

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta chemická

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Brno, 2023

Marina Mongolova



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA CHEMICKÁ

FACULTY OF CHEMISTRY

ÚSTAV CHEMIE A TECHNOLOGIE OCHRANY ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

INSTITUTE OF CHEMISTRY AND TECHNOLOGY OF ENVIRONMENTAL PROTECTION

EKOLOGICKÝ STAV JEZERA BAJKAL

ECOLOGICAL STATUS OF LAKE BAIKAL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Marina Mongolova

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. MVDr. Helena Zlámalová Gargošová,
Ph.D.

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Číslo práce: FCH-BAK1887/2022 Akademický rok: 2022/23
Ústav: Ústav chemie a technologie ochrany
životního prostředí
Studentka: **Marina Mongolova**
Studijní program: Environmentální chemie, bezpečnost
a management
Studijní obor: bez specializace
Vedoucí práce: **doc. MVDr. Helena Zlámalová**
Gargošová, Ph.D.

Název bakalářské práce:

Ekologický stav jezera Bajkal

Zadání bakalářské práce:

1. Vypracovat literární rešerši zahrnující charakteristiku jezera Bajkal (fyzikálně–geografické a biologické vlastnosti).
2. Posoudit stav jezera Bajkal v historickém kontextu klimatických změn a antropogenních vlivů.
3. Na základě výsledků současných analýz vytipovat polutanty a antropogenní aktivity, které nejvíce ovlivňují kvalitu vody a navrhnout řešení vedoucí ke zlepšení stavu.

Termín odevzdání bakalářské práce: 22.5.2023:

Bakalářská práce se odevzdává v děkanem stanoveném počtu exemplářů na sekretariát ústavu. Toto zadání je součástí bakalářské práce.

Marina Mongolova
studentka

doc. MVDr. Helena Zlámalová
Gargošová, Ph.D.
vedoucí práce

vedoucí ústavu

V Brně dne 1.2.2023

prof. Ing. Michal Veselý, CSc.
děkan

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce bylo prozkoumat ekologický stav jezera Bajkal. Práce se zabývá hlavními problémy souvisejícími s vlivem lidské činnosti na jezero. Během studie byly analyzovány údaje o hydrochemii jezera a jeho přítoků a byly přezkoumány vědecké práce o ekologickém stavu Bajkalu. Na základě získaných údajů byly identifikovány hlavní typy znečišťujících látek a místa jejich koncentrace. Výsledkem této práce bylo lepší pochopení stavu jezera Bajkal a identifikace jeho hlavních problémů.

ABSTRACT

The aim of this bachelor thesis was to study the ecological status of Lake Baikal. The research focuses on the main problems related to the impact of human activity on the lake. During the study, data on the hydrochemistry of the lake and its tributaries were analysed and scientific papers on the ecological status of Lake Baikal were reviewed. Based on the data were identified the main types of pollutants and places of their concentration. As a result of this work was obtained a more complete picture of the condition of Lake Baikal and were identified its main problems.

KLÍČOVÁ SLOVA

Ekologický stav, jezero Bajkal, znečišťující látky, Selenga, Barguzin, biodiverzita, ekosystém.

KEYWORDS

Ecological status, Lake Baikal, pollutants, Selenga, Barguzin, biodiversity, ecosystem.

MONGOLOVA, Marina. *Ekologický stav jezera Bajkal*. Brno, 2023. Dostupné také z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/146915>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta chemická, Ústav chemie a technologie ochrany životního prostředí. Vedoucí práce Helena Zlámalová Gargošová.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a že všechny použité literární zdroje jsem správně a úplně odcitovala. Bakalářská práce je z hlediska obsahu majetkem Fakulty chemické VUT v Brně a může být využita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího bakalářské práce a děkana Fakulty chemické VUT v Brně.

podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Zvláštní poděkování bych ráda vyjádřila své vedoucí práce, paní doc. MVDr. Heleně Zlámalové Gargošové, Ph.D., za její vedení a nekonečnou trpělivost, rady a čas. Ráda bych také poděkovala pracovníkům Bajkalské pobočky Ruské akademie věd za jejich poradenství během vypracovávání této práce

OBSAH

ABSTRAKT.....	3
ÚVOD.....	7
1. Hlavní charakteristika jezera Bajkal	8
1.1. Obecné informace o jezeře Bajkal	8
1.2. Reliéf, geologická stavba dna a klima bajkalské oblasti	9
1.3. Hydrologie a hydrochemie vod.....	10
1.4. Právní aspekty ochrany jezera Bajkal	11
2. Posouzení stavu jezera Bajkal v kontextu klimatických změn a antropogenních vlivů.....	13
2.1. Rozdělení antropogenních vlivů na ekosystém jezera Bajkal podle typu ovlivnění.	13
2.2. Chemické znečištění jezera	14
2.3. Fyzikální dopady na jezero.....	14
3. Význam přítoků při vytváření chemického složení a hydrochemického režimu jezera Bajkal.....	15
3.1. Hodnocení množství vody přitékající do Bajkalu a její distribuce v povodí Bajkalu v závislosti na sezónních a víceletých výkyvech.	15
3.2. Monitorovací stanice, odběr vzorků.....	16
4. Vstup znečišťujících látek s říčním odtokem do jezera Bajkal v rozpuštěné a suspendované formě	16
4.1. Posouzení dynamiky odtoku velké napájecí oblasti	17
4.1.1. Dynamika odtoku vody řeky Selenga	17
4.1.2. Dynamika vodních toků řek Barguzin, Turka, Horní Angara a Tyja.....	18
4.2. Vstup znečišťujících látek s říčním odtokem	20
4.2.1. Přehled hodnot přítoků znečišťujících látek přes velkou napájecí oblast	20
4.2.2. Přehled hodnot znečišťujících látek z malých řek	29
5. Hlavní vědecké studie ekologického stavu jezera Bajkal	36
5.1. Studie hydrochemického složení řek v povodí jezera Bajkal.....	36
5.2. Studie vodních stavů přítoků jezera Bajkal	36
5.2.1. Hydrochemické studie řeky Selenga	36
5.2.2. Hydrochemické studie řeky Barguzin	38
5.2.3. Hydrochemie řek Horní Angary a dalších řek	38
5.3. Změny ve složení vody v ústích řek na východním pobřeží Středního Bajkalu	38
5.4. Studie chemického složení říční vody v Bajkalu	39

5.5.	Analýza chemické interakce složek vody jezera Bajkal	40
5.6.	Studie biogenních znečišťujících látek vstupujících do jezera Bajkal a řeky Selenga 40	
6.	Výsledky analýzy výzkumné práce	41
7.	Literatura.....	43
	Seznam použitých zkratek	47

ÚVOD

Jezero Bajkal je jedno z největších a nejhlubších jezer na světě, nacházející se na území Ruska. Je také největší přírodní sladkovodní nádrž na planetě. Celkově obsahuje asi 20 % veškeré dostupné sladké vody na Zemi a je domovem mnoha druhů zvířat a rostlin, které se nevyskytují nikde jinde na světě.

Přes svou krásu a jedinečnost je ekologický stav Bajkalu v posledních letech stále více problematický. Klimatické změny, znečištění vody v důsledku antropogenních aktivit a další faktory negativně ovlivňují jezero a jeho ekosystém. Aby byl zachován tento bohatý přírodní zdroj, je nutné provést komplexní výzkum ekologického stavu jezera, identifikovat problémy a hrozby, analýzu současných metod monitorování a navrhnout opatření k ochraně a zachování Bajkalského jezera.

Cílem této bakalářské práce je výše uvedené, tj. studium ekologického stavu Bajkalského jezera, identifikace hlavních problémů a analýza výsledků moderních monitorovacích metod. Na základě toho i návrh opatření k ochraně a zachování tohoto bohatého přírodního zdroje. Pro tyto účely budou posuzovány hlavní faktory ovlivňující ekologický stav jezera, jako je znečištění vody, klimatické změny, antropogenní vliv a další.

V průběhu práce byla analyzována rozsáhlá odborná literatura a byly vedeny osobní konzultace s odborníky v oblasti ekologie.

Zkoumání ekologického stavu Bajkalu je důležitým úkolem, protože Bajkal je jedním z největších zdrojů sladké vody na planetě. Jeho ekologický stav hraje důležitou roli při ochraně přírodních zdrojů a zachování biologické rozmanitosti regionu.

1. Hlavní charakteristika jezera Bajkal

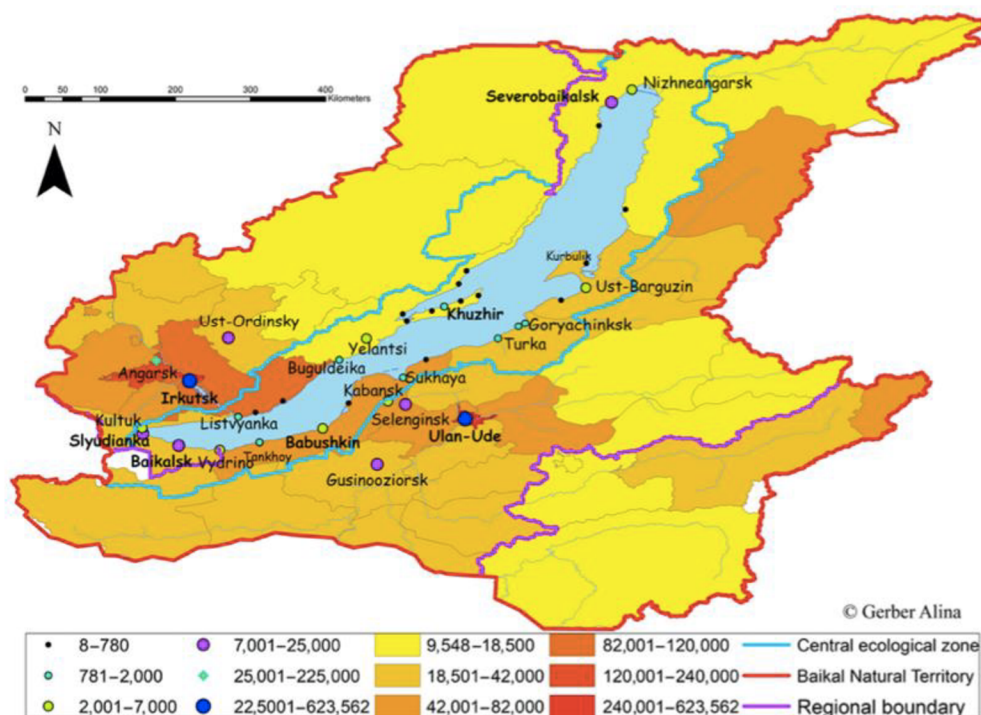
1.1. Obecné informace o jezeře Bajkal

Bajkal, jezero na jihu východní Sibíře v Rusku, je nejhlubší a největší jezero na světě, pokud jde o objem sladké vody. Je zařazeno do seznamu světového dědictví.

Plocha Bajkalu v přírodních podmínkách (při průměrné výšce hladiny 455,5 m) činila 31,7 tis. km², délka je 636 km, šířka až 79 km. Objem vodní masy je 23,6 tis. km³ (asi 20 % světových a přes 85 % ruských povrchových zásob sladké vody). Průměrná hloubka je 744 m a maximální hloubka dosahuje 1642 m) [5].

