

# Sapropelis un tā izmantošanas iespējas

Karina Stankeviča<sup>1</sup>, Māris Kļaviņš<sup>2</sup>, <sup>1-2</sup>Latvijas Universitāte

**Kopsavilkums.** Sapropelis ir ar organiskajām vielām bagāti nogulumi, kas nogulsņējas ūdenstilpēs. Sapropēja izplatība un plašas izmantošanas iespējas padara to par nozīmīgu dabas resursu, ko var izmantot lauksaimniecībā, dārkopībā, mežsaimniecībā, lopkopībā, ķīmijas un celtniecības industrijā, balneoloģijā un kosmetoloģijā. Kopējie sapropēja resursi Latvijā sastāda aptuveni 2 miljardus m<sup>3</sup>. Šī raksta mērķis ir aplūkot sapropēja klasifikāciju, veidošanās apstākļus un izmantošanas jomas.

**Atslēgas vārdi:** sapropelis, gitija, ezeru nogulumi, organiskais mēslojums, ārstnieciskās dūņas, būvmateriālu izejvielas.

## I. IEVADS

Latvijā ir 2256 ezeri ar kopplatību 1001 km<sup>2</sup> jeb 1,5% no Latvijas teritorijas [1], purvu kopplatība ir 6401 km<sup>2</sup> jeb 9,9% valsts teritorijas [2]. Lielākajā daļā šo ezeru un purvu (zem kūdras slāņa) ir sastopams sapropelis – izmantojams, daļēji atjaunojams zemes dziļu resurss, kas ir kvartāra periodā veidojušies organiski nogulumi, kuri uzkrājas, nogulsņējoties atmirušo ūdensaugu un dzīvnieku atliekām, sajaucoties ar minerālvielām.

Sapropelis ir plaši izplatīts visā pasaulē. Visintensīvākā sapropēja veidošanās un uzkrāšanās ir raksturīga Āzijas un Eiropas mērenajai klimata joslai (Krievija, Skandināvijas pussala, Francija, Vācija, Polija, Baltijas valstis, Baltkrievija un Ukraina) un Ziemeļamerikas kontinenta Lielo Ezeru reģionam (Kanāda un Amerikas Savienotās Valstis).

Latvijas ezeros aplēstais sapropēja daudzums, ko novērtējis Valsts ģeoloģijas dienests, pamatojoties uz Latvijas ezeru izpētes rezultātiem, ir 700 – 800 miljoni m<sup>3</sup> [3], bet sapropēja krājumi purvos sasniedz 1,5 miljardus m<sup>3</sup> [4]. Kopējie sapropēja resursi Latvijā sastāda aptuveni 2 miljardus m<sup>3</sup>.

Sapropēja resursu daudzums un tā plašās izmantošanas iespējas padara to par valsts mēroga stratēģisku dabas resursu; tā pārstrādes produktus var eksportēt visā pasaulē. Lauksaimniecībā, dārkopībā un mežsaimniecībā to izmanto augsnes mēslošanai un augsnes uzlabošanai, lopkopībā tas kalpo kā piedeva dzīvnieku barībai, tas ir arī piemērots izejmateriāls ķīmijas un celtniecības industrijai, arī kā ārstniecisks līdzeklis medicīnā – ārstnieciskās dūņas, izejviela koagulantu ražošanai.

Latvijā sapropelis līdz šim tika izmantots galvenokārt lauku mēslošanā. Sapropēja pētniecības un izmantošanas krīze Latvijā sākās 1993. gadā. Tā ieguve nelielos daudzumos notika tikai Spīgu purvā, kur AS „Dobeļe” izmantoja sapropeli lopbarības, kompleksā mēslojuma, komposta un līmvielu ražošanai [3]. Sapropēja rūpnieciska ieguve un izpēte atsākās tikai 2008. gadā, tomēr tās apjomi vēl joprojām ir niecīgi. Galvenokārt tas ir saistīts ar nepietiekamu sapropēja pieprasījumu pasaules un Latvijas tirgū, cilvēku vājo

informētību par sapropēja izmantošanas iespējām un nepietiekamo izpētes līmeni.

Ezeri ir nozīmīgs saldūdens resurss, tie ir vērtīgi dabas elementi un savā ziņā ir svarīgi arī kā valsts ekonomikas sastāvdaļa. Tos izmanto modernajā zivjkopībā, medību saimniecībās, hidroenerģētikā, kā dažādu ūdens sporta veidu praktizēšanas vietas, izklaides un kultūras nolūkos. Tāpēc aizaugušo ezeru atvēršana ir svarīgs priekšnosacījums ilgtspējīgas dabas resursu apsaimniekošanas politikas realizēšanai [5].

Dabas resursu izmantošanai ir jābūt videi nekaitīgai un efektīvai. Radot inovatīvus produktus ar augstu pievienoto vērtību – videi draudzīgu, netoksisku, ar spēju saistīt smagos metālus – ir iespējams ievērojami samazināt izdevumus saldūdens attīrīšanas un saglabāšanas pasākumiem ar augstu potenciālu ilgtspējīgai turpmākai ezeru izmantošanai tautsaimniecībā.

## II. SAPROPEĻA VEIDI UN KLASIFIKĀCIJA

Sapropelis ir sīkgraudainas un irdenas nogulsnes, kas ir bagātas ar organiskajām vielām un kas nogulsņējas ūdenstilpēs. Petroloģijā par sapropēja ogleņiem apzīmē nogulumus, kas veidojas ūdens vidē no makrofītu atliekām. Termins sapropelis bieži tiek izmantots, apzīmējot ar organisko oglekli bagātus, tumšas krāsas sedimentus [6].

Šaurākā nozīmē sapropelis (grieķu val. „sapros” sapuvis + „pelos” dubļi) ir mūsdienu vai subfosīlie, koloidālie kontinentālo ūdenstilpju nogulumi ar smalku struktūru, kas satur nozīmīgu organisko vielu daudzumu un mikroskopisko ūdens organismu atliekas ar nelielu neorganisko biogēnas izcelsmes komponentu saturu un minerālo ingredientu piejaukumu [7], kas var būt – smilts, māls, kalcija karbonāts un citi ieži [8].

### 1. TABULA

GALVENĀS ATŠKIRĪBAS STARP KŪDRAS UN SAPROPEĻA ĪPAŠĪBĀM

Rādītāji	Sapropelis	Kūdra
Veidošanas vide	nosacīti bezskābekļa	bezskābekļa
Vides reakcija, pH	neitrāla	skāba
Organiskās vielas, %	15 – 85	> 50
Organisko vielu veidotāji	ūdens organismi: fitoplanktons, zooplanktons, augstākie ūdens un piekrastes augi	purvu augi: lapu un skuju koki, krūmāji, zālaugi, sūnas

Sapropelis veidojas nosacītā bezskābekļa vidē, fizikālķīmisko un biokīmisko ezera hidrobiontu pārvērtību rezultātā ar dažādu minerālo un organisko vielu līdzdalību terīgēnā (latīņu val. *terrigenus* – zemes radīts) notecē. Dažādu atradņu sapropēja sastāvs un īpašības ir ļoti atšķirīgas; ko nosaka konkrētās ūdenstilpes produktivitāte, virszemes

noteces īpatnības un klimatiskie apstākļi. Par sapropeli pieņemts uzskatīt saldūdens nogulumus ar organisko vielu sastāvu lielāku par 15%, pretējā gadījumā šie nogulumi tiek uzskatīti par augsti pelnainiem ezera nogulumiem [7].

No kūdras sapropelis atšķiras (sk. 1.tabulu) ar smalku struktūru, vides reakciju, organisko vielu daudzumu un tā veidotājorganismiem un humusvielu daudzumu [7], [9].

Vienotu terminu un klasifikācijas izveidošana ezeru nogulumiem ir apgrūtināta, jo katra zinātne ir izveidojusi savu terminoloģiju un klasifikāciju, kas atbilst tās pētījumu virzienam un mērķiem [10] - [12]. Tā E. Tomins un A. Fomins 1964. gadā izstrādāja sapropēja klasifikāciju [13], kas ir

balstīta uz sapropēja bioloģisko komponentu sastāvu. Šo klasifikāciju, pārveidojot Latvijas ezeru organisko nogulumu īpašību izvērtēšanas kritērijus (sk. 2.tabula), izmantoja R. Alksnīša vadībā veiktajos sapropēja atradņu meklēšanas darbos, kas ilga no 1990. gada līdz 2000. gadam [14].

Zinātniskā interese par ezeru organiskajiem nogulumiem radās vairāk nekā pirms 100 gadiem. 1862. gadā ezera nogulumus pēc to izcelsmes 2 lielās grupās iedalīja G. Postons: „gyttja” – autohtonie nogulumi un „dy” – alohtonie nogulumi. Vēlāk vācu zinātnieks R. Lauterborns paplašināja

2. TABULA  
SAPROPEĻA KLASIFIKĀCIJA [14]

Tips	Klase	Veids	Veida diagnostikas pazīmes			Izmantošana		
			Pelnainība %	Oksīdi sausnē, %				
				Ca	Fe			
Biogēnais	Organogēnais	Zaļāļģu	<30	<8	<5	zaļāļģes >35	Mēslojums, barības piedevas (izņemot kūdraino), ārstn.dūņas, celt.materiālu raž., līmvielas piedevas, ķīmiskā pārstrāde	
		Zilaļģu				zilaļģes >35		
		Dažādaļģu				aļģu summa >45		
		Kūdrainais				augstākie augi >35		
		Zoogēnais-aļģu				dzīvnieki >15		
	Kramainais	Kramaļģu	<65	<8	<5	kramaļģes >35	Mēslojums, ķīmiskā pārstrāde	
Klastiskais	Organogēnais-silikātu	Organogēni-smilšainais (aleirītisks, mālainis)	30-65	<8	<5	organiskās atliekas 40 smilts >30 aleirīts >30 māls >30	Mēslojums, ķīmiskā pārstrāde	
		Diatomeju-smilšainais (aleirītisks, mālainis)				kramaļģes <20 smilts >30 aleirīts >30 māls >30	Ārstnieciskās dūņas, ķīmiskā pārstrāde	
	Silikātu	Smilšains (aleirītisks, mālainis)	65-85	<8	<10	smilts 30-50 aleirīts 30-50 māls 30-50	Piedeva augšņu uzlabošanai	
	Jauktais	Karbonātu	Organogēni-kaļķainais	<30	6-20	<5	organiskas atliekas 40 kalcīts <20	Mēslojums, barības piedeva, ķīmiskā pārstrāde
			Smilšaini (aleirītiski, mālaini) kaļķainais	30-65	8-20	<5	smilts 30-50 aleirīts 30-50 māls 30-50 kalcīts <20	Mēslojums
			Kaļķaini smilšainais (aleirītisks, mālainis)	65-85	8-20	<5	smilts >50 aleirīts >50 māls >50 kalcīts <20	Piedeva augšņu uzlabošanai
Kaļķains			<85	>20	<5	kalcīts >20	Augšņu kaļķošana	
Dzelzi saturošais		Organogēni limonītisks	<65	<8	5-10	limonīts 5-10	Mēslojums	
		Kaļķaini limonītisks	<65	8-20	5-10	limonīts 5-10	Augšņu kaļķošana	
	Limonītiski kaļķains	<85	>20	5-10	limonīts 5-10	Augšņu kaļķošana		
	Limonītu	<85	-	>10	limonīts >10	Neizmanto		
	Sulfīdu	<85			sulfīdi >10			

šo klasifikāciju ar vēl vienu grupu „sapropelis” – nogulumi ar sērūdeņraža smaržu [15].

Atkārtoti, ar mūsdienu izpratni, terminu „sapropelis” ieviesa G. Potenje. Klasificējot ezeru nogulumus, G. Potenje izdalīja divas grupas: „sapropelis” – viskozas, smalkdispersas, 25 – 90% organisko vielu saturošas nogulsnes, un ļoti mineralizētas nogulsnes – „sapropelīti”, kurus viņš iedalīja sīkāk pēc to minerālajiem komponentiem: diatomīta, kaļķa, dzelzs un smilts [16].

N. Korde 1960. gadā sapropeli iedalīja divās grupās, vadoties no organisko vielu satura: „sapropelis” satur vairāk nekā 50% organisko vielu un „ar organiskām vielām nabadzīgs sapropelis”, kas satur 15 – 50% organisko vielu. Šīs grupas, izmantojot hidrobiontu atlieku bioloģisko analīzi, viņa klasificēja sīkāk: kramaļģu (*Diatoma*), zaļāļģu (*Chrysophyceae*), zilaļģu (*Cyanophyceae*) un zoogēnais sapropelis [7].

A. Pidopličko un R. Grišuka sapropēja klasifikācija ir detalizētāka un tiek izmantota visbiežāk. Ezera nogulumi tajā tiek iedalīti 7 tipos [17]:

- **mālainais sapropelis** ir ar augstu pelnainību, parasti ezeros tas nogulsņējas dabiskā veidā. Tas ir plastisks, smags, pelēkā vai pelēkzilā krāsā;
- **kaļķainais sapropelis**. Tā pelnainība ir lielāka par 35% (tajā skaitā 50 – 65% CaO), iegulas veidojas ar augstu kalcija saturu gruntsūdeņu izteku vietās. Tas ir pelēkzaļā krāsā, bet izžūstot veido nesaistītu bālgani pelēku masu;
- **silikātu sapropelis** ir nogulumi ar augstu pelnainību – pelnu saturs tajos ir lielāks par 30% (tai skaitā > 30% SiO<sub>2</sub> un < 10% CaO). Tas veidojas gala morēnu ainavās, noslēgtās ezerdobēs kā piedibena nogulumi, vai arī iegul virs mālaina sapropēja slāņa, virs kura parasti atrodas organiskā sapropēja slānis. Silikātu sapropelis ir pelēkzaļš vai zaļš ar smilšu graudiņiem un tumši krāsotām, blīvām dzīslām;
- **jaukta tipa sapropelī** ir ļoti augsta pelnainība (ap 70 – 80%), tas var saturēt lielu kalcija un silikātu daudzumu, silikātu un māla vai mālainās daļiņas un kalciju, kā arī visus trīs komponentus ar organiskiem ieslēgumiem. Šie jauktie ezera nogulumi ir veidojušies no planktona organismiem. Minerālu pieplūdes avots šim sapropēja tipam var būt grunts un diluviālie jeb nogāžu ūdeņi. Tas var būt pelēcīgā, tumši zaļā, zilganzaļā vai pelēcīgi brūnā krāsā;
- **organiskais (smalka detrita) sapropelis** ir sapropelis ar zemu pelnainību, kas nepārsniedz 30%. Tam ir zaļa krāsa, ar humusvielu piejaukumu – zaļi brūna. Organiskais sapropelis rodas ūdenstilpēs, kurās nav lieli minerālo vielu pieplūdes avoti;
- **rupja detrita sapropelis** ir ar zemu pelnainību. Tas uzkrājas ezeros, kur bez planktona organismiem aug daudz augstāko ūdensaugu, kuru atliekas lielos daudzumos saglabājas sapropelī. Šāds sapropelis parasti ir tumši zaļā krāsā un tajā var saskatīt augstāko ūdensaugu palieku ieslēgumus, tas parasti nogulsņējas uz citu tipu sapropēja slāņiem un neveido biezus slāņus;

- **kūdrains sapropelis** rodas, saskaroties kūdras iegulai ar ezeru vai aizaugot seklūdens zonai eirofās ūdenstilpēs. Tas ir sapropēja un kūdras starpveidojums ar brūnu krāsu un dažādu augstāko augu paliekām – niedres, grīšļi, kosas u.c. Sākoties kūdras, sapropelis nesmērējas, tam ir raksturīga ļoti zema pelnainība (8 – 10%) un sadalīšanās pakāpe (ap 25 – 30%). Šis sapropēja tips nogulsņējas nelielos slāņos starp kūdras un sapropēja iegulām.

Baltkrievu zinātnieki A. Pidopličko [18] un M. Lopotko [19], pētot sapropeli Baltkrievijas teritorijā, kā arī M. Štangebergs [7], pētot ezeru nogulumus Suvaļskas novadā, iedalīja sapropeli 4 grupās:

- **silīcija dioksīdu saturošais sapropelis** (pelnainība > 30%, SiO<sub>2</sub> saturs pelnos > 50%);
- **karbonātu sapropelis** (pelnainība > 30%, CaO saturs pelnos > 30%);
- **jauktais sapropelis** (pelnainība > 30%, SiO<sub>2</sub> un CaO saturs pelnos ir aptuveni vienāds);
- **organiskais sapropelis** (pelnainība < 30%).

Arī L. Kirejčeva, pētot Krievijā sastopamo sapropeli, klasificēja to 4 grupās: organiskais, jauktais, karbonātu un alumosilikātu [12].

Organiskais sapropelis ir bagāts ar organiskām vielām (70–93%), tam var būt paaugstināts skābums (pH 3.5–6) un zems pelnu saturs.

