pazemes ūdeņu klasifikācija	230
Aerācijas zonas ūdeņi	231
Purva ūdeņi	233
Gruntsūdens	234
Galvenie gruntsūdeņu veidi un to izplatība	240
Artēziskie ūdeņi	243
Avoti	250
Pazemes ūdens režims	256
Pazemes ūdens režīmu pētīšana	259
Pazemes ūdens bilance, resursi un krājumi	260
Pazemes ūdeņu aizsardzība	263
Latvijas hidroģeoloģiskie apstākļi	265
Kvartāra nogulumu ūdeņi	266
Pamatiežu nogulumu ūdeņi	270
Latvijas teritorijas hidroģeoloģiskie rajoni	274
Inženierģeoloģijas pamati	278
Grunts mācība	278
Grunšu klasifikācija	280
Pazemes ūdeņu darbība	281
Nogāžu procesi	287
Hidroģeoloģiskā un inženierģeoloģiskā izpēte	297
Inženierģeoloģiskā un hidroģeoloģiskā kartēšana un izpētes darbi	297
Ekspperimentālie lauka darbi	302
Laboratorijas darbi	306
Ģeofizikālās metodes	308
Pielikums	311
Ieteicamā literatūra	313
Alfabētiskais rādītājs	

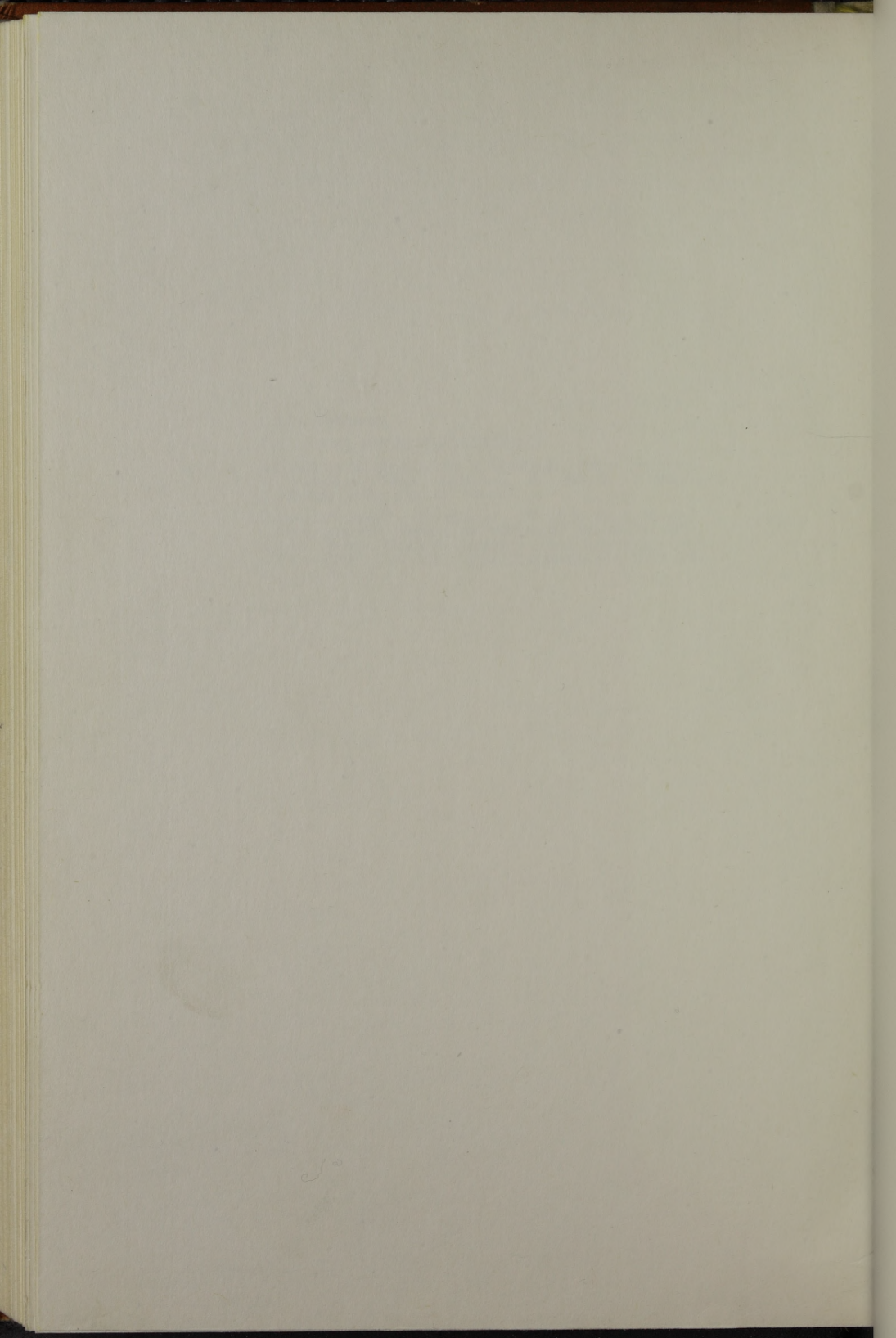
Kārlis Bambergis

GEOLOĢIJA UN HIDROĢEOLOĢIJA

Redaktors G. Ansons un I. Kindzule. Māksl. redaktore
A. Lubgāne. Tehn. redaktore B. Briede. Korektore
Z. Stikute. Vāku zīm. O. Bērziņš.

Valsts izdevniecība «Zvaigzne». LV 1013, Rīgā, K. Val-
demāra ielā 105. Registr. Nr. 000304186. Izdevn. Nr. 8346/
DM-44. Formāts 60×90¹/₁₆. Iespiests valsts uzņēmumā tipo-
grāfijā «Rota», LV 1011, Rīgā, Blaumaņa ielā 38/40. Pa-
sūt. Nr. 80-3.

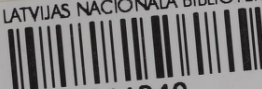




Kontroleksemplārs

L. 1.60

LATVIJAS NACIONĀLĀ BIBLIOTĒKA



0304044940

94-4
L 24