Po výstavbě Irkutské vodní elektrárny na řece Angaře v roce 1956 je Bajkal součástí Irkutské přehrady a průměrná hladina jezera se podle různých zdrojů zvýšila o 0,8-1,4 m a začala být určována především zájmy hydroenergetiky. Po vytvoření Bratské a Ust-Ilimské nádrže tvoří Irkutská nádrž s nimi konjugovanou kaskádu. Hladinový režim Bajkalu je regulován na základě Pravidel využívání vodních zdrojů kaskády nádrží Angarské MVE (Malá vodní elektrárna) z roku 1988 a nařízení vlády Ruské federace ze dne 26. 3. 2001. č. 234, který omezil maximální hladinu na 457 m a minimální na 456 m. Při maximální hladině je plocha Irkutské (Bajkalské) nádrže 32,96 tis. km² s využitelným objemem 31,5 km³ [12].

Pobřeží je mírně klikaté, jeho délka je cca. 2100 km. Největší zálivy jsou Barguzinsky, Chivyrkuisky, Proval; zátoka – Sosnovka. Na Bajkalu je 22 ostrovů, největší jsou Olkhon a Bolshoy (9,4 km²). Olkhon odděluje od západního pobřeží velký úsek vodní plochy – Malé moře [12].



Obr. 1 Hustota zalidnění Bajkalské přírodní oblasti podle správních obvodů a sídel (v počtu obyvatel).

Na břehu Bajkalu se nachází několik měst, například Slyudyanka, Bajkalsk, Babuškin a Severobajkalsk. Hustota zalidnění ve městech na břehu Bajkalu je různá (obr. 1). Například ve městě Slyudyanka, které se nachází na jižním břehu jezera, žije asi 20 tisíc obyvatel. Přitom

ve městě Bajkalsk, který se nachází na severním břehu, má asi 13 tisíc obyvatel. Přitom hustota zalidnění na březích Bajkalu není vysoká a činí asi 5-6 lidí na km² [15].

Co se týče průmyslu na březích Bajkalu, existuje mezi městy několik rozdílů. V Severobajkalsku je to nejen těžba zlata a rudných kovů, ale také strojírenský průmysl. Vyrábějí se zde například náhradní díly pro důlní stroje a zařízení. V Bajkalsku je kromě těžby rozvinutá také stavba lodí a rybolov. V dalších městech, jako jsou Slyudyanka a Babuškin, je průmysl méně rozvinutý, ale je zde mnoho malých podniků vyrábějících suvenýry a řemeslné výrobky [15].

Bajkalská fauna a flóra jsou fascinující, bohaté a unikátní. Je to neuvěřitelně rozmanitý ekosystém, který stojí za pozornost. V jezeře se vytvořil komplex řas, z nichž 195 je endemických, více než 50 % druhů organismů obývajících Bajkal je endemických. Nejrozmanitější je mělkovodní fauna, zahrnující hlavně houby, červy, koryše a měkkýše. V mikroplanktonu se vyskytují bičíkovci, nálevníci a vířníci, kteří tvoří základ potravy pro dravé ryby. Mezoplankton tvoří koryši, včetně endemického epišura (*Epischura baikalensis*), který slouží jako hlavní potrava pro pelagické ryby. Makroplankton zahrnuje endemického koryše druhu *Gammarus macrohectopus* [13].

Monitoring planktonního společenstva ukázal několik trendů ve změnách jeho struktury. Aktivní uvolňování tepla a živin z bahenních sopek, změna klimatu a antropogenní vliv vedly k proměně hydrobiologického režimu jezera. Tyto změny vedly k masivnímu rozvoji vláknitých zelených řas (spirogyry), modrozelených a kanadských řas v pobřežních oblastech, které jsou příčinou výskytu vodního květu. Tyto změny však nemusí být nutně škodlivé pro ekosystém jezera, a mohou dokonce vést k vzniku nových druhů a nových vztahů v rámci ekosystému [13].

1.2. Reliéf, geologická stavba dna a klima bajkalské oblasti

Bajkalská propadlina (stárí asi 25 milionů let) je ústředním bodem bajkalského riftového systému, který se rozšiřuje rychlostí asi 4,5 mm ročně. Jsou zde rozsáhlé stopy po bývalé sopečné činnosti. Selengská dnová vyvýšenina a podmořský Akademický hřbet s hloubkou nad hřebeny menší než 400 m rozdělují jezerní pánev na 3 hluboké části – jižní, střední a severní. Na dně Bajkalu se ve střední a jižní části nacházejí jezerní sedimentární sekvence o mocnosti až 7-7,5 km. Bajkal je jediným sladkovodním útvarem, který ve svých sedimentech obsahuje ložiska hydrátů metanu. V jižní a střední části jezera se metan neustále uvolňuje ze spodních sedimentů do vodního sloupce. Rozšířený je bahenní vulkanismus (např. v oblasti delty řeky Selenga, poblíž ostrova Olchon) [2].

Bajkal se nachází téměř ve středu Asie a je unikátním ekosystémem s drsným, ostře kontinentálním podnebím. Rozsáhlá vodní plocha jezera však má na klima oblastí podél jeho břehů zmírňující vliv. Bajkal je domovem mnoha živočišných a rostlinných druhů, které jsou tomuto klimatu přizpůsobeny [1].

Průměrné lednové teploty na Bajkale jsou -17 °C a červencové 16 °C. Na jihu Bajkalu se však teplota může v závislosti na roční době lišit o ± 4-6 °C. Množství srážek se pohybuje od 200 do 350 mm ročně ve střední a severní části jezerní oblasti a kolem 400 mm v jižní části. Na východním pobřeží mohou srážky dosáhnout až 1 000 mm ročně, zatímco v povodí jezera je to asi 400 mm ročně [11].

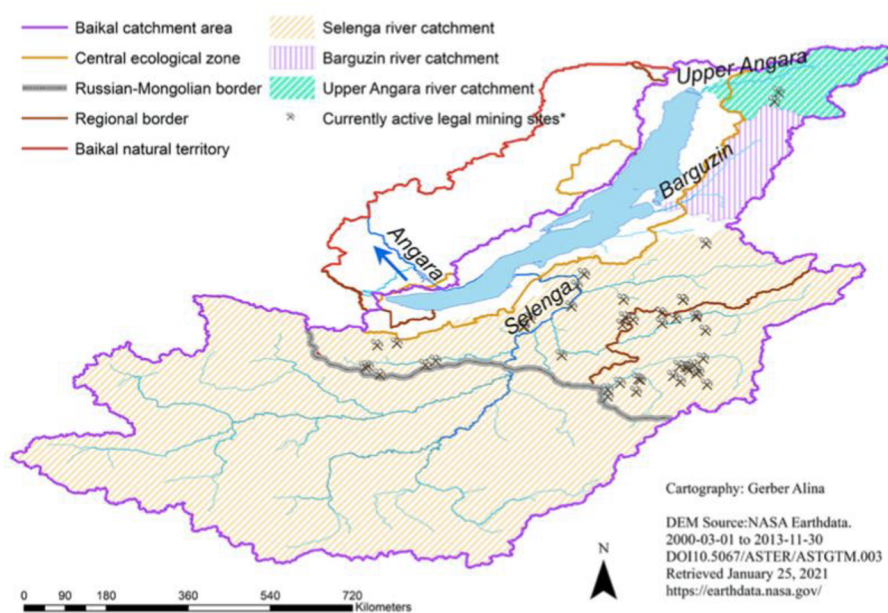
Bajkal je známý svým složitým povětrnostním systémem, který hraje důležitou roli při regulaci klimatu v oblasti. Zejména koncem podzimu a začátkem zimy, kdy západní a severozápadní vítr může dosahovat rychlosti až 40 m/s [1].

Jezero má neobvyklý teplotní režim. V hloubkách do 200-300 metrů dochází ke stratifikaci teploty, která se mění od přímé v létě a na podzim až po inverzní v zimě a na jaře. Níže se teplota s hloubkou vždy snižuje. Od ledna do května je jezero pokryto ledem. Ve 20. století se průměrná teplota vody v povrchové vrstvě zvýšila o 1 °C v důsledku zvýšení průměrné roční teploty vzduchu na Bajkale. Jižní část Bajkalu začala zamrzat o 11 dní později (18. ledna) a byla bez ledu o 7 dní dříve (3. května) než na začátku 20. století [3].

Od začátku 21. století se Bajkal vyznačuje rostoucími teplotami a zápornými letními srážkovými anomáliemi v jižní části povodí. V roce 2014 se přítok vody do Bajkalu snížil na 68 % průměrného ročního přítoku a v letech 2015 a 2016 tento deficit přetrvával. Rozvoj hydroenergetiky na toku řeky Selenga a jejích přítocích, stejně jako rozšiřování zavlažované zemědělské plochy v Mongolsku, by mohly zapříčinit další rozvoj deficitu vody v Bajkalu a vést k potížím s udržení jeho hladiny na ekologicky přijatelné úrovni [17].

1.3. Hydrologie a hydrochemie vod

Povodí Bajkalu má dobře rozvinutou říční síť, do jezera se vlévá více než 300 řek, které tvoří 82 % jeho vodní bilance. Atmosférické srážky hrají významnou roli při napájení většiny přítoků Bajkalu. Povodí Bajkalu má rozlohu 541 000 km² (31 500 km² bez vodní plochy Bajkalu). Na území Ruska se nachází 240,5 tis. km² povrchového a podzemního povodí. Zbytek povodí (300,5 tis. km²) se nachází na území Mongolska. Do jezera Bajkal se vlévá přeshraniční řeka Selenga, která pramení v Mongolsku a na ruském území protéká v délce 409 km (při celkové délce 1024 km). Plocha povodí Selengy je 447,06 tis. km², z toho 148,06 tis. km² na území Ruska (obr. 2). Selenga je napájena četnými přítoky, z nichž největší jsou Džida, Temnik, Čikoj, Chilok a Uda. Selenga přivádí do Bajkalu v průměru asi 30 km³ vody ročně, což je asi polovina celkového přítoku do jezera, a je hlavním dodavatelem suspendovaných a rozpuštěných látek včetně znečišťujících látek. Kvalitu vody řeky Selenga a jejích přítoků sleduje Zabajkalská hydrometeorologická služba (ZHS) [3].

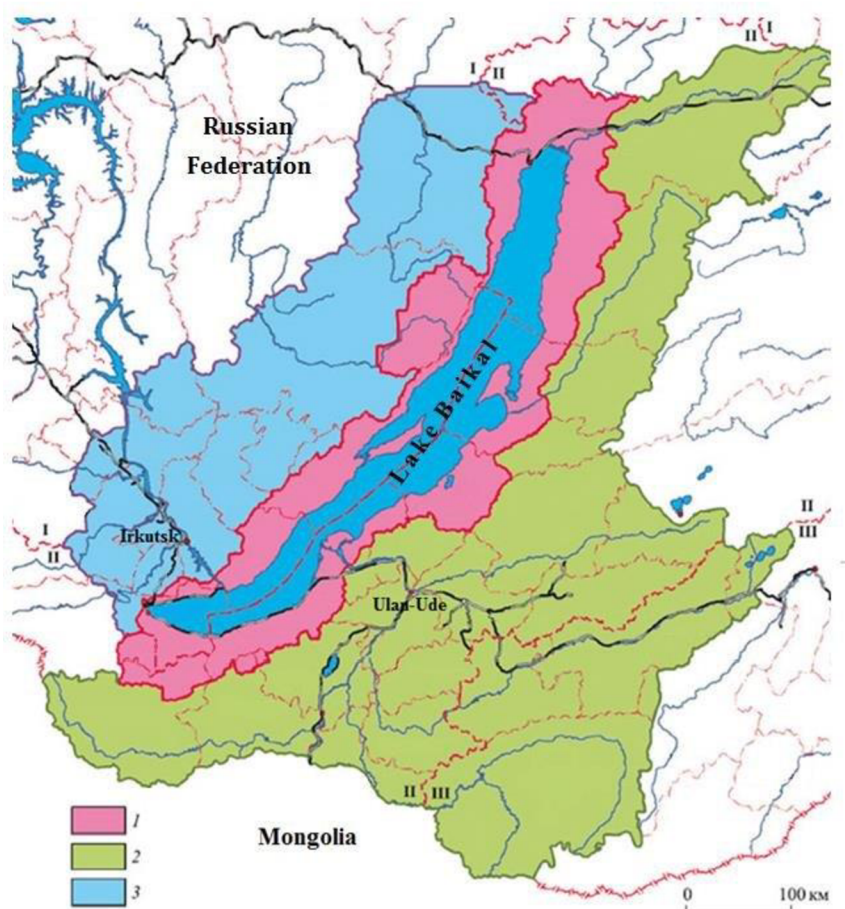


Obr. 2 Povodí jezera Bajkal a jeho hlavních přítoků.
*Současné aktivní těžební lokality v ruské části povodí Bajkalu

1.4. Právní aspekty ochrany jezera Bajkal.

Federální zákon "O ochraně Bajkalského jezera" byl přijat v roce 1999 v Rusku za účelem ochrany Bajkalského jezera, které je jedním z největších a nejhlubších jezer na světě [45] (*Federální zákon Ruské Federace ze dne 1. května 1999 N 94-FZ o ochraně jezera Bajkal*).