Jauktajā sapropelī organisko vielu saturs ir 50–68%, vides reakcija pH 6, tas ir bagāts ar kalciju, fosforu, slāpekli un mikroelementiem.

Karbonāta un alumosilikāta sapropelis ir mazāk bagāts ar organiskām vielām (25–60%), bet tam ir liels kopējais mikroelementu saturs.

Pēc saguluma īpatnībām sapropēja iegulas iedala atklātās un apbēruma. Atklātie nogulumi nogulsņējas mūsdienu ūdenstilpēs un to uzkrāšanās turpinās arī mūsdienās. Apbēruma sapropelis nogulsņējas parasti zem kūdras slāņa, reti zem minerālajiem sanešiem, tādējādi tā sedimentogēneses stadija ir beigusies [19].

20. gs. 70 gados baltkrievu zinātnieki M. Zolopotko un G. Jevdokimova izstrādāja sapropēja klasifikāciju (sk. 3. tabulu), izvērtējot rūpniecības prasības un sapropēja ģenēzes principus [20]. Šī klasifikācija ir balstīta uz nogulumu ķīmiskās struktūras septiņu rādītāju kvantitatīvo analīzi - katrs izdalītais sapropēja tips tiek noteikts pēc izmantošanas principa. Šī ir vissarežģītākā sapropēja klasifikācija.

Pēc organiskās un minerālās daļas attiecības autori iedala sapropeli mazpelnainā (pelnainība mazāka par 30%) un augsti pelnainā (pelnainība no 31–85%) sapropelī. Mazpelnainais sapropelis tiek iedalīts 4 veidos pēc humusvielu un viegli hidrolizējamo vielu proporcijas – princips sasaistāms ar olbaltumvielu ģenēzi. Opr<sub>1</sub> veida nogulumi (skat. 3. tabulu) satur lielu daudzumu alohtonā (svešas izcelsmes) humusvielu materiāla. Pie pārējiem trim organiskā sapropēja veidiem pieskaita sapropeli, kura humusvielas veidojas no autohtona (vietējās izcelsmes) materiāla.

Humusa materiāla pārnese no ūdenstilpes nodrošina lielāku humusvielu daudzumu, kuras satur mazāk ūdeņraža un slāpekļa (Opr<sub>4</sub> veids). Caurteces ezeros intensīvas oksidācijas

un sadalīšanās procesu rezultātā nestabili savienojumi uzkrājas stabilāku humīnskābju veidā ar aromātisku struktūru fragmentiem (Opr<sub>2</sub> veids). Vidējais humusvielu daudzums ir raksturīgs sapropelī, kas veidojas pie augstas produktivitātes organisko vielu klātbūtnē (Opr<sub>3</sub> veids). Intensīvas nogulu uzkrāšanās gadījumā notiek ātra aerobo apstākļu nomaina uz

anaerobiem, kas sekmē intensīvu humīnskābju veidošanos (Opr<sub>1</sub> veids). Augsti pelnainā sapropeļa grupa, balstoties uz minerālās daļas ķīmisko analīzi, iedalās 3 veidos: silīcija dioksīdu saturošais, karbonātu un jauktais sapropelis. Ņemot vērā sapropeļa sastāvu un īpašības, šī klasifikācija atbilst racionālākajam sapropeļa izmantošanas principam.

3. TABULA  
SAPROPEĻA RŪPNIECISKI ĢENĒTISKĀ KLASIFIKĀCIJA [20]

Tips	Veids	Apzīm.	Veida diagnostikas pazīmes		Izmantošana	Diagnostikas rādītāji
			A <sub>c</sub> , %	Bioloģiskais sastāvs un A <sub>c</sub> oksīdi, %		
Organiskais	Kūdrainais	Opr <sub>1</sub>	<30	kūdras veidotājaugi >70	Augšanas stimulatori, HV preparāti, mēslojums, celtniecības materiālu ražošana	A <sub>c</sub> (pelnainība)
	Organisks ar augstu HV saturu	Opr <sub>2</sub>	<30	kūdras veidotājaugi un ūdensaugi 50-70	Ārstnieciskās dūņas, bioloģiski aktīvas vielas, mēslojums	
	Organisks ar vidēju HV saturu	Opr <sub>3</sub>	<30	kramaļģes un zilaļģes -	Pildvielas, urbšanas šķīdumu, ārstnieciskās dūņas, mēslojums	
	Organisks ar zemu HV saturu	Opr <sub>4</sub>	<30	zaļaļģes -	Saistviela, urbšanas šķīdumi, ārstnieciskās dūņas, mēslojums	
Silīcija dioksīdu saturošs	Silikāta ar zemu pelnu saturu	Kp <sub>1</sub>	30-50	diatomejas >90 SiO <sub>2</sub> /CaO >2 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <10	Mēslojums, urbšanas šķīdumi, celtniecības materiālu ražošana, ārstnieciskās dūņas	A <sub>c</sub> SiO <sub>2</sub> /CaO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Silikāta ar augstu pelnu saturu	Kp <sub>2</sub>	50-85	diatomejas >90 SiO <sub>2</sub> /CaO >10 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <10	Augšņu kolmatācija, tamponāžas šķīdumi, mēslojums	
	Autogēni silikātu	Kp <sub>3</sub>	30-50	diatomejas >90 SiO <sub>2</sub> /CaO >2 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <10	Augšanas stimulatori, ārstnieciskās dūņas	
	Silikātu dzelzs	Kp <sub>4</sub>	>30	diatomejas >90 SiO <sub>2</sub> /CaO >2 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >10	Ārstnieciskās dūņas	
Karbonātu	Karbonātu	Kapb <sub>1</sub>	>30	SiO <sub>2</sub> /CaO <0,4 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <5	Ar minerāliem un vitamīniem bagātas dzīvnieku barības piedevas, ārstnieciskās dūņas, augsnes kaļķošana	A <sub>c</sub> SiO <sub>2</sub> /CaO Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> Minerālvielas = = A <sub>c</sub> +CO <sub>2</sub>
	Karbonātu dzelzs	Kapb <sub>2</sub>	>30	SiO <sub>2</sub> /CaO 0,4-0,7 Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >5	Augšņu kaļķošana, tamponāžas šķīdumi, ārstnieciskās dūņas	
Jauktais	Jauktais organiski silikāta karbonātu	CM <sub>1</sub>	>30	SiO <sub>2</sub> /CaO 0,7-2,0 SiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >4 CaO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >3 SO <sub>3</sub> >10	Mēslojums, celtniecības materiālu ražošana, ārstnieciskās dūņas	A <sub>c</sub> SiO <sub>2</sub> /CaO SiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> CaO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> SO <sub>3</sub>
	Jauktais silikātu karbonātu, dzelzs	CM <sub>2</sub>	>30	SiO <sub>2</sub> /CaO 0,7-2,0 SiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,0-4,0 CaO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,4-3,0 SO <sub>3</sub> <10	Urbšanas šķīdumi, celtniecības materiālu ražošana, ārstnieciskās dūņas	
	Jauktais organiski silikātu, dzelzs	CM <sub>3</sub>	>30	SiO <sub>2</sub> /CaO 0,7-2,0 SiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <1 CaO/Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> <0,4 SO <sub>3</sub> <10	Ārstnieciskās dūņas	
	Jauktais organiski karbonātu, sulfātu	CM <sub>4</sub>	>30	SiO <sub>2</sub> /CaO 0,7-2,0 SiO <sub>2</sub> /Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> >1 SO <sub>3</sub> >10	Ārstnieciskās dūņas	

Latvijā ievērojamākie sapropeļa pētījumi saistās ar N. Brakšu, kas par svarīgāko ķīmiski tehnoloģisko sapropeļa nogulumu īpašību uzskatīja pelnainību – sapropeļa mineralizācijas pakāpi (sausās masas pelnainība  $A_c$ , %), kas nosaka iespēju nogulumus praktiskai izmantošanai. Viņš iedalīja sapropeļi 3 grupās pēc organiskās un minerālās daļas attiecības: mazpelaini ( $A_c$  līdz 30 – 35%), vidēji pelaini ( $A_c$  35 – 50%) un nogulumi ar augstu mineralizācijas pakāpi ( $A_c$  vairāk par 50%) [4].

Sapropeļa ķīmisko īpašību un termiskās pārstrādes iespējas izvērtēšanai N. Brakšs izmantoja koksēšanas analīzi, nosakot darvas un koksas procentuālo daudzumu, attiecinot to pret sapropeļa organisko masu, sasaistot šīs īpašības ar sapropeļa mineralizācijas pakāpes grupām.

### III. SAPROPEĻA VEIDOŠANĀS

Daudzi krievu zinātnieki uzskata, ka sapropelis ir savdabīgs ģeoloģisks veidojums, kas rodas ūdenstilpes pamatnē visā tās pastāvēšanas laikā [15], [19], [21]. M. Leinerte uzskata, ka sapropeļa veidošanās ir ļoti atkarīga no sapropeļa iegulas – ezera – tipa, kas nosaka tā rašanos un attīstību, un apgalvo, ka sapropeļa nogulumu veidošanās var norisināties tikai vienu un enerģijas pastiprinātās uzkrāšanās zonās, šī parādība plaši novērojama eitrofajos ezeros [1].

Mūsdienu sapropeļa atradnes – purvi un ezeri – ledāja nogulumu rajonos varēja rasties tikai pēc ledāja atkāpšanās. Baltijas valstīs tas notika pirms 12 – 15 tūkstošiem gadu [22]. Kopš izcelšanās līdz mūsdienām ezeri nepārtraukti mainās un attīstās, tas lielā mērā ir atkarīgs no klimatiskajiem apstākļiem. Masveida sapropeļa veidošanās notika holocēnā (10 000 g.p.m.ē. – mūsdienas), tā senāko nogulumu vecums ir 11 – 12 tūkstoši gadu, un, tas ir ne tikai vērtīgs dabas resurss, kuru var izmantot daudzās tautsaimniecības jomās, bet arī uzskatāms materiāls pagātnes klimata izmaiņu pētīšanai [22] - [25].

Ja klimata izmaiņas ietekmē galvenokārt ezera ūdens līmeni – sausajos periodos ūdens līmenis krītas, bet mitrajos – paaugstinās, tad nepārtraukta nogulumu uzkrāšanās ezerdobē ir nozīmīgākais faktors ezera attīstības gaitā. F. Forels [26] iedalīja ezerus vecuma periodos pēc to ezerdobes attīstības pakāpes: jaunība, briedums, vecums, vecuma panīkums un atmīšana. Katram vecumam atbilst noteikts ezera tips, bet galu galā jebkurš ezers eitroficējoties kļūst distrofs, un, aizaugot vai pāraugot atmīšanas periodā, pārtop par purvu, tāpēc Latvijā 2/3 no sapropeļa krājumiem atrodas tagadējos purvos zem kūdras slāņa.

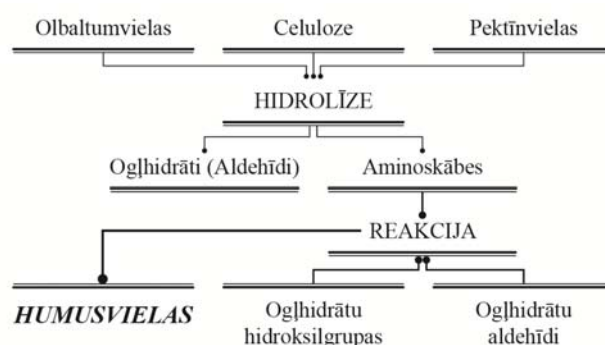
Pašlaik vidējais nogulumu uzkrāšanas slānis gadā svārstās no 0,1 mm mazos, beznoteces ezeros līdz 4,3 mm lielos, caurteces ezeros, daudzgadējais vidējais rādītājs: nelielos ezeros bez noteces ir 1,05 mm, nelielos ezeros ar caurteci – 3,56 mm un lielos ezeros ar labu caurteci – 6,64 mm [27].

Sapropelī var būt gan autohtona izcelsme, ja tā uzkrāšanās notiek ezera biomasas uzkrāšanās rezultātā, gan alohtona izcelsme, gadījumos, kad nogulumos uzkrājas liels humusvielu daudzums, kas nonāk ezerā no apkārtējām teritorijām un purviem [28] - [30]. Par vērtīgāku tiek uzskatīts autohtonas izcelsmes sapropelis ar augstāku organisko vielu saturu, jo sākotnējā biomasas un tās bioķīmiskā sadalīšanās, kā

arī pārvēršanās sapropeļa organiskajās vielās ūdenstilpes apstākļos neveicina policiklisko aromātisko ogļūdeņražu, piemēram, benzopirēna veidošanos, kas ir raksturīgs augsnes, kūdras un sevišķi ogļu humusvielām [31].

Šodien pastāv vairāki viedokļi par sapropeļa veidošanos. G. Potenje izvirzīja teoriju, ka sapropeļa veidošanās ir mehāniska planktona sadalīšanās atlieku – vasku un tauku – uzkrāšanās ūdens baseinos [32], ignorējot ogļūdeņražu, augstāko augu olbaltumvielu un jaunu savienojumu sintēzes lomu [31], [33].

E. Kazakovs vēlāk kritizēja G. Potenje teoriju apgalvojot, ka jāņem vērā arī citi sapropeļa veidotāji – augstākie ūdensaugi, floras un faunas bentiskās formas – to sadalīšanās un sintētiskie procesi, piemēram, humusvielu tipa savienojumu rašanās no ogļhidrātu un olbaltumvielu skaldproduktiem (sk. 1.attēls).



1. att. Sapropeļa organisko vielu iedalījuma shēma [34].

Vairāki zinātnieki uzskata, ka sapropelis veidojas vienkāršiem augiem un dzīvniekiem lielos daudzumos ātri savairojoties un uzkrājoties ezeros. Atmirstot tie nogulsņējas nogulšņu veidā ezera dibenā. Piemēram, vasarā ūdenstilpēs attīstās dažādas fitoplanktona sugas, zilaļģes, zaļaļģes, kramaļģes u.c., bet atmirstot šo organismu atliekas, kas bagātas ar taukiem, olbaltumvielām, fosforu, kāliju, kalciju un celulozi, kļūst par sapropeļa komponentiem. Humusvielas, kalcija un dzelzs sāļi ūdenī paātrina koagulācijas un nogulsņēšanās procesus [30], [35], [36].

Sapropeļa pamatsastāvu veido trīs komponenti: alohtonas izcelsmes minerālvielas, biogēnas izcelsmes neorganiskie komponenti, ezerā un tā apkārtnē mītošo augu un dzīvnieku atliekas – organiskās vielas.

Ezera hidroloģiskais režīms, noteces baseina īpašības un lielums ir nozīmīgi faktori ezera nogulumu veidošanā. Alohtonais minerālais materiāls nonāk ezerā no sateces baseina teritorijas un ezerā ietekošām upēm. Lielā koncentrācijā tas ir sastopams upju deltās un ezeros vērsto stāvu nogāžu tuvumā [37], [38]. Parasti augsta minerālvielu koncentrācija ir novērojama ezera sākumstadijas attīstībā, bet ezeram aizaugot un kļūstot seklākam, krastiem lēzenākiem, šo vielu ienese samazinās. Ezerā no apkārtējām teritorijām ietekošie ūdeņi var saturēt daudz minerālo vielu, tādā veidā stipri ietekmējot ezera nogulumu, kas nogulsņējas ezera stāvošo ūdeņu daļā, minerālo sastāvu. Jo mazāks ir ezers, jo vairāk to ietekmē pietekas ūdeņi un minerālo daļiņu ienese no krastiem. Sateces baseina lielums un tā virsmas erozija nosaka virsējās noteces duļķainumu.

Karbonāti, kuriem ir autohtona izcelsme [30], veidojas bikarbonātu ( $\text{HCO}^{-3}$ ) pārsātinātos ūdeņos. Zooplanktona, fitoplanktona un bentosa intensīvas attīstības laikā ūdenī rodas  $\text{CO}_2^{-}$  pārsātinājums, kas ir pamats karbonātu kristālu veidošanai [39], [40].

Sapropeļa organiskās vielas parasti ir autohtonas izcelsmes, tās veido aļģu un zooplanktona atliekas, bet lapas, putekšņi un augu sporas tiek ienestas ūdenstilpē no apkārtējām teritorijām [41].

Sapropeļa sarežģīto ķīmisko struktūru nosaka tā veidotājorganismu bioķīmiskā daudzveidība. Sapropeļveidotāju organismu – hidrobiontu daudzveidība ūdens ekosistēmās pēc nozīmes un veidošanās iedalās 2 lielās grupās: 1) primārie producenti (augi un daļa mikroorganismu) – piedalās jauno organisko vielu veidošanā un kustīgo minerālo vielu akumulācijā; 2) sekundārie producenti (baktērijas, sēnes, dzīvnieki) – veido organiskās vielas no primāro producentu veidotām organiskām vielām vai to sadales produktiem, to biomasa ir 2–3 reizes mazāka nekā primāro producentu organisko vielu biomasa [42].