Tento zákon definoval Bajkalské přírodní území (BPU), které zahrnuje 1. Centrální ekologickou zónu (CEZ), 2. Ochranou zónu (OZ) a 3. Zónu atmosférického vlivu (ZAV) (Obr. 3 ekologické zóny jsou označeny červenou, zelenou a modrou barvou). Centrální ekologická zóna odpovídá ploše světového dědictví, která byla UNESCO uznána v roce 1996. Tento zákon také zahrnuje čtyři městské obvody na břehu jezera [46].



Obr. 3 Bajkalské přírodní území

V souladu s tímto zákonem má ruská vláda právo vydávat tři nejdůležitější nařízení.

- První nařízení - "Seznam omezení" - omezuje, které průmyslové odvětví a způsoby využití půdy jsou povoleny na území, které odpovídá ploše CEZ.
- Druhé nařízení - "Standards pro přípustné dopady na unikátní ekosystém jezera Bajkal" omezuje vliv životního prostředí a dalších důležitých způsobů využití půdy, ale zejména omezuje koncentraci znečišťujících látek ve vypouštěných odpadních vodách a vymezuje zakázané toxické látky.

- Třetí nařízení - "O maximálních a minimálních hranicích kolísání hladiny vody v Bajkalském jezeře" - se snaží zabránit špatnému hospodaření s vodními zdroji Bajkalského jezera prostřednictvím operací Irkutské vodní elektrárny.

2. Posouzení stavu jezera Bajkal v kontextu klimatických změn a antropogenních vlivů.

Výrazný vliv člověka na jezero Bajkal začal již poměrně dávno. Po mnoho staletí byla tato unikátní přírodní lokalita ovlivňována lidskou činností, která měla v různých dobách různé podoby.

V historickém kontextu lze vyčlenit 5 stadií vlivu. První je předindustriální (do poloviny 19. století), které je popsáno následovně: národy obývající Bajkalskou Sibiř měly na jezero minimální vliv, a to trvalo až do příchodu Rusů v roce 1643. Po této době začaly působit dopady jako rybolov, lesní požáry, těžba dřeva pro palivo, stavební materiál a orba [46].

Jako rané industriální období je označována druhá etapa (konec 19. století – polovina 20. století). Zde se začaly projevovat zásahy, jako je výstavba železnic, průmyslových závodů, přístavů na jezeře a rozvoj lodní dopravy. V této době se také rozvíjelo zemědělství a potravinářství [46].

Třetí fáze industrializace (polovina 20. století) byla poznamenána zvýšenou rybářskou činností během Druhé světové války a výstavbou přehrad pro Irkutskou vodní elektrárnu a Bajkalské celulózky a papírny. V této době došlo k výraznému nárůstu počtu obyvatel a průmyslové výroby [46].

Čtvrtá etapa vlivu na jezero Bajkal, období intenzivnějšího rozvoje regionálního hospodářství v letech 1970-1990, je spojena s intenzivním používáním minerálních hnojiv a pesticidů, znečištěním řeky Selenga, aktivním dopravním využitím jezera, rozvojem ložisek nerostných surovin, výstavbou železničního uzlu Bajkalsko-amurské magistrály, nárůstem počtu obyvatel v regionu a masovou turistikou. To vedlo k vážnému zhoršení ekologické situace v regionu a řada ekologických problémů zůstává akutní dodnes [46].

Pátá a poslední etapa (nejnovější) – znečištění Bajkalu je charakterizována poklesem úrovně znečištění v 90. letech 20. století v důsledku poklesu hospodářské činnosti, ale rozmach neorganizovaného cestovního ruchu, stavební boom na březích jezera a masový rozvoj vodní dopravy zhoršily problémy životního prostředí. Následovalo posílení právního rámce ochrany jezera a zařazení Bajkalu na seznam světového dědictví UNESCO v roce 1996 [46].

2.1. Rozdělení antropogenních vlivů na ekosystém jezera Bajkal podle typu ovlivnění.

Antropogenní vlivy na ekosystém jezera Bajkal se dělí na chemické, fyzikální, biologické a sociální.

Chemické znečištění Bajkalu je způsobeno průmyslovými a domácími emisemi a narušením přirozených chemických procesů. Mezi fyzické faktory patří globální změna klimatu, změny hydrobiologického režimu jezera Bajkal, větrná a vodní eroze. Biologické faktory představují biologické znečištění a poškození druhů. Mezi sociální faktory patří oslabení tradic úcty k přírodě, chudoba obyvatel pobřežních vesnic, nekontrolované odčerpávání přírodních zdrojů, výstavba a rozšiřování rekreačních zařízení a průmyslových podniků, zhoršení činnosti státních orgánů ochrany životního prostředí a nedostatečná environmentální výchova a kultura [46].

2.2. Chemické znečištění jezera

a. Výstavba Irkutské vodní elektrárny.

V letech 1956-1959 byla na řece Angaře postavena přehrada, která zvýšila hladinu vody v jezeře Bajkal o 1 metr. Každoročně se kvůli tomu do Bajkalu vyplaví asi 500 000 tun látek. To mělo negativní dopad na „sory“ - biotop mladých omulů (*lat. Coregonus autumnalis*). V důsledku zvýšení hladiny vody uhynulo mnoho snůšek velkohlavé širokolobky (*lat. Batrachocottus baicalensis*), jehož vejce se mohou vyvíjet pouze v určité hloubce. To byla vážná rána pro populaci omulů, který se živí plůdkem velkohlavé širokolobky. Výstavba kaskády obrovských vodních nádrží na řece Angaře v 50. až 70. letech 20. století ovlivnila klimatický režim regionu. Za poslední století byl v okolí Bajkalu zaznamenán nárůst teploty vzduchu o 1,2 °C, přičemž k největšímu nárůstu teploty došlo v posledních 40 letech. Teplota povrchových vod se ve srovnání se 70. lety 20. století zvýšila o 1,8 °C. K vytvoření ledové pokrývky došlo v průměru o 10 dní později, otlak se otevřel o 15 dní dříve a průměrná tloušťka ledu se snížila o 9 cm. Změnily se také větrné podmínky [46].

b. Výstavba Bajkalské celulózky a papírny

V roce 1966 byla zahájena výstavba Bajkalské celulózky a papírny. Byla považována za klíčovou pro rozvoj ultrazvukového strategického letectví, protože se v ní vyráběly ultrapevné viskózní tkanice. Způsobila však rozsáhlé protesty vědců i veřejnosti, protože vypouštěla do jezera nebezpečné škodliviny. Za 22 let provozu způsobila továrna značné škody na ekosystému jezera. Denní vypouštění více než 200 000 m³ průmyslových odpadních vod vedlo k 50% snížení biomasy zooplanktonu a ke zpomalení růstu a špatným fyziologickým vlastnostem ryb. Systém čištění odpadních vod nebyl schopen zabránit degradaci a ničení jezera Bajkal. V roce 2000 zadala ruská vláda komplexní program reprofilace závodu a sociálního rozvoje města Bajkalsk. V roce 2008 přešel závod na uzavřený vodní cyklus, ale ekologové nevěří, že to vyřeší problém znečištění jezera Bajkal. Na konci roku 2008 na žádost Rosprirodnadzoru (Federální služba pro kontrolu využívání přírodních zdrojů) zastavila papírna výrobu běleného buničitého papíru a výroba neběleného buničitého papíru byla nerentabilní a byla zastavena [47].

2.3. Fyzikální dopady na jezero

a. Lodní doprava a cestovní ruch.

Jednou z nejdůležitějších oblastí ovlivňujících jezero je lodní doprava a cestovní ruch. Historie plavby po Bajkale sahá do počátku 20. století, v té době zde bylo asi 15 lodí a na počátku 21. století se tento počet zvýšil na 300 lodí a 8000 jednotek rybářských lodí, které znečišťují Bajkal ropnými produkty, motorové lodě a hydroplány – kalovými vodami a odpadními vodami z domácností. V důsledku lodní dopravy do Bajkalu každoročně přitéká více než 250 tun ropných produktů, 30 tun fekálních organických látek, 8 tun rozpustných forem dusíku a 3 tuny fosforu, 2,5 tisíce tun odpadků [46].

Druhý největší vliv na ekologický stav jezera má cestovní ruch. Podle různých odhadů navštíví Bajkal každoročně 1,5 až 2 miliony lidí. To způsobuje takové následky, jako je 780 tis.

tun odpadků, 6 tis. tun (suché hmoty) fekálních organických látek, 1,5 tis. tun rozpuštěného dusíku a 0,3 tis. tun fosforu [46].

3. Význam přítoků při vytváření chemického složení a hydrochemického režimu jezera Bajkal

Při posuzování chemického stavu jezera Bajkal může být jedním z hlavních faktorů přítok vody a jeho množství. Jako příklad interakce mezi přítoky a stavem jezera lze uvést, že snížení množství vody přiváděné přítoky může vést ke zvýšení koncentrace látek ve vodě, což je příznivé prostředí pro řasy a další organismy, které mohou být neblahým základem pro život ryb. Důležité je také zohlednit vstup znečišťujících látek s průtokem řeky do jezera Bajkal, který se vyskytuje v rozpuštěné a suspendované formě.

3.1. Hodnocení množství vody přitékající do Bajkalu a její distribuce v povodí Bajkalu v závislosti na sezónních a víceletých výkyvech.

Z Bajkalu vytéká pouze jedna řeka, Angara, ale vlévá se do něj asi 500 řek. Mezi největší přítoky, které jsou zahrnuty do hydrometrických pozorování, patří Selenga, Horní Angara, Barguzin, Turka, Sněžnaja, Tja, Kičera, Goloustnaja, Kika, Tompuda, Buguldeika, Chara-Murin, Anga, Utulik, Sarma, Bolšaja Rečka, Manturicha, Maximicha a Bolšaja Suchaja.

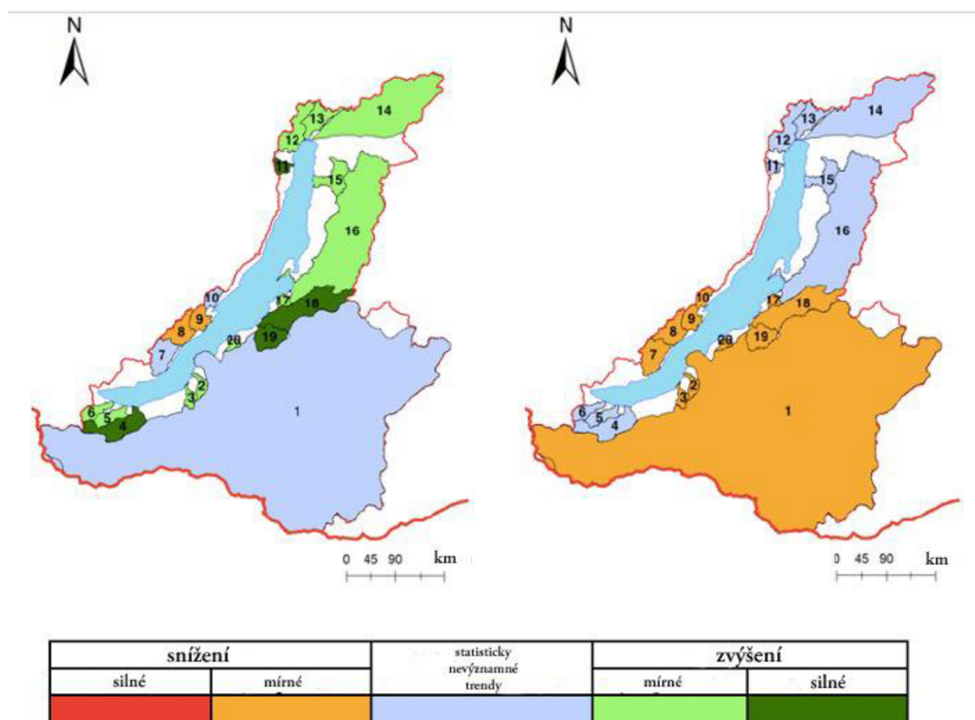
Na východním břehu Bajkalu se nacházejí povodí hlavních řek: Selenga, Horní Angara, Barguzin a Turka. Z těchto povodí, která jsou s jezerem spojena pouze ústími řek, získává vodu velká bajkalská provincie. Malá jezerní napájecí oblast je úzký pás na pobřeží, který se k Bajkalu tváří povrchem okolních hor. Řeky malé provincie mají původ na svazích těchto hor a protékají mezi horami [41].

Většina řek vlévajících se do Bajkalu získává vodu ze srážek a některé z nich ze sněhu. Charakteristické je, že hladina a odtok vody v přítokových oblastech řek výrazně stoupá během jarních povodní a letních dešťů. Vysoké jarní povodně nejsou pro řeky v jižní části Bajkalu typické [41].

Většina velkých řek, jako jsou Horní Angara, Barguzin, Turka, Tyja a Rel, se nachází v severní části povodí a mají jarní a letní povodně. Zimní průtoky jsou zanedbatelné a v některých oblastech jsou řeky zamrzlé. Průtok řek v letním období tvoří téměř polovinu ročního průtoku a podzemní voda nehraje při napájení bajkalských řek klíčovou roli [41].

Největší řekou jezera je Selenga, která zabírá asi 80 % plochy povodí a asi 50 % vody a přes 50 % chemického odtoku [14]. Na průtoku Bajkalu se významně podílejí i další velké řeky, například Horní Angara a Barguzin.

Celkově se odtok posuzovaných řek za 10 let snížil o 4,1 km³/sec/rok, tj. o 2,8 %, přičemž u řeky Selenga o -4,21 km³/sec/rok. K nejvýraznějšímu poklesu průtoku došlo na řece Buguldeika, a to o 10,8 % za 10 let, ale toto pozorování může být chybné, protože rychlost změny průtoku na sousedních stanicích je výrazně nižší [14] (Obr. 3).



Obr. 4 : Změny celkového výparu (vlevo – roční průměr, vpravo – pro teplé období) v povodích přítoků Bajkalu v letech 1976-2020: 1 - Selenga, 2 - Bolšaja rečka, 3 - Manturicha, 4 - Sněžnaja, 5 - Khara-Murin, 6 - Utulik, 7 - Goloustnaja, 8 - Buguldeika, 9 - Anga, 10 - Sarma, 11 - Rel, 12 - Tyja, 13 - Kičera, 14 - Horní Angara, 15 - Tompuda, 16 - Barguzin, 17 - Maximikha, 18 - Turka, 19 - Kika, 20 – Bolšaja Suchaja [14].

3.2. Monitorovací stanice, odběr vzorků

Studie se zaměřila na vody přítoků na jihovýchodním a jihozápadním pobřeží Bajkalu. Chemické analýzy byly provedeny v Laboratoři hydrochemie a atmosférické chemie Limnologického ústavu Sibiřské pobočky Ruské akademie věd za použití metod přijatých pro analýzu atmosférických srážek (Metodické pokyny..., 1980), metod vyvinutých v Limnologickém ústavu a ověřených (Baram et al., 1998) a metod obecně přijatých pro hydrochemii podzemních sladkých vod.

4. Vstup znečišťujících látek s říčním odtokem do jezera Bajkal v rozpuštěné a suspendované formě

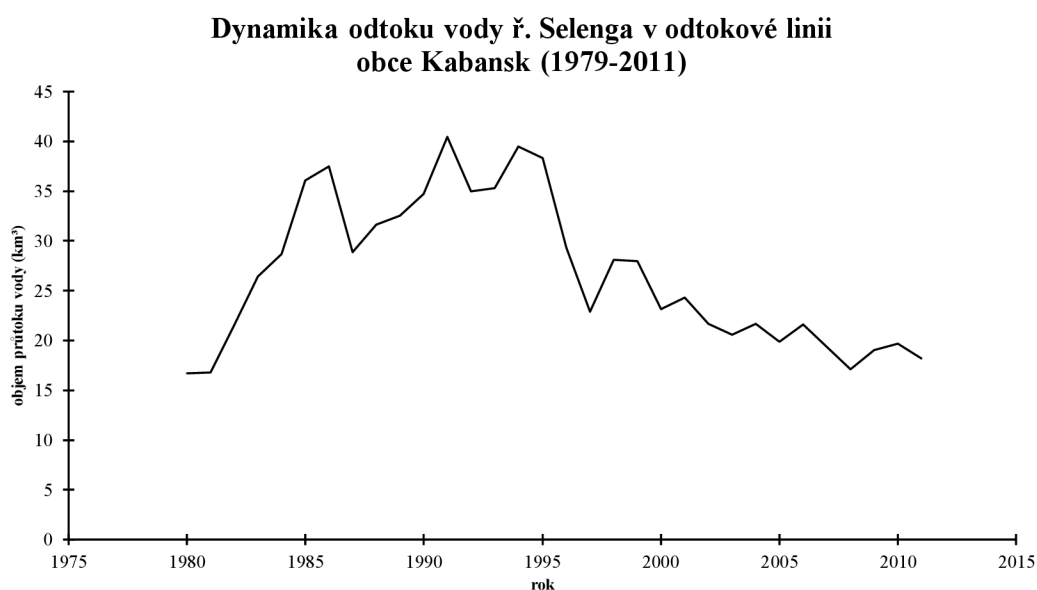
Chemické složení vody v řekách, které se vlévají do jezera Bajkal, je tvořeno vyvřelými a metamorfovanými horninami, které se špatně vyluhují. Proto má hydrochemické složení přítoků jezera podobné vlastnosti a lze je přiřadit k hydrokarbonátovým a sulfát-hydrokarbonátovým třídám hořečnato-vápenaté skupiny s mineralizací nepřesahující 0,5 g/ dm³ [42]. Přítoky Bajkalu mají rozdíly ve slanosti, chemickém složení a hydrochemickém režimu, které jsou způsobeny místní heterogenitou geologické stavby a půdního pokryvu, rozdíly ve srážkách a jejich rozložení v rámci roku a také podílem podzemních vod napájejících celkový průtok vody [43].

4.1. Posouzení dynamiky odtoku velké napájecí oblasti

Řeky Velké napájecí oblasti tvoří více než 90 % rozlohy jezera: Selenga - 82 %, Barguzin - 3,8 %, Horní Angara - 3,9 %, Turka - 1,1 %. Studie ukazují, že změny na většině území Bajkalu ovlivňují dynamiku a složení suspendovaných látek v jezeře [16, 23, 24].

4.1.1. Dynamika odtoku vody řeky Selenga

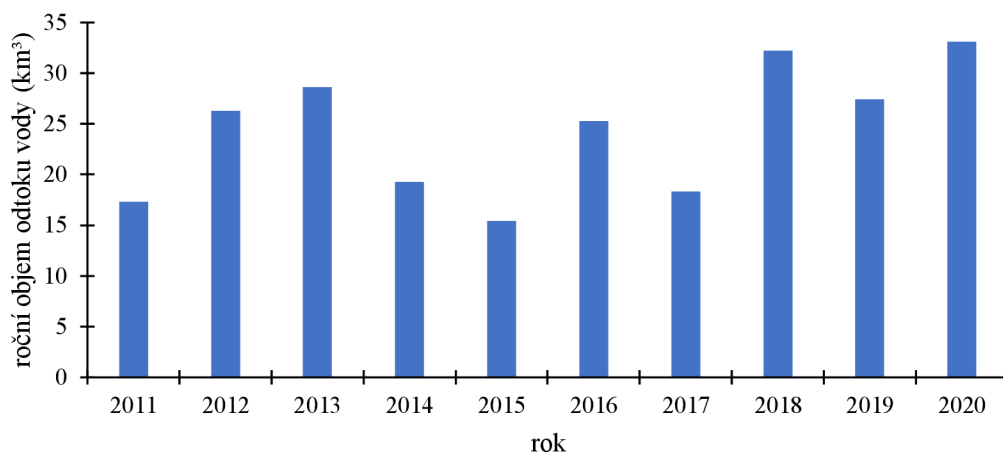
Řeka Selenga, která ročně přivádí do jezera Bajkal přibližně 30 km³ vody, má od 80. let 20. století klesající tendenci hladiny, zejména v letech 2001-2011. Dlouhodobý průměrný stav vody v řece Selenga klesl v letech 1979-2000 až 2001-2010 o 30,7 %. Průměrná vodnost řeky Selenga v tomto období byla 29,7 km³, s maximem 42,2 km³ v roce 1985 a minimem 16,8 km³ v roce 1980 (Graf 1) [16, 23, 24].



Graf 1- Dynamika odtoku vody ř. Selenga v odtokové linii obce Kabansk (1979-2011).

Od roku 2011 dochází k poklesu hladiny vody v řece Selenga, který trval až do roku 2017. Minimální průtok vody byl zaznamenán v roce 2015 a činil 15,4 km³. Od roku 2018 došlo k více než 1,5násobnému nárůstu průtoku vody ve srovnání s předchozími roky (graf 2) [23, 24, 27, 33].

Dynamika průtoku vody v ř. Selenga v letech 2011-2020.