Sekundārie producenti, kas masveidā attīstās ūdenstilpēs, ir zooplanktons (vēžveidīgie, kukaiņu kāpuri) un bentoss (vēžveidīgie, kukaiņu kāpuri, moluski u.c.) [43]. Dažādos sapropeļa tipos atrastās hiīna un kaļķakmens skeletu paliekas sastāda 1 – 25%. Dzīvnieku atlieku diagnostika nogulumu vertikālajā stratifikācijā ļauj rekonstruēt ģeoloģiski klimatiskos apstākļos sapropeļa nogulumu veidošanās laikā [7], [27].

Zooplanktona un bentosa bioķīmiskie parametri ir nepastāvīgi un lielā mērā atkarīgi no organismu dzīves apstākļiem un fizioloģiskā stāvokļa [44], [45].

Ūdens ekosistēmu primārie producenti, kas veido jaunas organiskās vielas un akumulē mobilas minerālās vielas, ir mikrofiti – mikroskopiski ūdensaugi, planktons un bentoss, un makrofiti – augstākie ziedaugi un mietturaļģes. Saldūdens mikroskopiskās aļģes iedalās četrās galvenajās klasēs: zaļāļģes (Chlorophyta), kramaļģes (Diatoma), dzeltenzaļās aļģes (Xanthophyta) un zilāļģes (Cyanophyceae) [7].

Augstākie ūdens augi arī tiek uzskatīti par nozīmīgiem sapropeļa veidotājiem, tos iedala: sūnaugi, kosas, glīvenes, mazlēpes, graudzāles, grīši u.c. Paaugstināts ezera makrofitu un kūdras veidotājaugu īpatsvars ir raksturīgs distrofo ūdenstilpju un purvu sapropelīm. Šiem nogulumiem arī ir raksturīga augsta putekšņu un sporu koncentrācija (līdz 19%). Augstāko augu atlieku daudzums mainās robežās 1 – 80% no kopējās biomasas.

Daži zinātnieki uzskata, ka svarīgākie ezera sapropeļa veidotāji ir aļģes [20], [35] – tām ir liela nozīme daudzu iežu veidošanā Zemes ģeoloģiskajā vēsturē. Zemākie vienšūņi un koloniālās aļģes veido degslānekļus – kukersits, balhašits, nhangelīts, kurongīts u.c.

Ezera nogulu veidošanā liela nozīme ir autohtonas izcelsmes organiskajām vielām, jo tās ir daudzu barības ķēžu pamats un nosaka ezera produktivitāti – Saules enerģijas summu, ko autotrofie augi un fitoplanktons fotosintēzes procesā pārvērš par organiskajām vielām. Producenti ir vienīgie organisko vielu ražotāji, kas veido barības vielu krājumus pārējiem barības ķēdes pārstāvjiem. Citās barības cikla stadijās, izmantojot skābekli un izkļiedējot enerģiju, notiek šo organisko vielu sadalīšana [46], [47].

Katras barības cikla stadijas beigu posmā rodas ezera nogulumu slāni papildinošs materiāls, taču to ierobežo organisko vielu mineralizācija, kas notiek aerobo mikroorganismu ietekmē. Mijiedarbība starp organisko vielu produkciju un destrukciju ir viens no galvenajiem faktoriem, kas nosaka ezera nogulumu īpašības un veidu [27].

Pie sapropeļa nogulumu veidošanās piedalās trīs ezeru vielu grupas: izšķīdušas organiskās vielas, detrits un mikroorganismi.

Pēc K. Judaja aprēķiniem augu kopējā masa ezeros ir 6 – 20 reizes lielāka nekā tajā dzīvojošo dzīvnieku masa. Izšķīdušo organisko vielu daudzums vienmēr ir lielāks nekā kopējais organiskā materiāla – dzīvo dzīvnieku, augu un detrita svars, jo visi dzīvie organismi izdala un izvada izdalījumus un ekskrementus, tie visi iet bojā, to atliekas sadalās, tādā veidā papildinot ūdenī izšķīdušās organiskās vielas [48]. Šo vielu sastāvā ietilpst slāpekli saturošie savienojumi (olbaltumvielas, peptīdi, aminoskābes), ogļūdeņraži, lipīdi, organiskās skābes, vitamīni, hormoni – vielas, kuras asimilē heterotrofi hidrobionti (dzīvie organismi, kuri sev nepieciešamo organisko savienojumu sintēzei kā oglekļa avotu izmanto citu organismu sintezētas, reducētas oglekļa atomus saturošas organiskas vielas). Eitrofos ezeros izšķīdušo organisko vielu 77 – 83% masas veido humusvielas, kas sastāv no grūti sadalāmiem komponentiem – humīna, humīnskābēm un fulvoskābēm [30], [49].

Detrits ir suspendētas, lēni grimstošas, bagātas ar tauku, olbaltumvielu un vasku daļiņas, kuru sastāvā ietilpst organiskas (organismu sabrukšanas produkti un sorbētu organisko vielu produkti), minerālās vielas (sanesu un krastu izskalošanas komponenti), ūdenī brīvi peldošas baktērijas, sēnes un vīrusi [37]. Detrits satur gan organiskas, gan arī neorganiskas daļiņas, tajā norisinās koloīdu sorbcija un koagulācija. Detrita organiskā daļa ir sorbētas organiskās vielas un dzīvās baktērijas [50]. Tās avots ir fitoplanktons, kurš sastāv no 55 – 61% olbaltumvielām un 1,2 – 4,0% taukiem. Zooplanktons un bentoss sastāv no 56 – 61% olbaltumvielām un līdz 26% ūdenī šķīstošām vielām. Tauku, vasku un sveķu saturs planktonā un bentosā ir samērā neliels [51].

Mazās ūdenstilpēs organiskās vielas pēc to sadalīšanās nogrimst ezera dibenā un tiek intensīvi mikrobioloģiski pārstrādātas. Ezera attīstības beigu stadijā, tam aizaugot, par organisko vielu avotu detritam kļūst augi – makrofiti, kas veido rupju detritu un piešķir sapropelīm tumšu krāsu. Detrits, kas veidojās no zemāko augu un dzīvnieku atliekām un to ekskrementiem, veido koloidālu, mīkstu, taukainu masu, kas var būt dažādās krāsās [19]. Nogulumu augšējos slāņos, palielinoties sapropeļa transformācijas pakāpei, uzkrājas humusvielas, kas ir tumši brūnā vai melnā krāsā, tās nosaka nogulumu krāsu no tumši olīvzaļās līdz tumši brūnai [45].

Detritā ietilpstošās minerālvielas pēc izcelsmes var būt autohtonas – silīcija un kaļķa nogulumi, kas ir veidojušies ezeros ķīmisko procesu rezultātā, tās var arī būt alohtonas – ienestas no apkārtējās teritorijas.

Mikroorganismiem sapropeļa veidošanās gaitā arī ir nozīmīga loma. Tie ir universāli reducenti, kuri savu dzīvības procesu uzturēšanai parasti izmanto organiskās vielas. To vidū ir arī baktērijas, kuras kā enerģijas avotu izmanto arī

neorganiskas vielas: sērūdeņradi, amonjaka savienojumus, fosforu un kāliju [31].

Mikroorganismi paātrina vai palēnina metaboliskos procesus - tiem ir svarīga loma ezera nogulumu veidošanā. Mikroorganismu darbību ietekmē skābeklis. Ezera nogulumos norisinās bioloģisku un ķīmisku fizikālu procesu kopums, kurā savā starpā mijiedarbojas oksidētāji un reducētāji, tas savukārt rada piemērotu vidi citu mikroorganismu pastāvēšanai [18], [52].

Pēc skābekļa daudzuma ezerā tas var tikt iedalīts trīs zonās – krasta, dziļūdens un bezskābekļa (anoksiskā zona). Mikroorganismiem iedarbojoties uz ezera dūņām, tajās izbeidzas nogulumu daļiņu mehāniska kustība un tās pāriet miera stāvoklī. Krasta zona ir bagātāka ar skābekli, ko rada fitoplanktons un ūdens virsmas spēja saistīt skābekli no gaisa. Sadalīšanās procesi šajā zonā norit intensīvāk. Dziļūdens slāņos skābekļa koncentrācija ir zema, sadalīšanās procesi lēnāki, organiskajām vielām pārklājoties ar jauniem nogulumu slāņiem, izveidojas anaeroba vide un mikroorganismu darbība apstājas [18], [37], [52]. Bezskābekļa zonā aerobo sadalīšanās procesu nomaina anaerobais – oksidēšanās notiek, reducējoties skābekli saturošiem savienojumiem. B. Perfiljevs uzskata, ka sapropeļa veidošanās mehānisms ir balstīts uz divām difūzām ūdens plūsmām nogulumos. Šīs plūsmas veidojas savā starpā saskaroties ūdenim, kas fotosintēzes rezultātā ir piesātināts ar izšķīdušo skābekli, un ūdenim, kas anaerobu procesu rezultātā ir nabadzīgs ar izšķīdušo skābekli. Šo plūsmu difūzija samazinās virsējos slāņos – pelogēnā, parādoties ūdenī mazšķīstošām gāzēm, kuras uzpeldot rada burbulīšus. Skābekļa nokļūšanu sedimentos virzienā no augšas uz leju sekmē tārpas un kūniņu vertikālās ejas. Dziļākos sapropeļa slāņos ir anaeroba vide; sapropelis kļūst par bioloģiski inerti vielu, no bioloģiskas sfēras pāriet ģeoloģiskā, kur zemas temperatūras termolīzē lielākā daļa organisko vielu pakāpeniski kļūst nešķīstošas [52].

Ezera nogulumu veidošanās teorija izskaidro nogulumu pamata slāņa sīkslaņainās struktūras veidošanos un var kalpot par ūdenstilpes un tās apkārtnes vēsturisko hroniku. Šīs teorijas pamatā ir doma, ka nogulumu slāņi ir gada slāņi, pēc kuru daudzuma var spriest par ūdenstilpes dzīves ilgumu [18], [52].

Dziļos oligatrofajos ezeros, kur organisko vielu saturs ir zems, izgulsnējas galvenokārt minerālie nogulumi.

Nedziļās ūdenstilpēs (2 – 20 m dziļas), kurām ir neliela platība un zema caurtece, veidojas labvēlīgi apstākļi organisko vielu nogulsnešanās procesam ezerā. Šo ezeru ūdeņi satur pietiekamu daudzumu barības vielu, kuras, nogulumos noritot ķīmisku un bioķīmisku procesu rezultātā, pārveidojas, izmainot piegrunts ūdens slāņa sastāvu. Nogulumi izdala gāzes: metānu 75 – 95%, ūdeņradi – 5 – 15% un CO<sub>2</sub> līdz 3%, kuru daļa izšķīst ūdenī un nenonāk līdz ūdens virsmai. Šīs gāzes izdala 1 m biezs nogulumu virsējais slānis, turklāt to izdalīšana ir raksturīga sekliem, labi sasildītiem ezeriem – eitrofajiem un distrofajiem – bagātiem ar organisko vielu slāņiem.

Sapropeļa nogulumu uzkrāšanās aizsākas ezera padziļinājumos, ap 1 – 2 mm/gadā. Šos nogulumus sāk aktīvi ietekmēt pelogēna slāņa (nogulumu veidošanas slāņa) organismi, kas dzīvo ezera dibenā un baktērijas, kas dzīvo ezera nogulumu virsējos slāņos. Tie sasmalcina, sablīvē un

daļēji pārveido nogulumus, bet pēc nāves papildina nogulumu sastāvu ar savām atliekām [53]. Intensīvāki bioloģiski procesi notiek 20 – 60 cm biežā nogulumu virsējā slānī, kur baktēriju skaits 1 nogulumu gramā sastāda 8 – 60 miljardus un to summārā masa ir 2 – 8 % no nogulumu organisko vielu masas [31].

Nogulumu biežums, īpašības un sastāvs lielā mērā ir atkarīgs no reģiona ģeogrāfiskiem apstākļiem un cilvēka darbības ietekmes.

#### IV. SAPROPEĻA SASTĀVS

Sapropeli veido trīs galvenās sastāvdaļas jeb komponenti, kas savā starpā mijiedarbojas – organiskā un minerālā daļa un sapropeļa sastāvā ietilpstošie dzīvie organismi.

##### A. Sapropeļa organiskās vielas

Sapropeļa organiskās vielas var tikt definētas dažādi:

- hidrobiontu neizšķīdušās atliekas un koloidālās autohtonās vielas, kas tiek ienestas terīgēnajā notecē. Tā ir bioloģisku un organisku komponentu summa [42], [54];
- mazmolekulāru organisko savienojumu, biopolimēru un adsorbcijas kompleksi ar minerāliem [45].

Sapropeļa organisko vielu definējums ir atkarīgs no pētījumu virziena, piemēram, ķīmiski analizējot sapropeli, vairākums zinātnieku izmanto Lopotko definīciju, neņemot vērā organisko molekulu atbrīvošanos un pāreju uz molekulāro organizācijas līmeni, sadaloties organismiem [55].

N. Kurmuševa [56], klasificējot organisko vielu biolītus – iežus, kas pārsvarā sastāv no izmirušu dzīvnieku, augu un to dzīves produktu paliekām, noteica sapropeli kā humusvielu zemūdens formu, bet citi zinātnieki [57] izšķir augsnes, kūdras un sapropeļa humusvielas, uzskatot tos par dažādas izcelsmes organisko vielu uzkrāšanās formām.

Nikolajeva un Bakšienes definējums [42], [54] nosaka, ka sapropeļa organiskās vielas veido ūdenī dzīvojošie organismi – aļģes, fitoplanktons, zooplanktons, augstākie ūdens dzīvnieki un augi. Šo veidotājorganismu atliekas nosaka sapropeļa īpašības un izmantošanas iespējas. Piemēram, zaļāļģu apvalki sastāv pārsvarā no celulozes [37], kas slikti sadalās laika gaitā, līdz ar to sapropelis, kura organiskās masas īpatsvaru veido zaļāļģes, ir bagāts ar celulozi, bet nabadzīgs ar humusvielām un minerālvielām. Tas nozīmē, ka šādu sapropeli ir racionāli izmantot kā līmvielu dažādu ekoloģisku būvniecības materiālu ražošanā.

Lopotko sapropeļa organisko vielu definējums var tikt pielietots, apskatot sapropeļa ķīmisko sastāvu un īpašības, kas ir sapropeļa organiskās masas elementsastāvs: oglekļa (C), ūdeņraža (H), skābekļa (O), slāpekļa (N) un sēra (S) saturs. Šo elementu vidējais sastāvs sapropeļa organiskajās vielās ir (normalizēts %): C 60,0; H 6,0; N 2,5; O 35,0 [58].

N. Brakša pētījumos elementu saturs (%) dažādu atradņu sapropelī ir mainīgs C = 51 – 59; H = 6,5 – 7,4; C/H attiecība ≈ 7,0 – 8,9 [22].

G. Jevdokimova, pētot sapropeli 130 atradnēs Baltkrievijā, noskaidroja, ka C, H un N svārstības vienā sapropeļa tipā ir atkarīgas no to veidojošiem komponentiem. Paaugstināts C,



bet pazemināts H un N saturs ir raksturīgs nogulumiem, kuri satur 40 – 60% humusvielu un kuri veidojas galvenokārt no kūdras veidojošiem augiem. Sapropelī ar lielāku zoogēno atlieku daudzumu H un N saturs pieaug, bet C – samazinās [20].

Latviešu zinātnieki pierādīja, ka slāpekļa (N) saturam ar sapropļa mineralizācijas pakāpi nav tiešu sakarību, jo sapropelī ar atšķirīgu pelnainību ir aptuveni vienāds slāpekļa daudzums, bet slāpekļa sadalījuma sastāvam nogulumu vertikālos griezumos dažādās atradnēs (arī pelnainībai) ir dažāds raksturs [4], [22].

M. Lopotko uzskata, ka slāpekļa maksimālās koncentrācijas atrodas pelogēnā (7,0 – 7,5% no organiskām vielām) – slānī, kurā aktīvi norit mikrobioloģiski un bioķīmiski procesi, uzkrājas liels daudzums mikroorganismu olbaltumvielu un zilaļģu no gaisa fiksētā slāpekļa [36].

Slāpekļa izmaiņas nogulumu vertikālajos griezumos, tāpat kā citus ķīmiskos rādītājus, var izmantot sapropļa slāņa sadalīšanai atsevišķos stratigrāfiskajos horizontos.

Slāpekļa vidējais saturs Latvijas ezeru sapropļa paraugos mainās no 1,2 – 4,7% [22], arī E. Kazakova saldūdens sapropļa organisko vielu pētījumos tika noteikts slāpekļa saturs līdz 4 – 5% [34].

Dažāda tipa sapropļa nogulumos slāpekļa saturs mainās no 2,7 līdz 6% organiskajās vielās vai 0,5 – 4,0% no sausās masas. Sapropelis ar augstu dzīvnieku atlieku daudzumu satur vairāk slāpekļa (4,4 – 4,8%) nekā aļģu (3,0 – 4,2%) vai kūdras sapropelis (2,6 – 3,5%) [55].