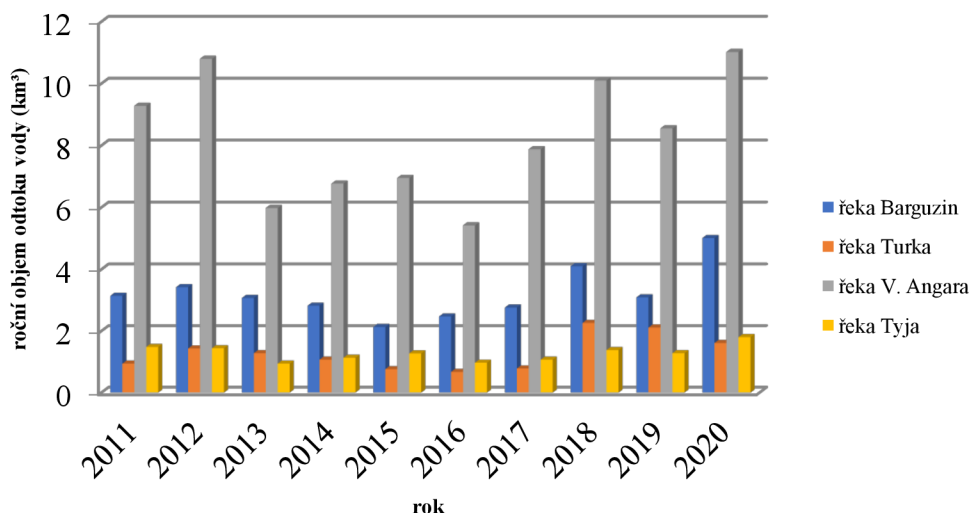


Graf 2- Dynamika odtoku vody ř. Selenga v letech 2011-2020.

4.1.2. Dynamika vodních toků řek Barguzin, Turka, Horní Angara a Tyja

Na řekách Barguzin, Turka, Horní Angara a Tyja došlo v roce 2018 v porovnání s lety 2013-2017 ke zvýšení dynamiky vodních toků, které pokračovalo i v roce 2020 (Graf 3) [25, 29].

Dynamika vodních toků hlavních přítoků



Graf 3- Dynamika odtoku vody řek ve střední a severní části jezera Bajkal v letech 2011-2020.

V roce 2014 přiteklo do Bajkalu 31,0 km³ vody z pěti řek: Selenga, Barguzin, Turka, Horní Angara a Tyja. V roce 2015 se objem vody v těchto řekách snížil, což zhruba odpovídá objemu vody v řece Selenga v letech 1971-2012. V roce 2015 se objem vody v řekách Barguzin a Turka snížil přibližně 1,5krát, zatímco Horní Angara zůstala na stejné úrovni, což je 1,3krát méně než roční průměr. Pokles hladin ovlivnil nedostatek srážek na přítocích. V roce 2015 se

na celkovém objemu vody přitékající do jezera z pěti studovaných řek nejvíce podílela řeka Selenga.

V roce 2016 se hladina vody v Bajkale snížila, ale Selenga se zvýšila o 60 % a Barguzin o 20 %. Turka klesla o 10 % a horní Angara a Tyja o 22 %.

Na celkovém objemu vody přitékající do jezera z pěti zkoumaných řek se nejvíce podílela řeka Selenga.

V roce 2017 došlo k 30% nárůstu průtoku v řekách Barguzin, Horní Angara, Turka a Tyja, ale celkový roční průtok se snížil v důsledku poklesu průtoku v hlavní řece Bajkalu, Selenze. Je důležité poznamenat, že v roce 2017 skončilo několikaleté období nízkých vodních stavů všech hlavních přítoků Bajkalu.

Po období nízkých přítoků vody se v letech 2018 až 2019 průtok řeky Barguzin zvýšil. Pokud jde o horní Angaru, její průtok se v průběhu roku snížil – z 10,2 km³ na 8,8 km³. Průtok řeky Turka nejprve na dva roky poklesl a poté se opět téměř zdvojnásobil, jak se odráží v tabulce. Průtok řeky Selenga byl v roce 2019 nižší než v roce 2018. Také ostatní řeky snížily svůj průtok o 20-25 %. Podrobnější údaje jsou uvedeny v tabulce 1 [26, 28, 29].

Tabulka 1- Průměrné hodnoty průtoku vody v závěrečných úsecích studovaných přítoků Bajkalu, km³.

Rok	Jezerní přítoky					Celkový roční průtok
	ř. Selenga	ř. Barguzin	ř. Turka	ř. V. Angara	ř. Tyja	
	o. Kabansk	o. Barguzin	o. Sobolikha	o. V.Zaimka	o. Tyja	
Průměrný dlouhodobý	28,0	4,0	1,61	8,66	1,26	43,5
1934-2003 Garmaev, 2010	29,2	3,94	1,63	8,22	1,27	47,31
1960-2011 Potěmkin, 2012	28,1	3,97	1,63	8,44	1,24	43,38
1971-2012 Sorokovikova, 2015	26,5	4,05	1,63	8,82	-	-
1996-2012 Sorokovikova, 2019	21,7	4,06	-	9,44	-	-
2010	20,4	3,11	1,41	8,47	1,17	34,56
2011	17,3	3,14	0,94	9,28	1,48	32,14
2012	26,3	3,42	1,43	10,8	1,44	43,39
2013	28,6	3,07	1,28	5,98	0,94	39,87
2014	19,25	2,82	1,07	6,77	1,13	31,04
2015	15,4	2,13	0,76	6,95	1,27	26,51
2016	25,3	2,47	0,67	5,42	0,97	34,83
2017	18,3	2,76	0,78	7,88	1,07	30,79
2018	32,2	4,1	2,26	10,10	1,38	50,04
2019	27,4	3,09	2,11	8,55	1,28	42,43
2020	33,1	5,01	1,61	11,02	1,80	52,54

Z toho vyplývá, že v letech 2011 až 2017 bylo v hlavních přítocích Bajkalu málo vody. Od roku 2018 se průtok vody ve všech řekách zvýšil a většina vody přitéká do Bajkalu z řeky Selenga. Objem vody v řekách přitékajících do jezera se v roce 2018 zvýšil na 50,04 km³, v roce 2019 se snížil na 42,43 km³ a v roce 2020 se opět zvýšil na 52,54 km³, čímž 1,2krát překročil průměrnou roční hodnotu [26, 28, 29].

4.2. Vstup znečišťujících látek s říčním odtokem

Znečištění řek, včetně řek Selenga, Barguzin, Turka, Horní Angara a Tyja, a povodí jezera Bajkal bylo hodnoceno pomocí údajů Roshydromet pro hydrochemický stav a Státního vodního katastru, které poskytl Zabajkalské a Bajkalské hydrometeorologické a environmentální monitorovací centrum (HEMC), pobočka Irkutského ÚHMŽP (Ústřední úřad pro hydrometeorologii a monitorování životního prostředí) pro hydrologické ukazatele. Využita byla také databáze Státního vodohospodářského registru (SVR) a Státního monitoringu vod (SMV) [22].

4.2.1. Přehled hodnot přítoků znečišťujících látek přes velkou napájecí oblast

V období 2001-2010 byly zaznamenány průměrné hodnoty odtoku suspendovaných látek uzavřenými úseky řek a hlavních přítoků Bajkalu (Tabulka 2 Tabulka 3). Přisun suspendovaných sedimentů se pohyboval v různém rozsahu, s minimální hodnotou do 0,3 milionu tun a maximální hodnotou 1,3 a 1,1 milionu tun. Byl zaznamenán přítok uhlovodíků, z nichž většinu tvořily ropné produkty, dále pryskyřice a asfaltiny. Byly odhadnuty vstupy povrchově aktivních látek a těkavých fenolů, vstupy rozpuštěného oxidu křemičitého a celkového železa. Odhadovaný vstup minerálního dusíku činil 3,17 tis. tun a celkového fosforu 0,78 tis. tun za rok [24, 25, 27, 29].

Hlavním zdrojem znečištění Bajkalu je řeka Selenga. Průměrná salinita vody po proudu v Kabanském městském okruhu je 139,5 mg/l. Výsledky výzkumu základních iontů a salinity vody v dolním toku, který provedl Roshydromet ukázaly, že obsah iontů a minerálů ve vodě se za posledních několik desetiletí nezměnil. Průměrný roční iontový odtok v dolní části řeky Selenga v letech 2001-2010 činil 2,9 milionu tun, což je 1,4krát méně než v letech zvýšeného stavu vody. Odtok Selenga se skládá z 84,4 % ze suspendovaných látek, 65 % z rozpuštěných minerálních látek a 59 % z pevných a snadno oxidovatelných organických látek (tabulka 8) [24].

V období 2000-2010 byla v říčních tocích pěti studovaných toků zjištěna celkem následující množství látek: 4,5 milionu tun rozpuštěných minerálních látek (součet hlavních iontů), 0,82 milionu tun nerozpuštěných látek, 0,41 milionu tun těžko oxidovatelných sloučenin a 57,0 tisíce tun snadno oxidovatelných organických látek [27].

S klesající hladinou vody v řekách se snižuje usazování suspendovaných sedimentů v horních úsecích malých řek. To je způsobeno tendencí k poklesu průtoku suspendovaných sedimentů v pramenných oblastech v důsledku poklesu vážených průměrných koncentrací suspendovaných sedimentů i průtoku v řece. Maximální množství suspendovaných látek bylo zaznamenáno v roce 2013 a dosáhlo 1,250 milionu tun. V období 2011-2020 se celkový přísun sedimentů s odtokem z hlavních přítoků Bajkalu pohyboval od 0,180 mil. tun do 1,4556 mil. tun v závislosti na objemu odtoku a vážené průměrné koncentraci na soutoku řeky. Minimální

přisun sedimentů byl zaznamenán v roce 2017 během období malého přítoku vody v řece Selenga [16].

Studie Laboratoře pro výzkum přírodních systémů Sibiřské pobočky Ruské akademie věd ukázaly, že v letech 2010 až 2017 se z řek do jezera Bajkal dostalo v průměru 6,5 milionu tun iontů ročně. Odtok iontů z řek Selenga, Horní Angara a Barguzin činil 3,185 milionu tun, 0,691 milionu tun a 0,384 milionu tun. V letech s vysokým přítokem řek, například v roce 2012, se vypouštění iontů do jezera zvýšilo na 7,7 milionu tun [27, 33].

V letech 2011-2020 byly do jezera Bajkal vypouštěny chloridové a síranové ionty a také byl pozorován zvýšený obsah iontů ve vodě horní Angary a řeky Barguzin. Nárůst iontů souvisí s nárůstem množství přítoku po roce 2018. Nejvyšší hodnoty síranů a iontů ve vodě hlavních přítoků byly pozorovány v zimě. Zvýšení obsahu iontů ve vodě horní Angary může souviset se zvýšením přítoku podzemní vody v důsledku degradace permafrostu, zatímco obsah iontů ve vodě řeky Barguzin souvisí jak s poklesem jejího přítoku, tak se zvýšením antropogenní zátěže [33].

Co se týče množství silně oxidujících látek v letech 2011-2020, jejich příjem se výrazně lišil od 0,360 do 0,514 milionu tun. Minimální a maximální přítoky byly zaznamenány v letech 2015 a 2018 a průměrné hodnoty CHSK (chemická spotřeba kyslíku) a organického spadu se pohybovaly v rozmezí od 8,57 do 13,9 mg/l. V průběhu let se organické látky dostávaly do řeky zpětným tokem distribuovány rovnoměrněji než nerozpuštěné látky [33].

Z hlediska množství snadno oxidovatelných látek v jezeře Bajkal se v letech 2011-2020 pohybovalo v rozmezí od 41,76 do 75,7 tis. tun. Minimální množství bylo zaznamenáno v roce 2015 s nejnižším obsahem říční vody a koncentrací biologické spotřeby kyslíku (BSK₅) 0,997 mg/dm³. Maximální průtok 75,7 tis. tun byl zaznamenán v roce 2020 a v řece Selenga byla zjištěna maximální koncentrace BSK₅ 2,85 mg/dm³. Množství snadno oxidovatelných látek vstupujících do řeky zpětným průtokem závisí na ročním objemu průtoku vody v řece a míře jejího znečištění [33].

Vstupy minerálních forem dusíku, forem fosforu a celkového železa s vodním tokem studovaných řek v období 2011-2020 jsou uvedeny tabulkách 8, 9, 10, 11, 12. V posledním desetiletí došlo k poklesu hodnot minerálních forem dusíku a fosforu, které se dostávají do řek Selenga, Barguzin, Turka, Horní Angara a Tyja s odtokem vody, s výjimkou roku 2015.

Maximální koncentrace fenolů byly zjištěny v řekách Barguzin a Tyja, kde byla v roce 2019 zaznamenána maximální hodnota koncentrace (0,09 mg/dm³). Maximální hodnoty přítoku SPA do jezera s pěti řekami byly zaznamenány v roce 2012, kdy byla zaznamenána nejvyšší hodnota průtoku vody. V následujících letech došlo k poklesu velikosti přítoku SPA, i když v roce 2017 byl zaznamenán 1,2-2násobný nárůst přítoku SPA do řek Selenga a Horní Angara [25, 26, 28, 29]. Průměrný přítok sloučenin kovů v období nízkého přítoku vody se v jednotlivých letech měnil. V roce 2016 se velikost odběru povrchově aktivních látek zvýšila v řekách Selenga, Barguzin a Horní Angara, ale následně došlo k poklesu. Obecně lze říci, že v posledních letech došlo k poklesu vstupu různých látek do řek, ale přítok některých látek, jako jsou fenoly a povrchově aktivní látky, je stále nestabilní.

Vstup ropných produktů se v období 2011-2020 pohyboval v rozmezí od 0,067 tis. tun (2015) do 2,006 tis. tun (2012). Nejvyšší hodnota koncentrace (0,09 mg/dm³) byla zaznamenána v řekách Barguzin a Tyja v roce 2019. Je třeba poznamenat, že přítok ropných produktů přes stojaté vody závisí na míře znečištění říční vody těmito látkami. V různých letech závisí přisun ropných produktů do řek přes stojaté vody na úrovni znečištění říční vody těmito látkami [26, 30].

Obecně lze říci, že změny v přísunu různých látek do řek Selenga, Barguzin, Turka, Horní Angara a Tyja v posledních desetiletích souvisejí s několika faktory, včetně úrovně znečištění říční vody, úrovně dostupnosti vody a období sezónní proměnlivosti průtoku vody [25, 26, 28, 29].

V tabulkách 13, 14, 15, 16, 17 jsou uvedeny minerální formy dusíku, formy fosforu a celkového železa s odtokem pro studované řeky Goloustnaja, Buguldeika, Utulik a Sněžnaja za období 2011-2020.

Tabulka 2 - Průměrné hodnoty průtoku vody v závěrečných úsecích studovaných přítoků Bajkalu, km³.

Řeka	Odtok vody, <i>km³</i>	Součet rozpuštěných minerálních látek, tisíc tun	Suspendovaná látka, tisíc tun	Těžko oxidované organické látky, tis. tun	Snadno oxidovatelné organické látky, tisíc tun	Uhlovodíky		Těkavé fenoly, t	SPA, tisíc tun
						ropné produkty, tis. tun	Smoly, aslteny, tis. tun		
Selenga – Kabansk	20,79	2900	694	243	33,7	0,50	0,103	29	0,25
Barguzin	4,27	588	43,6	55,9	4,35	0,25	0,026	3,8	0,04
Turka - o. Sobolikha	1,84	83,4	10,9	16,0	3,22	0,07	0,007	1,5	0,02
H. Angara – o. V. Zaimka	9,83	796	65,9	87,5	13,6	0,38	0,039	8,8	0,12
Tyja – m. Severobajkalsk	1,29	87,2	7,87	10,7	1,95	0,06	0,006	1,7	0,01

Tabulka 3- Průměrný víceletý přítok živin přes uzavírací úseky přítoků Bajkalu za období 2001-2010.

Řeka	Biogenní látky, tis. tun									
	Minerální formy dusíku				Formy fosforu				Křemík	Železo
	amonná forma	Dusitanové formy	Dusičnanové formy	Celkem	minerální forma	organická forma	Polyfosfátová forma	Celkem		
Selenga – Kabansk	0,620	0,042	1,35	2,01	0,083	0,270	0,104	0,457	97,7	12,9
Barguzin	0,137	0,004	0,128	0,27	0,038	0,056	0,026	0,120	14,5	2,48
Turka – o. Sobolikha	0,040	0,002	0,068	0,11	0,006	0,016	0,006	0,028	10,1	0,53
H. Angara – o. V. Zaimka	0,206	0,007	0,462	0,68	0,029	0,098	0,029	0,156	32,4	3,93
Tyja – m. Severobajkalsk	0,028	0,001	0,075	0,10	0,006	0,013	0,003	0,022	3,10	0,34

Tabulka 4 - Průtok suspendovaných látek, organických znečišťujících látek a sloučenin kovů řekou Selenga – obec Kabansk v letech 2010-2020, tis. tun

Rok	Odtok vody, km ³	Suspendované látky	Těžko oxidovatelné organické látky	Snadno oxidovatelné organické látky	Chloridy	Sírany	Ropné produkty	SPA	Těkavé fenoly	Měď	Zinek
2011	17,3	590,0	220,0	26,0	39,8	218,0	0,390	0,240	0,023	0,028	0,173
2012	26,3	931,0	350,0	42,0	47,3	294,6	0,320	0,400	0,033	0,065	0,295
2013	28,6	1250,0	378,0	45,9	60,1	373,2	0,580	0,060	0,013	0,048	0,319
2014	19,3	953,0	182,0	33,7	46,2	281,1	0,570	0,080	0,018	0,029	0,182
2015	15,4	151,0	158,0	27,5	42,4	244,9	0,450	0,040	0,011	0,033	0,133
2016	25,3	260,0	250,0	38,0	63,0	460,5	0,720	0,150	0,023	0,073	0,290
2017	18,3	116,6	196,0	29,7	36,8	316,6	0,790	0,240	0,018	0,019	0,194
2018	32,2	126,5	389,6	57,6	63,4	547,4	1,127	0,258	0,032	0,039	0,287
2019	27,4	252,4	320,6	44,4	61,1	457,6	0,685	0,137	0,027	0,034	0,345
2020	33,1	212,5	315,8	50,0	84,7	562,7	0,861	0,298	0,033	0,059	0,254

Tabulka 5 - Vstup nerozpuštěných látek, organických látek, znečišťujících látek a sloučenin kovů přes řeku Barguzin - o. Barguzin v letech 2011-2020, tis. tun

Rok	Odtok vody, km ³	Suspendované látky	Těžko oxidovatelné organické látky	Snadno oxidovatelné organické látky	Chloridy	Sírany	Ropné produkty	SPA	Těkavé fenoly	Měď	Zinek
2011	3,14	39,2	30,6	3,2	3,2	38,936	0,06	0,06	0,003	0,004	0,035
2012	3,42	56,4	38,1	3,8	4,0	44,118	0,10	0,05	0,003	0,007	0,034
2013	3,07	93	41,5	3,1	3,8	42,059	0,03	0,00	0,003	0,006	0,036
2014	2,82	123	24,3	2,8	3,1	40,300	0,09	0,01	0,001	0,011	0,030
2015	2,13	23,9	24,6	2,1	2,4	34,500	0,06	0,01	0,001	0,008	0,022
2016	2,47	15	26,8	2,7	2,7	41,500	0,089	0,022	0,003	0,012	0,023
2017	2,76	13,2	28,7	2,8	2,1	43,600	0,083	0,014	0,003	0,012	0,033
2018	4,1	14,6	57,0	0,4	4,4	75,000	0,139	0,021	0,004	0,021	0,032
2019	3,09	26,3	34,6	3,1	3,1	50,676	0,2	0,0	0,003	0,009	0,044
2020	5,01	25,8	69,6	5,0	7,2	89,679	0,3	0,0	0,005	0,040	0,077

Tabulka 6 - Průtok suspendovaných látek, organických látek, znečišťujících látek a sloučenin kovů uzávěrem řeky Turka - o. Sobolikha v letech 2011-2020, tis. tun

Rok	Odtok vody, km^3	Suspendované látky	Těžko oxidovatelné organické látky	Snadno oxidovatelné organické látky	Chloridy	Sířany	Ropné produkty	SPA	Těkavé fenoly	Měď	Zinek
2011	0,94	7,3	7,9	1,95	1,18	6,6	0,038	0,014	0,0009	0,0012	0,0075
2012	1,43	11,4	16,3	2,76	1,37	8,0	0,019	0,036	0,0014	0,0029	0,0114
2013	1,28	13,4	9,0	2,07	1,52	8,0	0,020	0,001	0,0013	0,0022	0,0141
2014	1,07	21,8	12,7	1,86	0,90	7,7	0,026	0,005	0,0004	0,0009	0,0078
2015	0,76	3,6	8,9	1,73	0,84	7,1	0,019	0,003	0,0006	0,0022	0,0081
2016	0,67	2,7	5,1	1,17	0,88	7,3	0,027	0,005	0,0002	0,0015	0,0105
2017	0,78	2,3	6,4	1,47	0,64	8,6	0,016	0,010	0,0008	0,0020	0,0086
2018	2,23	4,9	9,8	2,04	1,81	22,1	0,069	0,011	0,0022	0,0047	0,0227
2019	2,11	11,4	18,1	4,35	1,76	16,5	0,072	0,008	0,0021	0,0031	0,0249
2020	1,61	7,3	15,5	3,09	1,85	16,6	0,029	0,005	0,0016	0,0016	0,0090

Tabulka 7- Průtok nerozpuštěných látek, organických látek, znečišťujících látek a sloučenin kovů řekou Horní Angara - o. V. Zajimka v letech 2011-2020, tis. tun

Rok	Odtok vody, km^3	Suspendované látky	Těžko oxidovatelné organické látky	Snadno oxidovatelné organické látky	Chloridy	Sířany	Ropné produkty	SPA	Těkavé fenoly	Měď	Zinek
2011	9,28	35,3	90,9	11,4	10,0	103,9	0,26	0,09	0,009	0,097	0,084
2012	10,8	148	77,8	15,0	12,6	126,4	0,13	0,06	0,005	0,108	0,097
2013	5,98	68,2	45,7	7,4	7,2	72,4	0,09	0,02	0,003	0,060	0,075
2014	6,77	159	61,4	6,4	6,2	76,5	0,28	0,01	0,002	0,034	0,066
2015	6,95	53,7	58,2	8,7	5,6	87,6	0,22	0,03	0,004	0,017	0,067
2016	5,42	21,1	47,6	5,3	5,8	72,6	0,21	0,04	0,004	0,010	0,071
2017	7,88	28,4	78,8	8,8	6,3	98,5	0,21	0,07	0,008	0,006	0,089
2018	10,19	25,3	105	12,7	9,0	171,2	0,34	0,03	0,010	0,011	0,105
2019	8,77	43,9	95,6	11,7	7,7	121,0	0,39	0,04	0,009	0,009	0,111
2020	11,02	37,36	100,61	15,0	9,9	178,5	0,47	0,02	0,022	0,016	0,105

Tabulka 8 - Příjmy nerozpuštěných látek, organických látek, znečišťujících látek a sloučenin kovů do řeky Tyja – Severobajkalsk, 1 km po proudu od města v letech 2011-2020, tis. tun