Sēra saturs sapropļa organiskajās vielās mainās no 0,1 līdz 1,8%, nepārsniedzot 3% sausajā masā, taču, rūpnieciski sagatavojot un glabājot sapropeli, sēra savienojumi oksidējas, kas paaugstina tā apmaiņas skābumu [20], [44], [45]. Augstākas sēra koncentrācijas organiskajās vielās ir sastopamas karbonāta sapropelī [12], [59].

Sēra saturs sapropelī variē no 0,3 līdz 6,3%, un tas sapropelī atrodas sulfātu, sulfītu, elementārā un organisko savienojumu formā [22], [34], [45], [58].

Pētot sapropļa nogulumus Baltkrievijas ezeros – Červonojēs, Sudobļēs un Sergejevskojēs – A. Goncovs un V. Loženicina noteica to elementu sastāvu: augstākais C (59,3%) un H (7,4%) saturs novērots kaļķainajā sapropelī, augstākais O (32,0%) saturs – silīcija dioksīdu saturošā, N (4,8%) – organiskajā sapropelī [60].

Pēc elementu sastāva saldūdens sapropelis ir līdzīgs humusvielām. Sāļo ezeru nogulumi satur mazāk organisko vielu (nosacīti pieņemts ≤ 10%); šajās ūdenstilpēs flora un fauna ir nabadzīgāka un mineralizācijas procesi notiek ātrāk [55], [61].

Jāatzīmē, ka dažāda tipa sapropļa kopējais organisko vielu daudzums (%) ir atšķirīgs: organiskajā sapropelī 70 – 93%, silikātu un karbonāta – 15 – 70%, jauktajā – 15 – 70% [12], [18] - [20].

#### *B. Sapropļa sastāvā ietilpstšie savienojumi*

Sapropelis ir degtspējīgs izrakteņš, kas sastāv no dažādiem ķīmisko grupu savienojumiem [58]. Par svarīgāko sapropļa ķīmisko raksturojumu M. Ponomarjova uzskata tā organiskās

masas sastāvu. Šādiem pētījumiem ir ne tikai teorētiskā, bet arī liela praktiska nozīme. Atkarībā no dažādu grupu savienojumu satura sapropļa organiskajā masā tiek izvēlēts maksimāli racionāls virziens tā praktiskai izmantošanai [55].

Apjomīgākie pētījumi šajā jomā bija veikti Baltkrievijas teritorijā [36], Latvijas divu sapropļa atradņu organiskās masas sastāvu izpētīja V. Kalniņa [15].

Dažādu savienojumu grupu izdalīšana no sapropļa organiskās masas ir balstīta uz to frakcionēšanas metodēm, tāpēc atkarībā no šīm metodēm radās vairākas klasifikācijas un atsevišķu komponentu sastāva variācijas.

V. Rakovskis sapropļa organiskās masas sastāvā izdalījis [58]:

- bitumus;
- ūdenī šķīstošas vielas;
- vielas, kas viegli hidrolizējas, tai skaitā humīnskābes un fulvoskābes;
- celulozi;
- atlikumu, kas nehidrolizējas.

V. Bakšejevs iedala sapropļa organiskās vielas: bitumos, ogļūdeņražos, sapropļa skābēs un atlikumā, kas nehidrolizējas [54].

Latviešu zinātnieks N. Brakšs, pētot organisko sapropeli, izdalīja 5 vielu grupas un noteica to organiskās masas svārstības, līdzīgi kā to darīja Baltkrievu zinātnieki [22]:

- A (3,4 – 10,9%) un C (2,1 – 6,6%) bitumi;
- ūdenī šķīstošas vielas (2,4 – 13,5%);
- hemiceluloze (9,8 – 52,5%);
- humīnskābes (11,3 – 37,6%) un fulvoskābes (2,1 – 3,5%);
- atlikums, kas nehidrolizējas (5,1 – 22,6 organisko vielu masa %).

O. Hohlova izdalīja: bitumus un lipīdus (vielu grupu izdala ar nepolāriem šķīdinātājiem – benzols, dietilēteris, u.c.), humusvielas (izdala ar sārmu), vielas, kas viegli hidrolizējas (izdalītas ar 2% HCl hidrolīzi), vielas, kas grūti hidrolizējas (izdalītas ar 80% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> hidrolīzi) un atlikumu, kas nehidrolizējas (paliek pēc secīgas visu frakciju izdalīšanas) [12].

Saldūdens sapropeli pēc komponentu sastāva E. Kazakovs iedalīja [34]:

- nabadzīgs ar lipīdiem (1%) un proteīniem (parasti 4 – 9%, atsevišķos gadījumos 9 – 12%);
- relatīvi nabadzīgs ar bitumiem (C bitumi 1 – 3%, A bitumi 6 – 11% ar vasku pārsvaru).

G. Jevdokimova un M. Lopotka [20], [44], pētot sapropļa bitumus, konstatēja, ka tie ir identiski kūdras bitumiem pēc vairākiem rādītājiem:

- bagāti ar ogļūdeņražiem (25 – 40%) un organiskajām skābēm (līdz 13%);
- ar zemu lignīna saturu (2 – 8%);
- ar nelielu neizšķīdušo organisko vielu atlikumu (2 – 18%).

Tomēr sapropelī atšķirībā no bitumiem, kas izdalīti no kūdras, ir lielāka taukskābju molekulārā masa, un, glabājot sapropeli uz lauka 2 mēnešus, sapropļa bitumu koncentrācija pieaug 1,5 reizes [62].



Salīdzinot sapropeļa ķīmisko savienojumu grupu sastāvu un koksēšanas rezultātus, tika noskaidrots, ka nosacītās vielu grupas (humīnskābes, atlikums, kas nehidrolizējas u.c.), kas tika izdalītas komponentu sastāva analīzes rezultātā no dažādām atradnēm, pēc savas ķīmiskās dabas nav identiskas un ir atkarīgas no sapropeļa veidotājorganismu īpašībām (planktons, augstākie augi, ārpus ūdenstilpes atnestās humusvielas) un to pārvērtību nosacījumiem [22].

Bitumi (lipīdi) ir organiskās vielas, kuras no sapropeļa ekstrahē ar dažādiem organiskajiem šķīdinātājiem. Bitumu sastāvu raksturo taukskābju, steroīdu, karotinoīdu, parafīnu, vasku un glicerīnu saturs [59].

Sapropeļa bitumu komponentēm tiek veltīta īpaša uzmanība, jo tām piemīt augsta baktericīda, bakteriostatiska un antioksidanta aktivitāte. Daudzi pētījumi ir vērsti uz vieglām un efektīvām metodēm šo vielu iegūšanai no sapropeļa [63], [64]. Mazpārveidoto organisko vielu sastāvā ir peloiīdu (ārstniecisko dubļu) bitumi, kuru sastāvā ir liels divkārtšo saišu un funkcionālo grupu skaits – karotīni, fosfolipīdi, nepiesātinātās taukskābes un spirti.

M. Lopotko pētījumos sapropelī tika noteikts zems bitumenu saturs 2 – 7% no organiskās masas [65], bet V. Pozdnjaks, izdalot bitumus ar benzīnu un spirta-benzola maisījumu, ieguva 4,3 – 9,9% [58]. Mazpelainos un vidēji pelainos nogulumos bitumu daudzums nepārsniedz 5%, retos gadījumos 6,0 – 8,1% no organiskās masas [55].

Bitumu daudzums sapropelī ir zemāks nekā kūdrā [66], sapropeļa bitumi sastāv pārsvarā no piesātinātiem savienojumiem. No kūdras sapropeļa bitumi atšķiras ar zemāku skābuma pakāpi un zemāku pārziepjošanos, tas norāda, ka to sastāvā ir neitrāla rakstura savienojumi – ogļūdeņraži [44].

Pēc N. Kurmiševs datiem [56], glabājot sapropeli uz lauka 2 mēnešus, bitumu daudzums tajos pieaug divas reizes, bet, glabājot sapropeli nostādinātājos 1 gadu to daudzums samazinās 1,5-2 reizes. Taču nostādinātājos glabāta sapropeļa virsēja slāņa paraugos bitumu daudzums pieaug 6,0 – 7,6%, kas ir analogas izmaiņas sapropelī, kas tiek glabāts uz lauka un kur attīstās attiecīga mikroflora. Glabājot sapropeli nostādinātājos 5 gadus, bitumu daudzums pieaug, bet nesasniedz sākotnējos rādītājus. Vairākkārtīga sapropeļa izsaldēšana un atkausēšana uz bitumu frakcijām ietekmi neatstāj [12].

Vairāki zinātnieki [67] – [69] atklāja, ka ezera un purva nogulumi satur karotinoīdus, kuru avots ir bioproducentu atliekas. E. Titovs uzrāda, ka sapropeļa karotinoīdi pārsvarā sastāv no  $\beta$  – karotīna (A provitamīns).  $\beta$  – karotīna daudzums Urālu karbonāta sapropelī sasniedz 30 mg, silikātu sapropelī – ap 20 mg uz 1 kg sausās masas [11]. P. Anderona un B. Vimbas pētījumi uzrādīja, ka dažās Latvijas sapropeļa iegulās karotīna daudzums sasniedza 178 mg/kg sausās masas [70].

E. Lederers no ezera sedimentiem izdalīja karotīnu, 2 ksantofilus un 11 neidentificētus karotinoīdus [71]. Nakuru ezerā organiskos nogulumos, kas atrodas Āfrikā, tika atrasts karotinoīds – rodoviolascins, kas ir purpuru baktēriju pigments [72]. J. Valentains konstatēja  $\alpha$  – un  $\beta$  – karotīnu 11 tūkstošus

gadu vecos ezera nogulumos [73]. D. Fokss atrada  $\alpha$  – un  $\beta$  – karotīnu jūru sedimentos [74]. Kopumā dažādos pētījumos ūdenstilpju nogulumos zinātnieki identificēja ap 20 dažādu karotinoīdu [55], kuri, pēc J. Valentaina domām, ir praktiski identiski gan ezeru, gan jūru nogulumiem [73].

Sapropeļim raksturīgs zems ogļūdeņražu saturs, jo sapropeļa veidošanās laikā aktīvi norisinās ogļūdeņražu sabrukšana līdz ogļskābei gāzei un humifikācija ar humusvielu veidošanos aminoskābju kondensācijas reakcijās. Vidējs hemicelulozes daudzums sapropeļa organiskajās vielās ir 6 – 25%, bet celulozes 1 – 8% [17]. Sapropeļi ir nabadzīgi ar celulozes komponentiem – vidēji 1 – 2%. Sapropeļa ogļūdeņraži sastāv  $\geq 80\%$  no hemicelulozes, tāpēc tos iespējams izmantot lopbarības piedevās un mēslojumā [75].

Sapropeļa humusvielu sastāvs un īpašības nosaka tā svarīgākās īpašības: bioloģisko aktivitāti, bioķīmisko stabilitāti, salipšanas spēju u.c. Atkarībā no satura un specifiskās humusvielu attiecības, augsnes ienestais sapropelis var dažādi ietekmēt bioķīmiskos procesus, augsnes struktūras veidošanos un iegūto lauksaimniecības produktu kvalitāti. Sapropeļa humusvielas no augsnes humusvielām atšķiras ar augstāku ūdeņraža un oglekļa attiecību un piesātināto aromātisko gredzenu trūkumu [59]. Sapropeļa humusvielas ir reducētākas, un tām piemīt lielāka aktivitāte nekā augsnes humusvielām.

Sapropeļa humusvielu sastāvā ietilpst humīnskābes, fulvoskābes un himatomelānskābes.

Humusvielu izdalīšana no sapropeļa minerāliem un organiskiem savienojumiem parasti tiek veikta pēc klasiskās Tjurina shēmas, kuru viņš izmantoja, pētot augšņu ķīmisko sastāvu [59]. Pētāmie paraugi tiek dekalificēti, lai atdalītu karbonātus. Kaut gan šī metode ir vienkārši pielietojama, dabīgo polimēru šķīdināšanā un izgulsnēšanā nav iespējams pilnīgi atdalīt visus mazmolekulāros komponentus – ogļūdeņražus, spirtus, aminoskābes, tāpēc atkarībā no pētāmā objekta un mērķiem, šī shēma bieži tiek modificēta [62] – [64].

Humīnskābes ir lielākā organisko vielu grupa, tām ir tumši brūna krāsa. Tās parasti izdala no nogulumiem ar sārmainiem šķīdinātājiem un nogulsnē skābā vidē (pH 1 – 2).

Zemo un augsto purvu kūdras humīnskābēs oglekļa daudzums mainās no 57,7 – 64,2%, bet ūdeņradis – 4,3 – 5,4% robežās [44]. Sapropeļī esošās humīnskābes pēc elementu sastāva atšķiras no kūdrā esošajām ar to, ka ūdeņraža sastāvs tajās ir augstāks nekā kūdras humīnskābēs, kas liecina par taukskābju klātbūtni. E. Kazakovs uzskata, ka lielāks slāpekļa saturs sapropeļa humīnskābēs liecina par humīnlīdzīgiem piemaisījumiem – melanoīdiem, kas veidojušies, kondensējoties olbaltumvielu sabrukšanas vielām (aminoskābēm un ogļūdeņražu sabrukšanas rezultātā veidotām vielām) [34].

Dažāda tipa sapropeļa humusvielas atšķiras pēc elementu sastāva, funkcionālo grupu un ogļūdeņražu fragmentu satura, ko nosaka sapropeli veidojošās vielas un konkrētās ūdenstilpes humifikācijas apstākļi [76].

Sapropeļa humusvielas un bitumi veido organominerālos savienojumus ar augstu neorganisko elementu koncentrāciju, tāpēc tiem ir augsta pelnainība [64].

Sapropelī tika atrasti arī ūdenī šķīstoši vitamīni: askorbīnskābe (C), B grupas vitamīni – tiamīns (B1), riboflavīns (B2), pantotēnskābe (B5), piridoksīns (B6), folskābe (B9) un ciānkobalamīns (B12). Lielos daudzumos konstatēti arī taukos šķīstošie vitamīni – tokoferols (E), D un P vitamīni [27].

Ciānkobalamīnu (B12 vitamīns) saturošam sapropelī, kas koncentrējas sapropēja augšējā slānī (līdz 1m), ir augsta vērtība kā lopkopības barības piedevai, jo tas stimulē metionīna biosintēzi organismā. Eksperimentālu pētījumu rezultātā tika konstatēts, ka vitamīns B12 veicina daudzu mikroorganismu aktivitāti dūņu nogulumos, tam ir liela nozīme asins ķermenīšu veidošanās un olbaltumvielu apmaiņas procesos [77], tomēr, jāņem vērā, ka sapropēja izsaldēšana vai ilgstoša glabāšana samazina ciānkobalamīna saturu.

Lietuvas sapropelī tika atrasts augsts B12 vitamīna saturs [78], savukārt Latvijas sapropelī riboflavīna saturs nepārsniedza 25 mg/kg mitra sapropēja, bet folijskābe – 42-64 mg/kg no sausas masas [79].

### C. Sapropēja minerālo vielu ķīmiskais sastāvs

Sapropēja minerālo sastāvdaļu kopums ir svarīga diagnosticējoša pazīme tā klasifikācijā. Minerālo komponentu veidošanās ezera gultnes nogulumos ir saistīta ar terigēno noteci un tai sekojošu minerālu sedimentāciju un ūdenstilpē izšķīdušo minerālu jonu bioloģisko un ķīmisko nogulsnešanos. Parasti terigēnās noteces minerāli ir kvarcs ( $\text{SiO}_2$ ), dolomīts ( $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ ), silikāti un alumosilikāti (laukšpati, hidrovisla, hlorīti, kaolinīts, u.c). Bioķīmisko procesu rezultātā ūdenstilpes sapropelī uzkrājas kalcīts un aragonīts (karbonāti Mg, Ca, Sr, Ba, Fe, Mn), pirīts ( $\text{FeS}_2$ ), ģipsis ( $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), hematīts ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), markazīts ( $\text{FeS}_2$ ) un vivianīts [15], [75], [80].

No dzelzs minerāliem dominē brūnie oksīdi – trīsvērtīgie dzelzs oksihidroksīdi, getīts un hidrogetīts ( $\text{FeOOH}$ ), retāk – dzelzs pirīts un fosfāti, reti – siderīts ( $\text{FeCO}_3$ ). Dzelzs sulfāta heptahidrāta minerāli ir raksturīgi sapropēja slāņa dziļākajai daļai griezumā, kur veidojas siderīts un daļa dzelzs fosfātu. Tas ir saistīts ar organisko vielu sadalīšanos un reducēšanās apstākļiem. Dzelzs fosfāti, tāpat kā dzelzs brūnie oksīdi, ir izplatīti visos sapropēja ģenētiskajos tipos – dzelzs fosfātu saturs palielinās līdz ar karbonātiskuma samazināšanos. Šo fosfātu saturs karbonātiskā sapropelī ir 0,4%, jauktā sapropelī – 0,8%, bet silīcija oksīdus saturošā – 1,4%. Kalcija fosfāti sapropelī sastopami apatīta formā, dzelzs fosfāti – vivianīta formā.

Minerālo nogulumu veidošanās raksturīga leduslaikmeta beigu posmam. Holocēna laikmeta organominerālā sapropēja minerālās daļas veidošanās dinamiku noteica ūdenstilpes caurplūdums, bet mūsdienās – sateces baseina teritorijas izmantošana lauksaimniecības vajadzībām. Reģionālās novirzes attiecība ( $\text{SiO}_2 > \text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O} > \text{Na}_2\text{O}$ ) var būt saistīta ar iekšējo nogulumu materiāla konversiju [15], [80].

Integrētā līmenī sapropēja minerālais sastāvs tiek novērtēts pēc pelnainības, ieskaitot  $\text{CO}_2$  karbonātus ( $A_c$ ) vai starpības (100% – zudumi pēc izkarsēšanas 900 – 1000°C). Lielāko

pelnu daļu sastāda dzelzs un kalcija fosfāti – pelnu sastāvā stabilo oksīdu formā ne mazāk par vienu 1% sastāda:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$  [81]. Nogulumus ar pelnainību lielāku par 85%, Krievijas, Lietuvas un Latvijas zinātnieki uzskata par ezeru nogulumiem ar augstu pelnainību, bet citu valstu pētnieki par sapropeli pieņem nogulumus, kuru pelnainība sasniedz līdz pat 98% [42].

E. Kazakova ķīmiski tehnoloģiskie dažādu dabas zonu (skujkoku, jaukto koku un lapu koku meži, stepes un to apakšzonas) sapropēja pētījumi parādīja, ka pelnainība sapropelī var mainīties lielā diapazonā: no 8,9% līdz 93,0% – lielākais pelnu saturs ir stepju zonas sapropelī [34].

Tika noskaidrots, ka pelnainība paaugstinās, ilgi glabājot sapropeli nostādīnātajos, piemēram, 3 gadus glabātā Ņerova atradnes sapropēja pelnainība pieauga no 64% līdz 70% [12].

Silīcija komponentu uzkrāšanās likumsakarības dažādos sapropēja tipos norāda uz to, ka suspensijas sastāvā silīcijs nonāk no kramaļģu atliekām un uzkrājas baktērijās; organiska tipa sapropēja pelnu galvenais komponents ir  $\text{SiO}_2$ , pārējie elementi ir ļoti nelielos daudzumos. Nozīmīgas atšķirības organiskā sapropēja pelnos netika atrastas [12], [75].

Jaukta tipa sapropelis satur nedaudz vairāk pelnu, taču to saturs ir identisks organiskajam sapropelī, ja pelnos dominē  $\text{SiO}_2$ . Ja jaukta tipa sapropelī ir karbonāti, tad  $\text{CaO} + \text{MgO}$  saturs ir 7,9-16,6% – tāda sapropēja pelnainība var sasniegt 60%. Silikātu sapropelī silīcija oksīda saturs brīvā formā – kvarcs un kvarcs dažādu silikātu un alumosilikātu formā – ir no 30,3 līdz 70% [15].

Kramaļģu sapropelis satur amorfas silīcijskābes, kas ir vairāk pieejamas augiem [19], taču silīcija pārpilnība nerada toksisku iedarbību uz augiem [42].

Galvenais minerālais komponents karbonāta sapropelī ir kalcija karbonāts. Kalcija minerālā forma ir dolomīts, mālains ar dzelzs piejaukumu karbonāta agregāti, kā arī biogēnas izcelsmes kalcīts. Karbonāti ir sastopami amorfos un koloidālos savienojumos, kuriem ir organiska izcelsme un augsta mobilitātes pakāpe: 20-50 % no kopējā satura [20].  $\text{CaO}$  saturs karbonāta sapropelī sasniedz 90%, organiskajā sapropelī – 0,4-5,25%, pelnos, pārrēķinot uz sauso masu: jaukta tipa 0,9-12,5%, silikātu – 1,2-12,3%, vidēji dažādos sapropēja tipos  $\text{CaO}$  ir no 0,7 līdz 37%.

Eitrofās ūdenstilpēs kalcīta nogulsnešanos veicina augu, kas saista  $\text{CO}_2$ , fotosintēze un organismi (moluski, čaulu vēžiņi), kas uzkrāj kalciju šūnās dzīves laikā. Paaugstinoties sulfātu daudzumam ūdenī, var notikt sulfātu redukcija, kuras rezultātā rodas kaļķainas nogulsnes. Kalcija klātbūtne ūdenstilpē pātrina organisko vielu sadalīšanos un paaugstina kalcija saturu nogulumos.

Paaugstināta skābuma dēļ, ko izraisa paaugstināts  $\text{CO}_2$  saturs organisko vielu sabrukšanas procesā, karbonāti var arī nenogulsnēties [7].

L. Kirejčeva un O. Hohlova noteica, ka ilga sapropēja glabāšana nostādīnātajos, sevišķi stirpās, paaugstina karbonātu saturu, jo, mineralizējoties organiskām vielām, no sapropēja organominerālā kompleksa atbrīvojas kalcija oksīdi, bet viens no organisko vielu oksidēšanas produktiem ir ogļskābā gāze. Tas nozīmē, ka organiskās vielas sastāvā esošais ogleklis

pārvēršas par karbonātu oglekli. Tas ir raksturīgs sapropelīm ar lielu organisko vielu saturu – oglekļa daudzums, kas tiek saistīts karbonātos, pieaug līdz 5 reizēm. Karbonātos saistītā oglekļa daudzumu sapropelī var izmantot kā sapropēja mineralizācijas rādītāju un izmantot šīs izmaiņas sapropēja mineralizācijas pakāpes noteikšanai aerobos apstākļos [12].

Kopējais dzelzs daudzums sapropelī sastāda 2–18%, reti 28%. Nogulumos dzelzs parasti nonāk koloidālo organo-minerālu savienojumu formā kopā ar māla daļiņām.  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  organiskā sapropelī parasti sastāda 4,9%, silīcija dioksīdu saturošā – 5,6%, karbonāta – 4,7%, jaukta tipa sapropelī 8,4%, taču dažreiz šis rādītājs var sasniegt 30 – 50% no pelnu apjoma [43]. Lielos daudzumos sevišķi mobilās formās dzelzs uz augiem iedarbojas nomācoši [20]. Ūdens vidē notiek intensīva minerālu sairšana, kas paaugstina dzelzs mobilo formu daudzumu, kas var sastādīt līdz 80% no dzelzs kopējās masas [45]. Žāvējot un vēdinot gaisā dzelzs savienojumu reducēšanās un mobilitāte samazinās un daļa hidratētu formu pārvēršas kristālos. Gaissausos paraugos mobilie dzelzs savienojumi nepārsniedz 1% [20], [75].

Alumīnija saturs sapropelī mainās 0,3 – 11% robežās, parasti tas ir 2 – 4% robežās, un tā augstākas koncentrācijas sastopamas silikātu sapropelī, jo tas satur mālainos minerālus. Sapropēja pētījumi Baltkrievijā neatklāja amorfas alumīnija formas, kas ir augsti toksiski augiem [15], [75].

Mikroelementu stratifikācija ezeru nogulumos ir detalizēti izpētīta Baltkrievijas un Tjumeņas ezeru nogulumu pētījumos. Nogulumu virsējos slāņos ir augsts mikroelementu summārais daudzums, zemāk viscaur notiek to samazinājums un zemākos slāņos stabils pieaugums. Tas ir saistīts ne tikai ar sapropēja tipa izmaiņām, bet arī ar ķīmisko elementu migrāciju uz zemākiem slāņiem, to reducēšanas rezultātā sapropēja slānī. Elementu pieaugums sākas 5–7 m dziļos slāņos, kur norisinās reducēšanās. Sapropelis satur tādus mikroelementus kā Mn, Co, Mo, Cu, Ni u.c., sevišķi bagāts ar tiem ir silikātu sapropelis, bet nabadzīgs – karbonātu. Organiskā un jauktā tipa sapropelī mikroelementu rādītāji ir vidēji. Tādu elementu kā Mn, Co, B, Zn, Mo daudzums ir ļoti dažāds. Summārais mikroelementu saturs B, Ni, Cu, Co, V, Mo, Cr ir no 20 līdz 150 mg/kg sausa, bet Ti, Mn, Zn – 200–2000 µg/kg. Pēc mikroelementu koncentrācijas samazinājuma sapropeli var iedalīt: silikātu, jaukta tipa, organiskais, karbonātu [20].

Svins ir sastopams daudzu minerālu sastāvā – silikāti, haploīds, manganīts, ferīts, karbonāti. Svina mobilitātes procesā augsnē svarīga loma ir humusvielām, kas adsorbē svina organiski-minerālos kompleksos. Mūsdienu apstākļos iespējami paaugstināts svina saturs pelogēnā rūpniecisku apgabalu ezeros, piemēram, Nero ezerā svina koncentrācija ir 12 mg/kg, kas 10 reizes pārsniedz vidējo svina saturu organiskajos ezeru nogulumos [7].

Bora savienojumi parasti ir viegli šķīstoši, tāpēc bors viegli izskalojas no augsnes un uzkrājas ūdeņos. Vidējais bora saturs sapropelī ir 1,5 mg/kg. Zemākas bora koncentrācijas atrodamas karbonāta sapropelī [42].

Titāns sapropelī uzkrājas minerālu formā (rutīts, ilmenīts, leukoksēns u.c.), tāpēc mobilās formas iespējamas tikai stipru skābju šķīdumos.

Hroma saturs ezera nogulumos nepārsniedz 10 mg/kg. Tas atrodas oksīdu formā un izkļiedētā veidā, aizvietojojt silikāta savienojumos alumīnija un dzelzs jonus. Silīcija dioksīda un kaļķa nogulumi satur visvairāk šī elementa.

Cirkonijs tāpat kā titāns sastopams kristāliskos minerālos (cirkonijs), tā saturs vidēji sastāda 80 mg/kg.

Fluors nokļūst ūdenstilpēs ar deluviālo noteci mālaino minerālu formā, tāpēc silikātu sapropelī tā saturs ir 8–34 mg/kg, bet karbonāta tipa nepārsniedz 12 mg/kg [42].

Jods uzkrājas organisko vielu nogulumos, nonākot tajos no ūdenszālēm. Akcesorā veidā sapropelī tika atrasta alva, arsēns, dzīvsudrabs un kadmijs, tomēr pētījumi uzrādīja, ka, iestrādājot sapropeli kā mēslojumu pat lielās devās (100 t/ha ar 50% mitrumu), tie nevar radīt augsnes piesārņojumu ar smagajiem metāliem [75]. Ezera nogulumu augstā sorbcijas spēja var veicināt to izmantošanu augšņu rekultivācijas nozarē [12].

#### *D. Sapropēja sastāvā ietilpstšie dzīvie organismi un tā bioloģiskā aktivitāte*

Bioloģisko komponenti saldūdens ekosistēmās veido hidrobionti, kuru dzīves cikls veicina aktīvu organisko vielu uzkrāšanos ekosistēmā sapropēja nogulumu veidā.

Pētījumi rāda, ka ezera sapropelī ir ārkārtīgi daudz mikroorganismu – 1 g svaiga sapropēja tā virsējā slānī ir 1–2 miljardi mikroorganismu. Dziļākos slāņos, sākot no 0,6–1,0 m no ezera gultnes virsmas, mikroorganismu skaits samazinās [82].

Sapropelī tika atrasti mikroorganismi, kas izdala antibiotikas, kuras ir antagoniskas virknei patogēnu saprofitisku mikroorganismu. Šī sapropēja īpašība ir nozīmīga sapropēja izmantošanai balneoloģijā [83].

Antibiotikas un sulfanilamīdus sapropelī sintezē sēnes un aktinomicētas, vitamīnus – baktērijas un aļģes. Azobaktērijas veicina slāpekļa pāriešanu augiem pieejamā formā.

Dažādas baktēriju un ūdens sēņu grupas ir specifiski organisku vielu destruktori (sadala atmirušos hidrobiontus līdz atsevišķiem fragmentiem) un piedalās bioķīmiskos procesos – sapropēja sekundāru organisko vielu sintezē (humifikācijā) [42].

Sapropēja sastāvā esošie dzīvie organismi piedalās dažādos procesos vielu pārveidošanā, ne tikai veidojot sapropēja nogulumus, bet arī reģenerējot un konservējot tos. Pateicoties mikroorganismiem, sapropelī var norisināties mineralizācija un organisko vielu sintēze, tie nosaka dažādu gāzu (sērūdeņradis, amonjaks, metāns u.c.) sastāvu un to daudzumu nogulumos. Nogulumos uzkrājas bioloģiski aktīvas un antibakteriālas vielas, kurām ir liela nozīme balneoloģijā. Mikroorganismu veidotās bioķīmiskās vielas nosaka arī dažas fiziski – ķīmiskas īpašības sapropelī.

Vielu aprites ciklā ūdenstilpēs piedalās tikai organiskas un minerālas vielas no sapropēja nogulumu virsējiem slāņiem. Dziļākos slāņos mikroorganismu aktivitāte apstājas, tāpēc arī organisko vielu sadalīšanās norit ļoti lēni.

Latvijā 1965. gadā T. Stūris [84] izpētīja Kaņieru un Babītes ezeru mikrofloru, lai noskaidrotu izpētītā sapropēja potenciālās izmantošanas iespējas medicīnā. Pētījumos tika

konstatēts, ka mikroorganismu izplatība un bioķīmiskā aktivitāte ir tieši atkarīga no sapropeļa slāņa dziļuma un gadalaika. Mikroorganismu augstākā aktivitāte tika novērota ezera neaizaugušās daļas nogulumos no 0,1 līdz 0,5 m dziļumā, kur atrodas lielākais viegli hidrolizējamo organisko vielu daudzums, taču aktivitātes sarukums novērojams 1,0 m dziļumā. Kaņieru un Babītes ezeru sapropelī tika konstatētas vairākas baktēriju grupas: dūņu veidojošas baktērijas, sēra aprītē piedalošās baktērijas, organisko un neorganisko vielu pārveidotāji, sērūdeņraža producētāji.

#### V. SAPROPEĻA RESURSI LATVIJĀ

Sapropeļa izplatība pasaulē ir izpētīta samērā nevienmērīgi. Samērā pilnīgi dati par sapropeļa nogulumu izplatību ir pieejami par Latvijas, Lietuvas, Igaunijas, Baltkrievijas, Ukrainas, Krievijas Centrālās Eiropas daļas teritorijām [27].

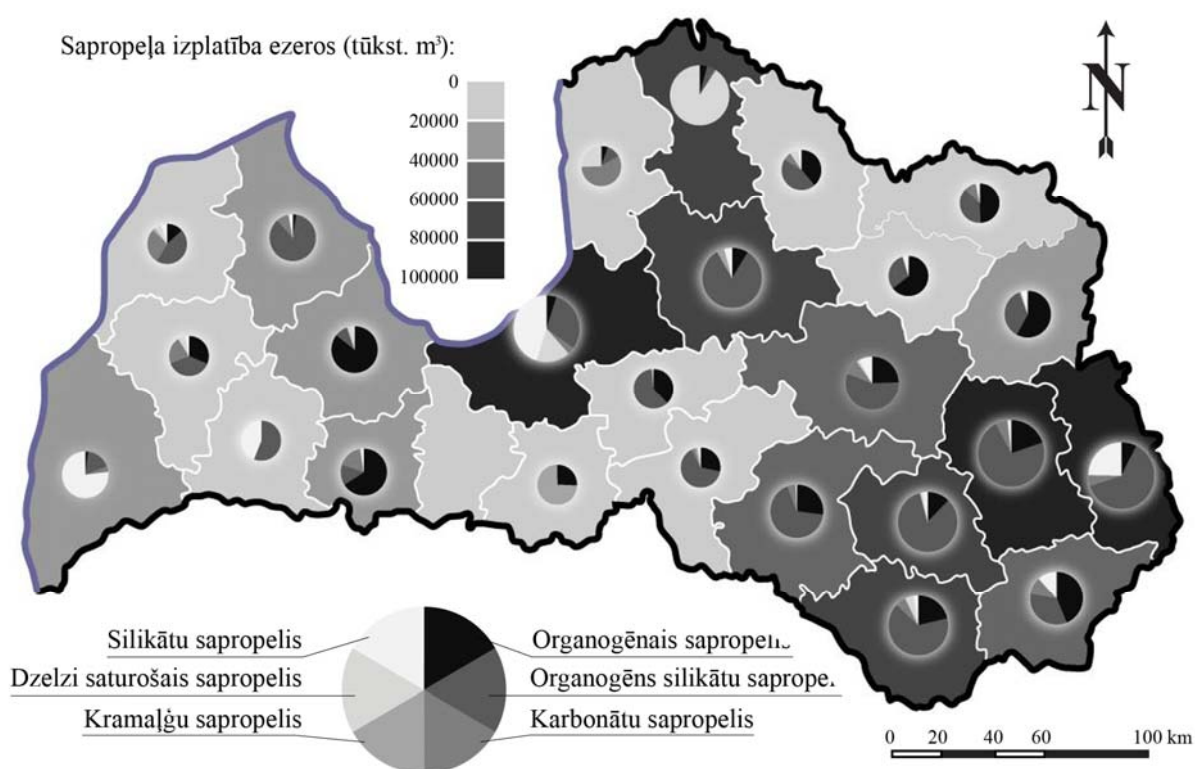
No Tomina un Fomina sapropeļa pētījumiem var spriest, ka sapropeļa uzkrāšanās dažādās pasaules daļās ir nevienmērīga un atšķirīga, lielā mērā tā ir atkarīga no teritorijas ezerainības. Vislabvēlīgākā zona sapropeļa veidošanai ir mežu teritorijas, turpretim mūžīgā sasaluma teritorijas, kalnaini apvidi un apvidi, kur atsedzas pamatklintājs, nav tik piemērotas sapropeļa nogulumu ģenēzei. Apjomīgāki sapropeļa nogulumu slāņi atrodas seklu, aizaugušu ezeru un purviem bagātos līdzenumos, kā arī lielu upju ielejās [13].