Rok	Odtok vody, km ³	Suspendované látky	Těžko oxidovatelné organické látky	Snadno oxidovatelné organické látky	Chloridy	Sírany	Ropné produkty	SPA	Těkavé fenoly	Měď	Zinek
2011	1,48	4	11,2	2,09	2,46	12,994	0,020	0,0100	0,0010	0,0150	0,0148
2012	1,44	5,8	9,6	1,64	2,17	12,413	0,020	0,0100	0,0010	0,0125	0,0144
2013	0,94	2,35	8,04	1,36	1,60	11,468	0,020	0,0040	0,0007	0,0120	0,0130
2014	1,13	10,4	10,6	1,36	1,65	11,300	0,063	0,0020	0,0012	0,0047	0,0119
2015	1,25	2,75	13,2	1,78	1,65	11,200	0,045	0,0060	0,0011	0,0027	0,0110
2016	0,97	2,34	11,4	1,44	1,32	10,100	0,048	0,0070	0,0004	0,0023	0,0116
2017	1,07	1,38	11,56	1,32	0,89	12,840	0,021	0,0050	0,0011	0,0005	0,0081
2018	1,38	1,26	14,35	1,78	1,3	16,970	0,058	0,0040	0,0000	0,0018	0,0101
2019	1,28	3,24	11,75	1,89	1,72	14,340	0,065	0,0030	0,0013	0,0010	0,0114
2020	1,8	2,86	13,03	2,66	2,47	23,4	0,09	0,0054	0,0018	0,0019	0,0144

Tabulka 9 - Hodnoty vstupů biogenních látek (v tisících tun) přes měřicí stanice Selenga

Rok	Minerální formy dusíku				Fosfor fosfátová forma	Železo
	amonná forma	dusitanové formy	dusičnanové formy	celkem		
2011	0,12	0,052	0,83	1	0,09	9,54
2012	0,14	0,027	0,63	0,8	0,105	12,10
2013	0,58	0,14	2,05	2,77	0,19	3,85
2014	0,192	0,058	1,12	1,3	0,116	2,89
2015	0,178	0,046	0,85	1,07	0,098	1,07
2016	0,177	0,202	1,5	1,88	0,106	3,49
2017	0,531	0,073	2,01	2,62	0,092	1,30
2018	1,030	0,097	2,28	3,41	0,451	3,74
2019	1,069	0,055	2,00	3,12	0,575	3,01
2020	1,357	0,066	1,85	3,28	0,761	4,14

Tabulka 10 - Množství vstupů biogenních látek (v tisících tun) přes měřicí stanice na řece Barguzin

Rok	Minerální formy dusíku				Křemík	Železo
	amonná forma	dusitanové formy	dusičnanové formy	suma		
2011	0,036	0	0,056	0,092	0,031	1,26
2012	0,014	0,007	0,053	0,074	0,024	1,44
2013	0,040	0,004	0,086	0,13	0,037	0,70
2014	0,001	0,010	0,040	0,051	0,025	0,30
2015	0,012	0,002	0,051	0,065	0,017	0,29
2016	0,020	0,018	0,067	0,105	0,025	0,28
2017	0,063	0,006	0,044	0,113	0,022	0,47
2018	0,160	0,016	0,254	0,431	0,078	0,89
2019	0,406	0,026	0,485	0,917	0,275	2,28
2020	0,150	0,010	0,145	0,366	0,115	1,55

Tabulka 11 - Množství vstupů biogenních látek (v tisících tun) přes měřicí stanice řeky Turka

Rok	Minerální formy dusíku				Křemík	Železo
	amonná forma	dusitanové formy	dusičnanové formy	suma		
2011	0,003	0	0,015	0,018	0,003	0,22
2012	0,013	0,001	0,035	0,049	0,004	0,49
2013	0,026	0,002	0,022	0,05	0,003	0,14
2014	0,004	0,003	0,032	0,039	0,003	0,11
2015	0,002	0,002	0,015	0,019	0,002	0,10
2016	0,007	0,004	0,019	0,030	0,002	0,04
2017	0,016	0,002	0,008	0,025	0,002	0,07
2018	0,071	0,007	0,158	0,236	0,013	0,28
2019	0,084	0,004	0,127	0,215	0,019	0,28
2020	0,056	0,003	0,090	0,150	0,008	0,22

Tabulka 12 - Hodnoty vstupů biogenních látek (v tisících tun) v jednotlivých úsecích řeky H. Angara

Rok	Minerální formy dusíku				Křemík	Železo
	amonná forma	dusitanové formy	dusičnanové formy	suma		
2011	0,09	0,019	0,54	0,65	0,037	3,62
2012	0,15	0,026	0,50	0,68	0,040	3,00
2013	0,16	0,018	0,34	0,514	0,044	1,02
2014	0,012	0,016	0,301	0,329	0,038	1,22
2015	-	0,004	0,160	0,164	0,042	0,85
2016	0,083	0,027	0,235	0,345	0,043	0,65
2017	0,213	0,016	0,496	0,725	0,047	1,18
2018	0,428	0,051	0,815	1,294	0,122	2,58
2019	0,342	0,018	0,640	1,000	0,096	1,95
2020	0,452	0,022	0,617	1,091	0,099	2,62

Tabulka 13 - Množství vstupů biogenních látek (v tisících tun) přes řeku Tyja - 1 km pod městem

Rok	Minerální formy dusíku				Křemík	Železo
	amonná forma	dusitanové formy	dusičnanové formy	suma		
2011	0,028	0,003	0,133	0,164	0,004	0,22
2012	0,026	0,006	0,18	0,212	0,015	0,13
2013	0,028	0,005	0,225	0,258	0,041	0,07
2014	0,008	0,002	0,134	0,144	0,023	0,10
2015	0,015	0,004	0,193	0,212	0,019	0,06
2016	0,009	0,007	0,093	0,109	0,016	0,07
2017	0,034	0,002	0,118	0,154	0,016	0,05
2018	0,051	0,006	0,239	0,295	0,030	0,05
2019	0,052	0,008	0,280	0,340	0,045	0,04
2020	0,067	0,011	0,260	0,337	0,056	0,101

4.2.2. Přehled hodnot znečišťujících látek z malých řek

Z velkého množství malých přítoků Bajkalu bylo z hydrochemického hlediska dostatečně podrobně prozkoumáno pouze několik z nich. Hydrochemické charakteristiky malých přítoků Bajkalu lze popsat na příkladech jednotlivých řek [44]. Vzhledem k homogenitě geologické stavby některých oblastí v blízkosti bajkalského pobřeží a neexistenci výrazných rozdílů v klimatických a meteorologických podmínkách je chemické složení vod malých přítoků a jejich malých povodí podobné.

Řeky pramenící v pohoří Khamar-Daban mají nízkou mineralizaci vody (17 až 133 mg/ dm³). Jejich povodí se však nachází v zóně vlivu průmyslových emisí z Bajkalské celulózky a papírny (BPPM) a Angaro-Cheremkhovského průmyslového komplexu, což negativně ovlivňuje složení srážek a říční vody. V důsledku kyselých atmosférických srážek se zvyšuje koncentrace síranů ve vodě řek Utulik a Sněžnaja, zatímco obsah uhlovodíků a hodnota pH se snižují. Zvýšení obsahu síranů však nevede ke změně relativního složení iontů a voda v těchto řekách odpovídá hydrouhličitanové třídě a vápenaté skupině.

Řeky vlévající se do Severního Bajkalu mají nízké koncentrace hlavních iontů. Minimální koncentrace jsou pozorovány při povodních nebo vysokých letních záplavách. Relativní koncentrace hlavních iontů ve vodě řeky Kičery a dalších přítoků Severního Bajkalu patří do třídy hydrokarbonátů, skupiny vápníku. Vzhledem k absenci významných zdrojů znečištění v povodí zůstává složení jejich vody stabilní.

K analýze úniků látek v malých řekách jezera Bakal byly použity údaje z Roshydrometru a Státního vodního katastru, které poskytly FSRI "Zabajkalskoje ÚHMŽP" a Bajkalskoje ÚHMŽP– pobočka FSRI "Irkutskoje ÚHMŽP".

V seznamu malých přítoků jsou uvedeny hodnoty emisí látek, a to u řek Sněžnaja, Utulik, Goloustnaja, Buguldeika a Kičera. Průměrné roční vstupy suspendovaných a rozpuštěných látek z 5 malých přítoků do jezera Bajkal za období 2001-2010 a 2011-2020 v tisících tun jsou uvedeny v tabulkách 2 a 3. Je třeba poznamenat, že pro řeku Kičeru byla použita hodnota průměrného ročního průtoku 1,241 dm³ z důvodu nedostatku údajů pro daný rozsah let (2008-2020). Podle hrubého odhadu Roshydromet je největší přísun suspendovaných látek a snadno oxidovatelných látek (podle BSK₅) do jezera Bajkal z vod řeky Kičery. Průměrný celkový roční přítok síranových iontů z hodnocených řek činil 60,2 tis. tun. Řeky jižní části Bajkalu, Utulik a Sněžnaja, přinesly 14,8, resp. 16,5 tis. tun síranových iontů. Vody řek Solzan a Utulik mají větší pufrací kapacitu, a proto jsou odolnější vůči okyselování. Celkové vypouštění iontů z 5 řek činilo 320 tisíc tun.

Tabulka 14- Průměrný přítok suspendovaných a rozpuštěných látek z malých přítoků Bajkalu za období 2001-2010, tis. tun.

Řeka	Průměr -ný roční odtok, km ³	Suspendo- vané sedimenty	BSK ₅	Vápník	Hořčík	Sírany	Chloridy	Hydrokar- bonáty	Součet iontů
Goloustnaja	0,297	0,538	0,340	7,787	3,405	8,859	0,382	31,946	52,650
Buguldeika	0,167	0,545	0,164	7,301	2,844	5,630	0,208	31,443	47,656
Utulik	0,533	0,455	0,552	8,988	2,355	14,862	0,224	23,951	49,608
Sněžnaja	1,488	1,253	1,501	15,562	2,585	16,514	0,631	46,996	85,738
Kičera	1,241	1,564	2,042	15,168	2,592	14,400	0,544	40,528	84,800
Celkový příjem	3,726	4,355	4,599	54,806	13,781	60,265	1,989	174,864	320,452

Tabulka 15- Průměrný přítok suspendovaných a rozpuštěných látek z malých přítoků Bajkalu za období 2010-2020, tis. tun.

Řeka	Průměr -ný roční odtok, km ³	Suspendo- vané sedimenty	BSK ₅	Vápník	Hořčík	Síraný	Chloridy	Hydrokar- bonáty	Součet iontů
Goloustnaja	0,250	0,434	0,182	5,908	2,491	7,574	0,207	23,237	39,897
Buguldeika	0,109	0,208	0,069	5,454	0,287	4,028	0,092	22,979	34,537
Utulik	0,470	0,314	0,244	3,673	1,514	7,141	0,148	11,592	25,485
Sněžnaja	1,412	1,027	1,192	12,285	4,336	16,171	0,803	46,085	83,779
Celkový příjem	2,241	1,983	1,687	27,32	8,628	34,914	1,25	103,893	183,698

Od roku 2011 do roku 2020 došlo na velkých i malých řekách k poklesu odtoku, zejména do roku 2017. Podle údajů Hydrochemického ústavu činil v roce 2015 přísun sedimentů do Bajkalu s vodou všech malých řek přibližně 0,24 milionu tun, což je pětkrát méně ve srovnání s rokem 2014 a čtyřikrát méně ve srovnání s ročním průměrem za období 2001-2010. Za zajímavost stojí, že v roce 2015 nebyly v řekách Kika, Maksimikha a dalších překročeny nejvyšší přípustné úrovně koncentrace ropných produktů. Přesto byly zdrojem ropných uhlovodíků, které se dostaly do jezera. Za upozornění stojí nárůst iontového vypouštění v řece Goloustnaja od roku 2016 v důsledku zvýšení příjmu síranů do říčních vod v souvislosti s přírodními a antropogenními vlivy.