Sapropeļa atradņu meklēšanas darbos, kas norisinājās laikā no 1990. gada līdz 2000. gadam, tika apsekoti daudzi ezeri visā Latvijā, izņemot Jelgavas rajonu. Ņemot vērā iepriekš veiktos sapropeļa atradņu izpēti darbus, kopumā Latvijā ir

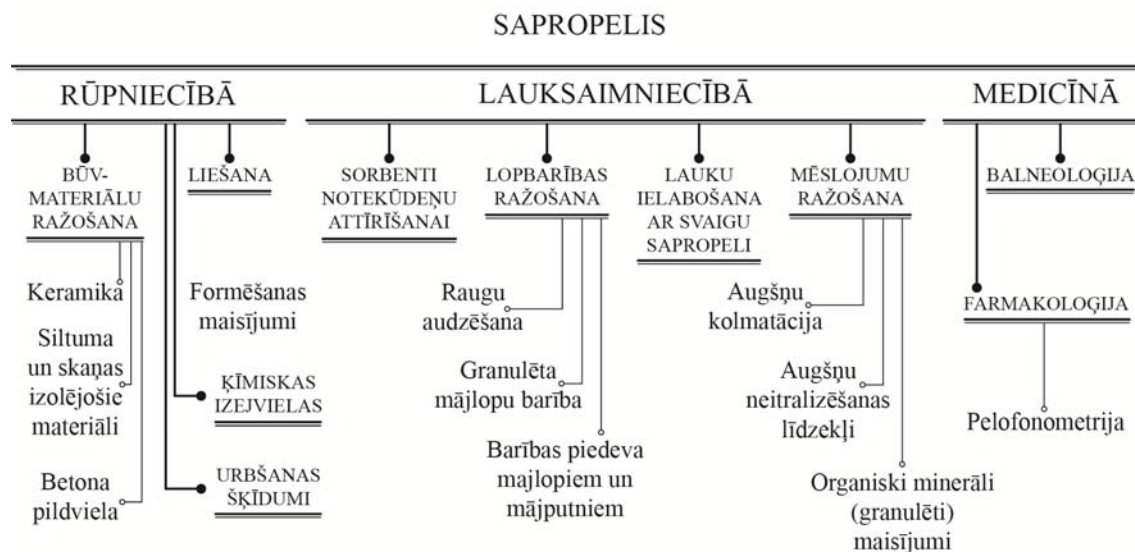
apsekoti 1126 ezeri, no tiem 655 ezeri ir atzīti par rūpnieciskas nozīmes sapropeļa atradnēm. Pēc apjoma lielākie sapropeļa krājumi ir Ludzas, Rēzeknes un Rīgas rajonā (sk. 2.attēlu). Te sapropeļa apjomi ezeros ir 98 358, 98 240 un 86 573 tūkstoši m<sup>3</sup> attiecīgi. Pēc masas lielāki sapropeļa krājumi ar mitrumu 60% ir Rīgas – 38 609 tūkst. t, Valmieras – 20 976 tūkst. t un Rēzeknes rajonā – 20 226 tūkst. t. Šādas atšķirības starp sapropeļa krājumu apjomu un masu rodas sapropeļa tipu dažādības un atšķirīgā sastāvā dēļ. Piemēram, Rīgas un Liepājas rajonos dominē silikātu sapropelis, kas ir salīdzinoši smags, sākotnēji satur mazāku mitruma daudzumu, izžūstot mazāk sarūk. Iemesls, kāpēc Liepājas rajonā ir vidēji sapropeļa krājumi, ņemot vērā, kā Liepājas un Rīgas ezeru vecums ir aptuveni vienāds, ir tāds, ka šajā rajonā ir samērā zema ezerainība, savukārt Rīgas rajonā ezeru ir daudz. 10 rajonos sapropeļa krājumu apjoms ir zemāks par 20 000 tūkst. m<sup>3</sup>. Viszemākie sapropeļa resursi ir Bauskas rajonā, tie sastāda tikai 645 tūkst. m<sup>3</sup> vai 129 t ar mitrumu 60%.

#### VI. SAPROPEĻA IZMANTOŠANAS IESPĒJAS

Sapropeļim, tāpat kā kūdrai, ir ļoti plašas izmantošanas iespējas. To var izmantot praktiski jebkurā tautsaimniecības jomā, taču tā lielā dažādība un zemais izpēti līmenis traucē racionāli gūt gaidāmos rezultātus. Latvijā sapropeļa izmantošana ir plaši pazīstama lauksaimniecībā kā mēslojums un lopkopībā kā dzīvnieku barības piedeva, taču zinātne šim derīgajam izrakteņim ir atradusi arī citas izmantošanas iespējas (sk. 3.attēls).

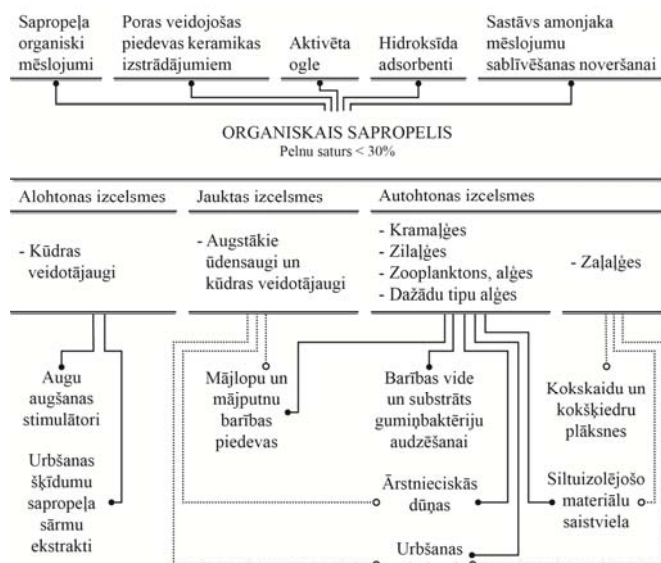


2. att. Sapropeļa izplatība Latvijas rajonos pēc resursa daudzuma un tā tipiem. Autoru sastādīts, izmantojot [14].



3. att. Sapropeļa iespējamā izmantošana [33].

Par vērtīgāko sapropeli tiek uzskatīts organiskais sapropelis. Šim sapropēja tipam ir vairāk pielietošanas iespēju (sk. 4.attēls).



4. att. Organiskā sapropēja iespējamā izmantošana [85].

Sapropeļa sārmu ekstrakti, tāpat kā brūnogļu un kūdras ekstrakti, tiek izmantoti ģeoloģiskajā izpētē kā ekoloģiski tīri urbšanas šķīdumi. Tie satur ūdenī šķīstošos sāļus un polivalentus metālus un tiek izmantoti humātu reaģentos. Šie reaģenti ir daļēji sintētiski materiāli, kas satur  $\geq 40\%$  humusvielas. Tos izmanto, lai ražotu dažādu tipu – emulsijas, paaugstinātu kaļķa u.c. – urbšanas šķīdumu viskozitāti un filtrāciju, naftas emulģēšanas emulsijas urbšanas šķīdumos. Augstās temperatūrās, lai novērstu urbšanas šķīdumu sabiezēšanu māla intensīvas peptizācijas (process pretējs koagulācijai, kad koloidālas sistēmas salīpušas daļiņas sairst) dēļ, humātu reaģentiem pievieno kālija dihromātu ( $K_2Cr_2O_7$ ). Šo ekstraktu pielietojums pārsvarā ir ierobežots ar

mineralizāciju, kas nevar būt lielāka par 2 – 3% (kālija – humātu reaģentiem 3 – 6%). Humātu reaģentiem ir zemas izmaksas un tos var izmantot ar jebkuriem citiem ķīmiskiem reaģentiem, kurus pielieto urbšanas šķīdumu apstrādē [86].

1991. gadā Krievijā tika pētītas sapropēja izmantošanas iespējas augsti pelnainu degslānekļu termiskās pārstrādes intensifikācijai, kas paaugstina iegūstamo sveķu un gāzu daudzumu un uzlabo to sastāvu. Šādi sapropēja izmantošanai der tikai organiskais sapropelis, kura optimālais pievienošanas daudzums degslāneklim ir 10%. No šādi modificēta degslānekļa var iegūt par 54% vairāk sveķu, 4 reizes vairāk summāra fenolu daudzuma ar paaugstinātu sveķainu un ūdenī šķīstošu fenolu apjomu [87].

Latvijā 1957. gadā A. Kalniņa vadībā veiktie pētījumi Mežsaimniecības problēmu institūtā, Koksnes ķīmijas institūtā un Latvijas Lauksaimniecības akadēmijā uzrādīja, ka ar sārmu apstrādātai organiska sapropēja frakcijai ar augsta dispersitāti ( $< 50 \mu\text{m}$ ) un hidrolizētu vielu daudzumu piemīt laba saistvielas piedeva kokšķiedru un lauksaimniecības atkritumu plātņu izgatavošanai, turklāt sapropēja tehniskie un fiziski mehāniskie rādītāji atbilst siltumizolējošo materiālu prasībām: blīvums – 150–300 kg/m<sup>3</sup>, izturības robeža – 0,4–3,0 MPa, ūdensuzsūce – 9–20 %, gaissausas masas siltumvadītspēja pie 25 °C – 0,048–0,075 W/(m°C). Lielāko ieguldījumu sapropēja līmējošo īpašību izveidei sniedz slāpekli saturošas vielas, tajā skaitā brīvās aminoskābes, jo sapropēja sastāvu ietekmē humīnskābju molekulu struktūra. Ja sapropēja sastāvā palielinās humīnskābju daudzums, daļā hidrolizējamo sastāvdaļu palielinās perifēriskās daļas molekulu sazarojums. Tas sekmē stipru saišu izveidošanos starp molekulām produkta izgatavošanas laikā. Pašas molekulas humīnskābēs paliek elastīgākas, apvelk formējamā materiāla cietās daļiņas, kas nodrošina materiāla stiprību un izturību [87]. Sapropeļa saistvielas īpašības izmantojamas, izgatavojot celtniecībai noderīgus materiālus, gan karstajā apstrādē (līmšpiedē



paaugstinātā temperatūrā un spiedienā), gan aukstajā apstrādē - blietēšanas paņēmieni [88].

J. Āboliņa veiktie pētījumi celtniecības bloku un siltumizolējošo materiālu ražošanā no koku skaidām, mazzsadalījušās kūdras un līdzīgām izejvielām. Kā līmviela labi der jēla sapropeļa un NaOH maisījums, šos koka skaidu un kūdras maisījumus ar sapropeli viņš nosauca par sapropeļbetonu. Tā kā viena no sapropeļa svarīgākajām īpašībām ir tā koloīdā struktūra, tad sapropeļa organiskie koloīdi spēj saistīt ievērojamu daudzumu ūdens. Pilna sapropeļa mitruma ietilpība sasniedz līdz 97% no sausas vielas masas. Tāpēc, lai samazinātu sapropeļbetona rukumu, sapropelīm jāļauj izžūt vismaz līdz 60% mitrumam un jāizmanto sausas pildvielas, kuras nesatur vairāk par 20% mitruma. Ar tādiem izejmateriāliem iegūst sapropeļbetonu, kas neuzrāda lielu rukumu, kā arī samazina žāvēšanas procesā patērēto enerģiju un laiku. A. Gružāna ekonomiskie aprēķini uzrādīja, ka Latvijā sapropeļbetons varēja kļūt par vienu no lētākiem un pieejamākiem celtniecības materiāliem valstī [89].

Lai pavairotu sapropeļbetona izturību pret dažādu sēnīšu iedarbību (bioloģisko noturību), tam eksperimentos piejauca romāncementu (iegūst apdedzinot mālus), dzēstos vai nedzēstos kaļķus. Kā antiseptiķus izmēģināja: amonija silikofluorīdu, nātrija fluorīdu, antracēnēļļu, vara naftenātu, koka darvu. Svarīgi, lai siltumizolācijas materiāls būtu pēc iespējas vieglāks, jo tad tas labāk aiztur siltuma caurplūšanu, līdz ar to nodrošina lielāku siltumietilpību. Izmantojot vieglas pildvielas, sapropeļbetons iegūstams ar nelielu tilpuma svaru - 1m<sup>3</sup> sver 313 kg [88].

Sapropeļbetonam ir laba uguns noturība, tas pats nodziest un neturpina degšanas procesu, ja temperatūra ir zemāka par 380 °C. Tādējādi sapropeļbetons ir izmantojams ne tikai kā siltumizolācijas materiāls; to var izmantot slodzi nenesošo šķērssienu, pārsegumu un sienu būvniecībā. Sapropeļbetonu var izmantot dzīvojamu un rūpniecības ēku, saldētavu sienu un pārsegumu, kā arī ierīču un cauruļvadu (kuru temperatūra nepārsniedz 100 °C) siltuma izolācijai [90].

Tīrā veidā sapropeļbetons virs 105 °C sāk sadalīties un tādēļ bez speciālas sagatavošanas nav lietojams temperatūrās augstākās par 100 °C [90]. Tas ierobežo sapropeļbetona plātņu izmantošanu siltuma izolācijas vajadzībām. Tādēļ ir nepieciešami atkārtoti eksperimenti un tehnoloģijas pilnveidošana, lai panāktu iespējami lielāku pievienoto vērtību sapropeļa izmantošanai būvniecības nozarē, kā ekoloģiskajam materiālam no vietējiem resursiem.

Sapropeļis ar zemu pelnainību un paaugstinātu NaOH saturu tiek izmantots kā piedeva fasādes māla ķieģeļu izgatavošanā. Sapropeļa sārms un tā veidotā reducējošā vide paaugstina stikla fāzes saturu keramikas izstrādājumos un ir kā indikators par izbalējumu veidošanos ķieģeļa virspusē [87].

Teorētiski sapropelis der serdeņu un tapsējuma maisījumu gatavošanā lietuves rūpniecībā. Daudzu iegulu sapropeļa fiziski mehāniskās īpašības un ķīmiskais sastāvs der formēšanas maisījumu izstrādei. Sapropeļa serdeņu maisījumiem ir labas mehāniskās īpašības, zema higroskopija un to maisīšanai ir nepieciešams ievērojami mazāks laiks. Sapropeļa tapsējumu maisījumu pētījumi Minskas traktorū

rūpniecībā uzrādīja, ka tas ir labs formēšanas materiāls, kas nodrošina augstas kvalitātes lējumus [87].

Lopbarības efektivitātes paaugstināšana ar sapropeļa maisījumiem tika plaši pētīta Lietuvā un Baltkrievijā 20. gadsimta otrajā pusē. Sapropeļa lopbarības piedevas uzlabo dzīvnieku aknu un kuņģu darbību, asins veidošanos un cirkulāciju, samazina saslimšanas gadījumus un paaugstina dzīvnieku noturību pret nelabvēlīgiem vides apstākļiem [20].

Organiskais sapropelis tiek uzskatīts par vienu no vērtīgākajiem praktiskās izmantošanas ziņā, jo tas satur daudz olbaltumvielas, vitamīnus, fermentus un citas bioloģiski aktīvas vielas, taču Lietuvā veiktie pētījumi uzrādīja, ka praktiski visus sapropeļa veidus var izmantot lopbarības piedevās. Pašlaik popularitāti gūst sapropeļa humusvielu lopbarības piedevas, piemēram, nātrija humāts. Šie preparāti uzlabo oksidēšanas procesu organismā – palīdz paaugstināt un uzkrāt olbaltumvielas asinīs, paaugstina eritrocītu veidošanos sarkanajās kaula smadzenēs, uzlabo A un citu vitamīnu sintēzi, normalizē vielmaiņu un ir efektīvs toksikozes ārstēšanā.

Šo resursu var izmantot arī kā lēto kurināmo – veidot no tā granulas vai briketes dzīvojamo māju un palīgēku apsildīšanai. Krievu zinātnieki piedāvāja ar sapropeli pilnīgi aizvietojot ogļu kurināmo aglopirīta (siltumizolējošais materiāls) ražošanai, no kura var iegūt dažādas siltumizolējošas konstrukcijas un vieglo betonu (marka 300 – 500), kura ražošanai ir nepieciešami lieli cementa apjomi [27].

Jāatzīst, ka derīgo izrakteņu resursu vienkārša sadedzināšana krāsnī nav racionālākais to izmantošanas veids, ņemot vērā to faktu, ka Latvijas sapropelis pēc tā ķīmiskajiem rādītājiem pieskaitāms pie augstas kvalitātes klases.

1935. gadā B. Kļimovs bija pirmais, kurš atzīmēja, ka sapropeļa ķīmiskā pārstrādē var iegūt tos produktus rūpniecībā, kurus nevar iegūt no cita kurināmā. Īpaši viņš atzīmēja fenolus, motoru degvielas, mīkstinātājus gumijas rūpniecībā un sapropeļa organiskās bāzes, kuru saturs sapropeļa pirmdarvā ir lielāks nekā citu kurināmo darvā.

Sapropeļis ar pelnainību 20 – 35% ir vērtīga un vispusīga izejviela ķīmiskai pārstrādei. No tā var iegūt bitumus, lielumolekulāras karbonskābes, šķidrās degvielas un eļļas, parafīnu, fenolu, piridīnskābes, elektroizolācijas materiālus, gumijas mīkstināšanas līdzekļus, amonija savienojumus un citus produktus.

Latvijā veiktie pētījumi uzrādīja, ka no vietējā sapropeļa puskoksnešanas laboratorijas apstākļos var iegūt 20 – 38% pirmdarvas no tā kopsausnes, kas satur 2/3 neitrālo sastāvdaļu un ir piemērota izejviela šķidro degvielu, eļļu un parafīna iegūšanai. No 1 t sausa sapropeļa masas ar pelnainību 10 – 20% koksēšanas procesā tika iegūts (% sausne) 350 – 450 kg koksa, 79 – 100 kg šķidrā kurināmā, 20 – 25 kg parafīna, 10 – 15 kg piridīna, 7 – 8 kg šķīdinātāja (metanols + acetons) un 10 kg amonija vai 30 kg amonija sulfāta mēslojumam [33].

XIX gadsimta beigās parādās pirmās publikācijas, kurās tiek aprakstīta sapropeļa labvēlīgā ietekme, ārstējot reimatismu un kaulu plēves iekaisumus [27].

Sapropeļa augstā siltumietilpība nodrošina ilgstošu un dziļu audu sildīšanu un normalizē asinsspiedienu, kas sekmē

locītavu, perifērās nervu sistēmas, ādas un sieviešu dzimumorgānu iekaisumu ārstēšanu. Augsta sapropeļa adsorbācijas spēja stimulē slapju, plēstu brūču apžūšanu. Antibiotikas un antioksidanti sapropelī sekmē ātru iekaisuma procesu izbeigšanos, ārstē ekzēmas, dermatītu un apdegumus. Ar uzsildīta sapropeļa aplikācijām sekmīgi tiek ārstēti flegmoni (difūzais tauku šūnaudu iekaisums ar strutu veidošanos), mastīti, furunkuli, hroniski gastrīti, čūlu izraisītas kuņģa un divpadsmitpirkstu zarnas slimības, jo tie stimulē fagocītu (šūnas, kas spēj iznīcināt organismā iekļuvušos svešķermeņus un baktērijas) aktivitāti, kuru darbības rezultātā notiek intensīva audu reģenerācija [27].

Tāpat kā medicīnā, sapropelis plaši tiek lietots veterinārijā. Sekmīgi šajās jomās tiek ārstētas ārējo un iekšējo audu iekaisumu slimības: metritis (uroģenitālā trakta iekaisums), mastīts (krūts dziedzeru iekaisums), bursīts (glotsoināis iekaisums), flegmons, tendovaginīts (cīpslas maksts iekaisums), dažāda veida abscesi u.c., tiek ārstētas arī daudzu slimību hroniskās formas [27].

Protams, ārstniecisko dūņu ražošanai neder jebkurš sapropelis. Šim nolūkam stingras prasības ir izstrādātas tikai Baltkrievijā (sk. 4.tabula).

Zinātnieki, kas pētīja sapropeļa ķīmiskās pārstrādes iespējas, apgalvoja, ka sapropelis ar augstu mineralizācijas pakāpi, kas ķīmiskajā pārstrādē un medicīnā ir maz piemēroti, var tikt izmantoti lauksaimniecībā kā mēslošanas līdzeklis, jo tas satur visus augiem nepieciešamos barības elementus un mikroelementus [22], [33].

Mūsdienās mēslojumam izmanto visu veidu sapropeli, kurus nosacīti var iedalīt trīs grupās [27]:

1. grupa – sapropelis ar organisko vielu saturu virs 50%, tiek izmantots organiski minerālos mēslojumos. Kompostējot tādu sapropeli nav nepieciešama dažādu organisko materiālu (kūdra u.c.) pievienošana;
2. grupa – sapropelīti ar organisko vielu saturu no 10 līdz 50%. Tie ir sarežģīti minerāli mēslojumi, kas ir bagāti ar kaļķi, fosforskābi, kopējo slāpekli un organiskām vielām;
3. grupa – mineralizēti nogulumi ar organisko vielu saturu līdz 10% pārsvarā tiek izmantoti augsnes mehāniskā sastāva uzlabošanai. Ja šajos nogulumos ir liela CaO koncentrācija, tas samazina augsnes skābumu.

Latvijā labi panākumi, lietojot sapropeli augsnes mēslošanā, 1954 – 1955. gadā bija iegūti Bulduru Dārzkopības tehnikumā [33]. 1954. gadā mēslošanas izmēģinājumi ar „Spīgu” sapropeli tika veikti tehnikuma mācību saimniecībā. Jūrmalas vieglā smiltis augsnē tika stādīti kartupeļi, kāposti un burkāni (sk. 5.tabula).

Pielietojot „Spīgu” sapropeli trūdzemes podiņos, aizvietojo trūdzemi ar sapropeli, 1954. gadā agro kāpostu dēsts sapropeļa podiņos attīstījās daudz spēcīgāks nekā parastajos trūdzemes podiņos.

1955. gadā Bulduru dārzkopības tehnikuma mācību saimniecības izmēģinājumos tika izlietots Lielupes attekā iegūts sapropelīts ar aptuveni 25% organisko vielu kā mēslojums burkāniem, kartupeļiem un gurķiem. Salīdzinot ar kontroles paraugiem sapropelīts palielināja burkānu ražu par 40%, kartupeļu – par 41% un gurķu ražu par 60%.

4. TABULA

PRASĪBAS SAPROPEĻA IZMANTOŠANAI ĀRSTNIECISKO DŪŅU RAŽOŠANĀ [91]

Sapropeļa īpašība	Norma
Ārējās pazīmes	
krāsa	viendabīga, no pelēcīgas līdz melnai
smarža	nav vispār vai sērūdeņraža
konsistence	viskoza, plastiska
ieslēgumi	var saturēt nepilnīgi sadalījušās veidotājaugu šķiedras, nedrīkst atrasties gliemežvāki un čaulas
Vispārējās pazīmes	
Mitrums, (%)	80 – 90
Pelnu saturs, (%)	≤ 50
pH	4,5 – 8,0
Daļiņas lielākas par 0,2 mm, (% sausas masas)	≤ 20
Stingrības robežspriegums, (Pa)	200 – 800
Kopējā dūņu šķīdības mineralizācija, (g/l)	< 2
Sanitāri bakterioloģiski rādītāji	
Koli titrs	≥ 1,0
<i>Clostridium perfringens</i> titrs	≥ 1,0
<i>Staphylococcus</i> un <i>Streptococcus</i>	nedrīkst atrasties
<i>Clostridium</i> (stingumkrampjus izraisoša nūjiņveida baktērijas)	nedrīkst atrasties

5. TABULA

„SPĪGU” SAPROPEĻA IETEKME UZ DĀRŽEŅU RAŽU [33]

Kultūra	Mēslojums	Raža, (cnt/ha)	Raža, (%)
Kartupeļi	Kontrole	207	100
	Kūtsmēsli (30 t/ha)	255	123
	„Spīgu” sapropelis (30 t/ha)	334	160
	Lielupes sapropelīts (30 t/ha)	292	141
Kāposti	Kontrole	360	100
	Kūtsmēsli (30 t/ha)	580	160
	„Spīgu” sapropelis (30 t/ha)	630	175
Burkāni	Kontrole	441	100
	Kūtsmēsli (30 t/ha)	595	135
	„Spīgu” sapropelis (30 t/ha)	618	140
	Lielupes sapropelīts (30 t/ha)	618	140

Sapropeļa norma augsnes ielabošanai ar sapropeli ir 10 – 150 t/ha un galvenokārt ir atkarīga no augsnes īpašībām, sapropeļa tipa un kultivētiem augiem.

Racionālākais sapropeļa izmantošanas veids būtu kombinēt sapropeļa izmantošanu rūpniecībā un lauksaimniecībā. Vērtīgāko sapropeli būtu lietderīgāk izmantot ķīmiskajā rūpniecībā, bet vairāk mineralizēto – lauksaimniecībā.



## LITERATŪRAS SARAKSTS

- [1] **Leinerte, M.** *Ezeri deg!* Rīga : Zinātne, 1988. 94 lpp.
- [2] **[Anonīms].** *Latvijas PSR Kūdras fonds uz 1980. gada 1. janvāri.* Rīga : Latvijas Valsts Meliorācijas projektēšanas institūts, 1980. 716 lpp.
- [3] **Latvijas zemes dzīļu resursi.** Segliņš, V., Brangulis, A.J. (red.) Rīga : Valsts ģeoloģijas dienests, 2001. 32 lpp.
- [4] **Latvijas PSR ūdenstilpju sapropela nogulumi.** N. Brakšs, L. Dubova, I. Brakšs, K. Logina. Rīga: Zinātne, 1967. 80 lpp. (krievu val.).
- [5] **Liutinas, R., Jankevičius, K., Šalkauskas, M., et al.** Improvement of Lake Sapropel Quality: A New Method. *Geografijos metraštis*, 2005, vol. 38, N 2, p. 44-51
- [6] **Emeis, K.C.** Sapropel. *In: Encyclopedia of paleoclimatology and ancient environments.* Springer, Dordrecht, 2009. p. 875-877. [http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-4411-3\\_204](http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-4411-3_204)
- [7] **Kordē, N.** *Krievu sapropelu biostratifikācija un tipoloģija.* Maskava : PSRS Zinātņu Akadēmijas izdevniecība, 1960. 220 lpp. (krievu val.).
- [8] **Lācis, A.** Sapropelis Latvijā. *Latvijas Universitātes 61. zinātniskā konference*, Rīga, Latvija. Referāts. [skatīts 06.05.2013.]. Pieejams: <http://www.ezeri.lv/blog/DownloadAttachment?id=666>
- [9] **Kūdras fizika un ķīmija: Mācību līdzeklis augstskolām.** I.I. Lištvan, E.T. Bazin, N.I. Gamajunov, A.A. Torentjev. Maskava : Nedra, 1989. 304 lpp. (krievu val.).
- [10] **Lundquist, G.** Bodenablagerungen und Entwicklungstypen der Seen. *Die Binnengewässer*, 1927, Bd.2, p. 1-119.
- [11] **Titov, E.** Par Urālas sapropela pigmentiem. *Sapropela nogulumu laboratorijas darbi.* 1950, Nr.4, 114-119 lpp. (krievu val.).
- [12] **Kirejčeva, L., Hohlova, O.** *Sapropeli. Sastāvs, īpašības, izmantošana.* Maskava : Roma, 1998. 120 lpp. (krievu val.).
- [13] **Tomin, E.D., Fomin, A.I.** *Sapropelis, tā ieguve un izmantošana lauksaimniecībā.* Jaroslavska : Verhne – Volžskoe, 1964. 104 lpp. (krievu val.).
- [14] **Pārskats par ezeru sapropelu atradņu meklēšanas darbiem.** Pases sapropela iegulām. Valsts ģeoloģijas fonds, 1990-2000.
- [15] **Kurzo, B.V.** Kaustobiolīti un ekoloģija. *Kūdras rūpniecība*, 1989, Nr.2, 120-126 lpp. (krievu val.).
- [16] **Kurzo, B.V., Gaidukēvič, O.M., Žukov, V.K.** Baltkrievijas sapropela ģenēzes, resursu un iegulu apgušanas pētījumi. *Dabas saimniecība*, 2012, Nr.22, 57-66 lpp. (krievu val.).
- [17] **Pidoplizko, A.P., Grišuk, R.I.** Daži rezultāti no Baltkrievijas PSR sapropela nogulumu pētījumiem. *Kūdras un sapropela ķīmija un ģenēze*, 1962, 258-274 lpp. (krievu val.).
- [18] **Pidoplizko, A.P.** *Baltkrievijas PSR ezeru nogulumu.* Minska : Zinātne un tehnika, 1975. 120 lpp. (krievu val.).
- [19] **Lopotko, M.Z.** *Baltkrievijas PSR sapropeli, to ieguve un izmantošana.* Minska : Zinātne un tehnika, 1974. 208 lpp. (krievu val.).
- [20] **Jevdokimova, G., Bukač, O., Tiškovič, A., u. c..** Sapropelu minerālo komponentu agroķīmiska nozīme. *BPSR ZA Vesc.* 1980, Nr.4, 38-42 lpp. (krievu val.).
- [21] **Lopatin, N.V.** *Degizraķeņu veidošanās.* Maskava : Nedra, 1983. 192 lpp. (krievu val.).
- [22] **Brakšs, N.A.** *Sapropela nogulumu un to izmantošanas veidi.* Rīga : Zinātne, 1971. 282 lpp. (krievu val.).
- [23] **Sten, E., Thybo, H., Noe-Nygaard, N.** Resistivity and georadar mapping of lacustrine and glaciofluvial sediments in the late-glacial to postglacial Store Amose basin, Denmark. *Bulletin of the Geological Society of Denmark*, 1996, vol. 43, p. 87-98.
- [24] **Kulkova, M., Mazurkevich, A., Dolukhanov, P.** Chronology and paleoclimate of prehistoric sites in western Dvina – Lovat area or North – Western Russia. *Geochronometria*, 2001, vol. 20, p. 87-94.
- [25] **Janbu, A.D., Paasche, Ö.P., Talbot, M.R.** Paleoclimate changes inferred from stable isotopes and magnetic properties of organic – rich lake sediments in Arctic Norway. *Journal of Paleolimnology*, 2011, vol. 46, p. 29-44. <http://dx.doi.org/10.1007/s10933-011-9512-2>
- [26] **Forel, F.A.** La limnologie, branche de la Géographie. *Comptes Rendue Du Sixième Congrès International de Géographie*, 1895, p 1-4.
- [27] **Štin, S.M.** *Ezeru sapropeli un to kompleksā apgušana.* Maskava : Maskavas Valsts kalnrūpniecības universitāte, 2005. 373 lpp. (krievu val.).
- [28] **Cranwell, P.** Environmental organic chemistry of rivers and lakes, both water and sediments. *Environmental Chemicals*, 1975, vol. 1, p 22-54.
- [29] **Golterman, H.L.** *The chemistry of Phosphate and Nitrogen Compounds in Sediments.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 2004. 284 p.
- [30] **Largin, I.F.** Kūdras un sapropela iegulu īpašības un izpētes metodes. *Rakstu krājums.* Tver : Kaļiņinas Valsts universitāte, 1983, 27-53 lpp. (krievu val.).
- [31] **Dmitrieva, E. D.** *Belgorodas apgabala sapropela ķīmiskais sastāvs un bioloģiska aktivitāte.* Disertācija. Sanktpēterburga : Tulas valsts pedagoģiska universitāte, 2003. 233 lpp. (krievu val.).
- [32] **Potenje, G.** *Sapropelīti.* Petrograde : Naftas un slānekļu saimniecība, 2020. 212 lpp. (krievu val.).
- [33] **Vimba, B.** *Sapropela termiskā šķīdināšana un iegūto produktu ķīmiskais raksturojums.* Disertācija. Rīga: Latvijas Lauksaimniecības Akadēmija, 1956. 170 lpp.
- [34] **Kazakov, E.** Saldūdens sapropelu ģenēze un ķīmiskais raksturojums. *Degizraķeņu institūta raksti*, 1950, Nr.2, 253-266 lpp. (krievu val.).
- [35] **Konoiko, M.** Par ezeru un purvu veidošanos Baltkrievijā. ezeru vēsture. *Saldūdens ezeru pamatproblēmu Vissavienības simpozija raksti*, 1970, Nr.2, 56-67 lpp. (krievu val.).
- [36] **Lopotko, M.Z., Kislov, N.** *Sapropela izmantošana tautsaimniecībā PSRS un ārvalstīs.* Minska : Zinātne un tehnika, 1990. 85 lpp. (krievu val.).
- [37] **Horne, A., Goldman, C.** *Limnology.* 2nd edition. New York : McGraw-Hill Co, 1994. 576 p.
- [38] **Bloesch, J.** Sedimentation and Lake Sediment Formation. *In: The Lakes Handbook: Limnology and limnic ecology.* O'Sullivan, P.E. & Reynolds, C.S. (eds.). A Blackwell Publishing company, 2005, vol. 1, p. 197-229.
- [39] **Niessen, F., Sturm, M.** Die Sedimente des Baldegersees (Schweiz): Ablagerungsraum und Eutrophierungsentwicklung der letzten 100 Jahre. *Archiv für Hydrobiologie*, 1987, Bd. 108, p. 365-378.
- [40] **Stabel, H.** Mechanisms controlling the sedimentation sequence of various elements in prealpine lakes. *In: Chemical Processes in Lakes.* New York : Wiley, 1985, p. 143-167.
- [41] **Allen, A.A., Allen, J.R.** *Basin analysis: principles and applications.* 2nd edition. Malden : Blackwell Publishing Ltd, 2005. p. 560.
- [42] **Nikolajev, D.** *Karbonātu – hāru sapropelis: ķīmiska struktūra un bioloģiska aktivitāte.* Disertācija. Maskava : Maskavas Valsts universitāte, 2003. 161 lpp. (krievu val.).
- [43] **Bronšteins, Z.** *Saldūdeņu Ostrecoda. Vēžveidīgie. PSRS fauna*, sēj.2, Nr.1. Maskava : PSRS Zinātņu Akadēmija, 1941, 340 lpp. (krievu val.).
- [44] **Kazakov, E., Proņina, M.** Dažādas formas planktona un bentosa ķīmiskais sastāvs. *Sapropela ģenēzes laboratorijas raksti*, 1941, Nr.2, 49-57 lpp. (krievu val.).
- [45] **Lopotko, M., Jevdokimova, G., Bukač, O. u. c.** *Baltkrievijas PSR sapropela nogulumu kadastrs 6-os sējumos.* Minska : Zinātne un tehnika, 1983, 118 lpp. (krievu val.).
- [46] **Golterman, H., Clymo, K., Clymo, R.** *Physiological limnology.* Amsterdam : Elsevier Scientific Publishing Company, 1975. 480 p.
- [47] **Butz, S.D.** *Science of Earth System.* 2nd edition. New York : Thomson Delmar Learning, 2002. 655 p.
- [48] **Juday, C.** The summer standing crop of plants and animals in four Wisconsin lakes. *Transactions of the Wisconsin Acadademy Science, Arts and Letters*, 1942, vol. 34, p. 103-135.
- [49] **Agrawal, S.C.** *Limnology.* New Delhi: A.P.H. Publishing, 1999. 150 p.
- [50] **Closs, G., Downes, B. & Boulton, A.** *Freshwater ecology: a scientific introduction.* Malden [etc.], A Blackwell Publishing company, 2004. 204 p.
- [51] **Moriarty, D.J.W., Pullin, R.S.V.** (eds.) *Detritus and Microbial Ecology in Aquaculture.* Manila : International center for living aquatic resources management, 1987. 425 p.
- [52] **Perfiljev, B.** Dūņaino ezeru nogulumu mikrozonālā uzbūve un to pētījumu metodes. *Zinātne*, 1972, 6-16 lpp. (krievu val.).
- [53] **Šļapņikov, D.S., Demuk I.G., Okuņev P.V.** *Urālas ezera nogulumu minerālie komponenti.* Sverlovskā : Urālas Valsts universitāte, 1990. 104 lpp. (krievu val.).
- [54] **Bakšeev, V.N.** *Sapropelis vakar, šodien un rīt: monogrāfija.* Tjumeņa : Reģionāla informacionāla aģentūra, 1998. 80 lpp. (krievu val.).
- [55] **Ponomareva, M.A.** *Tatarstānas sapropela ķīmiskais sastāvs un izmantošanas virzieni.* Disertācija. Tula : Tulas valsts pedagoģiska universitāte, 2002. 245 lpp. (krievu val.).
- [56] **Kurmiševa, N.A.** *Sapropela mēslu ietekme uz humusu stāvokli velēnu gleja un velēnu podzolaugsnēm.* Disertācijas kopsavilkums. Maskava : Maskavas Valsts universitāte, 1988. 20 lpp. (krievu val.).
- [57] **Filipov, J.N., Taraskina, D.V., Žuravļov, A.I.** Dažu peloidu organiskās frakcijas antioksidējošais mehānisms. *Kurortoloģijas jautājumi.*, 1969; Nr.1, 17-21 lpp. (krievu val.).

- [58] **Poznjak, V., Rakovskij, V.** Baltkrievu PSR sapropeļa organiskās masas ķīmiskais sastāvs. *Kūdras un sapropeļa ķīmija un ģenēze*, 1962, 298–308 lpp. (krievu val.).
- [59] **Orlov, D., Birjukova, O., Suhanova, N.** Krievijas Federācijas augšņu organiskās vielas. *Augsnes zinātne*, 1996, Nr.2, 197–207 lpp. (krievu val.).
- [60] **Goncov, A., Loženicina, V.** Dažādu sapropeļu īpašības. *Cietās degvielas ķīmija*, 1984, Nr.1, 67–74 lpp. (krievu val.).
- [61] **Lištvan, M., Lopotko, M.** Sapropeļa izmantošana tautsaimniecībā. *Sapropeļa izmantošanas problēmas tautsaimniecībā*, 1976, 5–13 lpp. (krievu val.).
- [62] **Karpukhin, A.** Complex Compounds of Humic Substances with heavy Metals. *Eurasian Soil Science*, 1998, vol. 31, N 7, p. 764–771.
- [63] **Shinkarev, A., Lyutakhina, N., Gnevashov, S.** Separation of the groups of humic substances upon recurrent treatment with Solvents. *Eurasian Soil Science*, 2000, vol. 33, N 7, p. 709–712.
- [64] **Kirejčeva, L., Hohlova, O.** Sapropeļu nogulumu humusvielu elementu sastāvs. *Augsnes zinātne*, 2000, Nr.9, 1–376 lpp. (krievu val.).
- [65] **Lopotko, M., Jevdokimova, G., Kuzmickij, P.** *Sapropeļi lauksaimniecībā*. Minska : Zinātne un tehnika, 1992. 215 lpp. (krievu val.).
- [66] **Rakovskij, V.E., Edelštein, N.** Fenolu sadalīšana ar fenolāta frakcionētu neutralizācijas metodi. *Kūdras institūta raksti*, 1939, Nr.19. 102–133 lpp. (krievu val.).
- [67] **Dunning, H.N.** Geochemistry of organic pigments. *In: Organic geochemistry*. Breger, I.A. (ed). New York : Pergamon Press, 1963, p. 367–430.
- [68] **Hajibrahim, S., Tibbetts, P., Watts, C., et al.** Analysis of carotenoid and porphyrin pigments of geochemical interest by high-performance liquid chromatography. *Analytical chemistry*, 1978, vol. 50, N 4, p. 549–553. <http://dx.doi.org/10.1021/ac50026a004>
- [69] **Trask, P., Wu, C.** Does Petroleum form in sediments at time of deposition. *Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists*, 1930, vol. 14, p. 1451–1463.
- [70] **Anderson, P., Vimba, B.** Karotīna saturs un bioloģiskā vērtība Latvijas sapropeļos. *Sverlovskas lauksaimniecības institūta raksti*, 1968, sēj.17, 17–24 lpp. (krievu val.).
- [71] **Lederer, E.** Carotenoids of the cryptogams. *Bulletin Societas Chimie at Biologiae*, 1938, vol. 20, p. 611–634.
- [72] **Karrer, P., Jucker, E.** *Carotenoids*. New York : Elsevier Publishing Company, 1950. 384 p.
- [73] **Vallentyne, J.** Carotenoids in a 20,000-year-old sediments from Searles Lake, California. *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 1957, vol. 21, p. 245–250.
- [74] **Fox, D., Anderson, L.** Pigments of marine muds. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 1941, vol. 27, p. 333–337. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.27.7.333>
- [75] **Lopotko, M., Jevdokimova, G.** *Sapropeļi un produkti uz to bāzes*. Minska : Baltkrievijas PSR Zinātņu akadēmija, 1986. 61 lpp. (krievu val.).
- [76] **Stpanova, E.** *Sapropeļu huminskābju ķīmiskās īpašības un uzbūve*. Disertācija. Maskava : Maskavas Valsts universitāte, 1996. 101 lpp. (krievu val.).
- [77] **Letunova, S.V.** Dažādu veidu aktinomicētu un baktēriju, kas izdalītas no kobalta bioķīmiskām provincēm, vitamīna B12 veidošana. *Mikrobioloģija*, 1958, sēj.27, Nr.4, 1–12 lpp. (krievu val.).
- [78] **Pakarskite, K., Konopkajte, S., Dačulite, J.** Vitamīna B12 likumsakarīgs izvietoējums sapropeļa nogulumos Lietuvas ezeros un riboflavīna, folijskābes un tiamīna saturs tajos. *Sverlovskas lauksaimniecības institūta raksti*, 1962, Nr.10, 193–200 lpp. (krievu val.).
- [79] **Kazak, V.A., Provotorov, S.I., Tabakov, N.A., u. c.** *Sapropeļa izmantošanas rekomendācijas lopkopībā un putnkopībā*. Krasnojarska, 1975. (krievu val.).
- [80] **Verzilin, A.** Vispārīgās likumsakarības ezeru veidošanā un attīstībā. *Ezeru vēstures izpētes metodes*, 1986, sērija: PSRS ezeru vēsture, 57–63 lpp. (krievu val.).
- [81] **Fedotov, A.** Sapropeļu mikroelementu sastāvs. *Sapropeļa izmantošanas problēmas tautsaimniecībā*, 1976, 97–104 lpp. (krievu val.).
- [82] **Kuzņecov, S.** *Ezeru mikrofloras un tās ģeokīmiskā darbība*. Ļeņingrada : Nauka, 1970. 440 lpp. (krievu val.).
- [83] **Marčenko, L., Kapuļņikova, Z.** Baltkrievijas ezeru sapropeļu mikrobioloģiskie pētījumi. *Sapropeļa izmantošanas problēmas tautsaimniecībā*, 1976, 74–81 lpp. (krievu val.).
- [84] **Sturis, T.** *Kaņiera un Babītes ezera sapropeļa dūņu mikrofloras pētījumi*. Disertācijas kopsavilkums. Rīga : Latvijas eksperimentālas un klīniskās medicīnas institūts, 1965. (krievu val.).
- [85] **Šurzo, B.V.** *Sapropeļa veidošanās un izmantošanas problēmu likumsakarības*. Minska: Bel.nauka, 2005. 224 lpp. (krievu val.).
- [86] **Humātu reagenti**. Kalnrūpniecības enciklopēdija. [Skatīts 19.12.2013]. Pieejams: <http://www.mining-enc.ru/g/gumatnye-reagenty/>
- [87] **Širokov, V.A.** *Slāņsecīga sapropeļa ieguve un tā izmantošana Piemūras apūdeņotās zemēs*. Disertācija. Blagoveščenska : Tālo Austrumu Valsts agrārā universitāte, 2003. 182 lpp. (krievu val.).
- [88] **Brakšs, N., Miļins, N.** Pētījumi par sapropeļa kompleksas izmantošanas iespējām ar hidrolīzes un saustvaices metodi. *LLA raksti*, 1960, Nr. IX. 471 – 479.lpp. (krievu val.).
- [89] **Gružāns, A.** Sapropeļbetons. *LLA raksti*, 1960, Nr.9, 547 – 561.lpp.
- [90] **Gružāns, A.** Sapropeļbetons. *Latvijas PSR Zinātņu Akadēmijas vēstis*, 1958, Sēj.12, Nr.137, 163 – 170.lpp.
- [91] *Sapropeļa ārstnieciskā dūņas*. Baltkrievijas Republikas tehniskie noteikumi 100217946.001-2000. 12 lpp. (krievu val.).

**Karina Stankeviča:** *Mg.sc.env.*, Ph.D. student in Environmental Science at the University of Latvia, Faculty of Geography and Earth Science. Professional Bachelor of Landscape Architecture and Planning, Latvian University of Agriculture in 2009. Master degree in Environmental Science earned at the University of Latvia in 2011. The major field of study: water objects in landscape, limnic freshwater ecosystem, lake's organic rich sediments properties and possibilities of use, humic substances. Address: University of Latvia, Raiņa bulv. 19, LV-1586, Riga, Latvia. E-mail: karina.stankevica@lu.lv

**Māris Kļaviņš:** *Dr.hab.chem.*, Professor at the University of Latvia, Faculty of Geography and Earth Sciences, Department of Environmental Sciences. M. Kļaviņš obtained his scientific degree in chemistry of biologically active compounds at the Moscow State University in 1986, but a habilitation degree at the University of Latvia in 1994. He is a member of Academy of Sciences of Latvia, coordinator of International Humic Substances Research Society (IHSS). Research interests are related to studies of natural organic matter, wetlands and bogs and environmental pollution problems. Address: University of Latvia, Raiņa bulv. 19, LV-1586, Riga, Latvia.

### Karina Stankeviča, Māris Kļaviņš. Sapropel and Its Application Possibilities

The aim of the paper is to consider sapropel classification, formation, properties and possibilities of use. Theoretical framework of the research is established by analysing literature on sapropel. Sediments accumulate during the lake existence period and they are formed from the remains of organisms living in the lake and its surroundings, and mineral material supplied to the lake from the catchment area and atmosphere. In the freshwater bodies located in the temperate forested areas, usually sediments with high organic matter content (over 15%) are formed from aquatic plants, mainly fresh water algae, plankton and benthic organisms and transformed under influence of bacteria, and mixed with mineral components. Sapropel has a finely dispersed and plastic structure; the colour – from light pink to dark brown. Usually sapropel is divided into four big types: organic, silicate, carbonatic and mixed. Each sapropel type is subdivided. Latvia has 2256 lakes with a total area of 1001 km<sup>2</sup> or 1.5% of the country. The total area of mires is 6401 km<sup>2</sup> or 9.9% of Latvia. Most lakes and bogs contain sapropel deposits. The State Geology Office of Latvia states that there are more than 750 million m<sup>3</sup> of lake sapropel resources and about 1.5 billion m<sup>3</sup> of sapropel reserves. There are about 2 billion m<sup>3</sup> of joint sapropel resources in Latvia. It is suggested that sapropel can be used in various fields. In some countries, for instance, in Russia, Byelorussia and Ukraine, sapropel is used in balneology, livestock farming, agriculture, cosmetology and other fields. However, nowadays the products made on the basis of peat are more popular; therefore, the studies of the organic sediments of lakes are rare.

**Карина Станкевича, Марис Клявинш. Сапропель и возможное его использование**

Целью обзорной статьи является оценка классификации сапропеля, его формирования, состава и возможного использования. Теоретической основой работы являлся литературный обзор оценки знаний о сапропеле в других странах. На протяжении всего существования озера в нем накапливаются донные отложения. Они образуются из остатков живых организмов, живущих в озере и на территории его водосбора. В пресноводных водоемах, расположенных в лесных районах умеренного климата, обычно образуется сапропель - отложения с высоким содержанием органических веществ (более 15%), которые образуются из останков водных растений, главным образом водорослей, планктона и бентоса, которые преобразуются под влиянием бактерий и смешиваются с минеральными компонентами. Сапропель обладает дисперсной и пластичной структурой; цвет от светло-розового до темно-коричневого. Обычно выделяют 4 типа сапропеля: органический, силикатный, карбонатный и смешанный. Каждый из типов подразделяется на виды. На территории Латвии насчитывается 2256 озер с общей площадью 1001 км<sup>2</sup>, что является 1,5% территории страны. Общая площадь болот 6401 км<sup>2</sup> или 9,9% территории Латвии. В большей части этих озер и болот можно найти сапропелевые залежи. Замеры геологического фонда Латвии свидетельствуют, что ресурсы озерного сапропеля составляют 750 миллионов м<sup>3</sup>, в болотах – 1,5 миллиарда м<sup>3</sup>. Общее количество сапропеля в Латвии составляет 2 миллиарда м<sup>3</sup>. Сапропель может быть использован во многих областях народного хозяйства. В таких странах как Россия, Белоруссия и Украина, сапропель используется в бальнеологии, животноводстве, сельском хозяйстве, косметологии и других отраслях народного хозяйства. Однако продукты на основе сапропеля, уступают по популярности продуктам на основе торфа, что объясняется недостаточной изученностью данного ресурса.