V roce 2015 bylo zjištěno, že z malých přítoků v Irkutské oblasti se do jezera Bajkal dostala ropa a polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU). Konkrétně úniky chemických látek z řek Goloustnaja a Buguldeika obsahovaly 4,27 tuny ropných produktů (2,45 tuny v roce 2014) a 0,51 tuny PAU (1,82 tuny v roce 2014).

Emise těkavých fenolů do jezera z malých řek Irkutské oblasti se snížily na 1,5 tuny, což je 1,4krát méně než v roce 2014, úměrně snížení průtoku říční vody.

Vypouštění ropných produktů do jezera z řek v Burjatské republice výrazně pokleslo ze 47,4 tuny v roce 2014 na 5,9 tuny v roce 2015. V roce 2015 však nebyl zjištěn žádný únik ropných produktů do řeky Sněžnaja. Koncentrace ropných produktů v řekách Kika, Maksimikha a dalších nepřekročily nejvyšší přípustné hodnoty. Tyto řeky byly zdrojem ropných uhlovodíků, které se dostaly do jezera. V roce 2015 to bylo přibližně 5,9 tuny.

Podle různých zdrojů bylo v roce 2015 z řek vlévajících se do Bajkalu z území Burjatské republiky odstraněno přibližně 5,9 tuny povrchově aktivních látek. Jedná se o nejnižší průměr za posledních pět let (10 tun v letech 2009-2013). Vstupy těkavých fenolů do chemického odtoku z řek se v roce 2015 pohybovaly od 0,1 do 1,2 tuny (v roce 2014 od 0 do 0,7 tuny). Maximální hodnoty byly získány pro řeku Sněžnaja.

Z toho lze zjistit, že obsah pevných a snadno oxidovatelných látek v jezeře Bajkal se počínaje rokem 2018 zvýšil díky přítokům řek Goloustnaja, Kičera a Utulik. Podle údajů se obsah fenolů v jezeře zvýšil také přítoky z řek Sněžná, Utulik a Goloustnaja.

Tabulky 4 a 5 uvádějí průměrné roční hodnoty vypouštění živin do vodních toků sledovaných malých řek. Od roku 2011 do roku 2020 došlo k poklesu odtoku z velkých a malých řek do jezera Bajkal, zejména do roku 2017. Podle údajů Hydrochemického ústavu je od roku 2011 patrný klesající trend vypouštění živin z malých řek do jezera Bajkal. Snížilo se také celkové vypouštění železa a množství minerálních forem dusíku. Zvýšil se však vývoz fosfátů, zatímco vývoz křemíku zůstal přibližně na stejné úrovni.

Tabulka 16 - Průměrné víceleté vstupy živin do malých přítoků jezera Bajkal za období 2001-2010

Řeka	Biogenní látky, tis. tun						
	Minerální formy dusíku				Minerální fosfor	Křemík	Železo
	Amonná forma	Dusitanové formy	Dusičnanové	Celkem			
Goloustnaja	0,0083	0,0004	0,0323	0,0410	0,0029	1,0773	0,0181
Buguldeika	0,0072	0,0005	0,0174	0,0019	0,0251	0,7068	0,0163
Sněžnaja	0,0134	0,0004	0,2231	0,2369	0,2369	4,2761	0,1130
Utulik	0,0048	0,0001	0,1190	0,0016	0,0124	1,9479	0,0474
Kichera	0,0440	0,0000	0,0112	0,0552	0,0061	2,9760	0,0022

Tabulka 17 - Průměrné víceleté vstupy živin do malých přítoků jezera Bajkal za období 2010-2020

Řeka	Biogenní látky, tis. tun						
	Minerální formy dusíku				Minerální fosfor	Křemík	Železo
	Amonná forma	Dusitanové formy	Dusičnanové formy	Celkem			
Goloustnaja	0,0046	0,0003	0,0126	0,0176	0,0004	1,0747	0,0072
Buguldeika	0,0014	0,0001	0,0064	0,0079	0,0002	0,4736	0,0021
Sněžnaja	0,0129	0,0010	0,2002	0,2141	0,0021	5,7558	0,0461
Utulik	0,0014	0,0002	0,0543	0,0559	0,0008	1,2688	0,0133

Přibližné odhady množství suspendovaných a rozpuštěných sedimentů z řek Goloustnaja, Buguldeika, Utulik a Sněžnaja jsou uvedeny v tabulkách 18, 19, 20, 21.

Tabulka 18 - Příjem nerozpuštěných látek, organických znečišťujících látek a sloučenin kovů v řece Goloustnaja v letech 2011-2020, tis. tun

Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Odtok vody, km^3	0,225	0,445	0,255	0,164	0,149	0,347	0,180	0,250	0,198	0,291
Suspendované látky	0,356	0,925	0,194	0,164	0,087	1,013	0,361	0,407	0,836	0,000
BSK_5	0,284	0,382	0,199	0,100	0,110	0,187	0,144	0,077	0,149	0,184
Vápník	5,851	10,014	5,682	4,223	3,983	8,083	4,474	5,295	4,713	6,760
Hořčík	2,120	4,536	2,650	1,817	1,626	3,330	1,786	2,573	1,565	2,914
Draslík	0,135	0,222	0,127	0,082	0,119	0,139	0,090	0,150	0,139	0,233
Sodík	0,699	1,067	0,663	0,475	0,433	0,867	0,631	0,824	1,069	1,632
Sírany	6,719	12,006	7,670	4,174	4,266	9,817	4,906	8,142	7,664	10,374
Chloridy	0,250	0,374	0,334	0,106	0,095	0,257	0,105	0,147	0,119	0,286
Hydrokarbonáty	21,495	40,766	22,321	17,726	15,886	31,221	18,111	21,255	17,567	26,021
Suma iontů	35,175	69,011	40,158	28,610	22,360	53,700	30,088	38,414	33,232	48,225
Amonný dusík	0,0045	0,0036	0,0036	0,0008	0,0015	0,0121	0,0027	0,0105	0,0044	0,0026
Dusitanový dusík	0,0002	0,0004	0,0008	0,0002	0,0001	0,0007	0,0002	0,0005	0,0002	0,0000
Dusičnanový dusík	0,0106	0,0325	0,0046	0,0116	0,0097	0,0128	0,0031	0,0140	0,0137	0,0137
Fosfáty	0,0002	0,0000	0,0005	0,0002	0,0000	0,0014	0,0004	0,0000	0,0006	0,0009
Křemík	0,809	2,886	1,037	0,761	0,638	1,284	0,711	0,934	0,661	1,026
Železo	0,002	0,011	0,013	0,002	0,006	0,008	0,007	0,004	0,008	0,010
Zinek	0,0006	0,0019	0,0011	0,0003	0,0001	0,0005	0,0010	0,0007	0,0006	0,0015

Tabulka 19 - Příjem nerozpuštěných látek, organických látek, znečišťujících látek a sloučenin kovů v řece Buguldeika v letech 2011-2020, tis. tun

Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Odtok vody, km^3	0,0848	0,1539	0,1347	0,1025	0,0798	0,1249	0,1082	0,1069	0,0848	0,1091
Suspendované látky	0,325	0,231	0,202	0,407	0,068	0,162	0,306	0,198	0,081	0,104
BSK_5	0,092	0,077	0,083	0,074	0,065	0,090	0,066	0,035	0,064	0,041
Vápník	4,186	6,961	6,383	5,258	4,173	6,332	5,376	5,698	4,445	5,729
Hořčík	1,765	2,755	2,451	2,193	1,731	2,510	1,979	2,224	1,739	2,150
Draslík	0,068	0,139	0,108	0,082	0,040	0,037	0,087	0,075	0,034	0,076
Sodík	0,229	0,416	0,296	0,184	0,152	0,162	0,314	0,310	0,187	0,622
Sírany	3,232	5,232	4,902	3,823	2,705	4,683	3,505	3,710	4,259	4,234
Chloridy	0,092	0,137	0,135	0,098	0,069	0,085	0,076	0,087	0,051	0,094
Hydrokarbonáty	17,687	29,497	26,272	22,702	18,175	26,350	22,531	24,674	17,374	24,529
Suma iontů	27,256	45,138	40,546	34,355	27,047	34,905	33,857	36,776	28,062	37,426
Amonný dusík	0,0007	0,0022	0,0004	0,0014	0,0025	0,0017	0,0004	0,0025	0,0013	0,0009
Dusitanový dusík	0,0003	0,0002	0,0003	0,0002	0,0000	0,0001	0,0001	0,0000	0,0002	0,0001
Dusičnanový dusík	0,0024	0,0023	0,0024	0,0091	0,0061	0,0100	0,0056	0,0107	0,0067	0,0085
Fosfáty	0,0002	0,0011	0,0000	0,0000	0,0001	0,0004	0,0001	0,0000	0,0003	0,0003
Křemík	0,3478	1,0219	0,4929	0,4848	0,3814	0,4883	0,4078	0,4372	0,2893	0,3852
Železo	0,0006	0,0009	0,0000	0,0007	0,0034	0,0040	0,0010	0,0032	0,0031	0,0039
Zinek	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0005

Tabulka 20 - Příjem nerozpuštěných látek, organických znečišťujících látek a sloučenin kovů v povodí řeky Utulík v letech 2011-2020, tis. tun

Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Odtok vody, km^3	0,483	0,650	0,561	0,517	0,275	0,464	0,242	0,423	0,539	0,546
Suspendované látky	0,144	0,454	0,178	0,075	0,087	1,436	0,222	0,245	0,075	0,221
BSK_5	0,203	0,351	0,301	0,162	0,154	0,295	0,097	0,380	0,182	0,312
Vápník	3,788	7,470	4,790	2,357	2,595	4,302	2,417	2,473	2,396	4,138
Hořčík	1,082	1,779	1,121	0,786	0,850	2,220	1,425	2,348	1,485	2,040
Draslík	6,381	10,672	7,746	4,043	4,221	8,326	5,971	8,192	6,298	9,558
Chloridy	0,131	0,276	0,153	0,088	0,125	0,180	0,099	0,185	0,083	0,157
Hydrokarbonáty	10,237	19,921	11,416	8,020	6,966	14,500	8,514	11,714	10,180	14,453
Suma iontů	22,323	41,086	26,500	16,105	15,200	31,568	19,139	26,150	22,340	34,443
Amonný dusík	0,002	0,002	0,000	0,001	0,002	0,000	0,002	0,002	0,002	0,002
Dusitanový dusík	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Dusičnanový dusík	0,048	0,109	0,055	0,034	0,026	0,065	0,032	0,059	0,037	0,078
Fosfáty	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,001
Křemík	0,924	2,935	1,707	1,097	1,119	1,388	0,667	0,924	0,733	1,195
Železo	0,010	0,059	0,012	0,005	0,007	0,016	0,003	0,006	0,006	0,010
Zinek	0,0002	0,0011	0,0000	0,0008	0,0000	0,0015	0,0003	0,0005	0,0007	0,0007

Tabulka 21- Příjem nerozpuštěných látek, organických znečišťujících látek a sloučenin kovů v řece Sněžnaja v letech 2011-2020, tis. tun

Rok	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Odtok vody, km^3	1,589	1,444	1,416	1,183	1,145	1,498	0,880	1,611	1,810	1,545
Suspendované látky	0,95	2,25	0,93	0,38	0,46	0,30	0,37	2,84	0,62	1,17
BSK_5	1,14	1,26	1,02	1,05	1,01	1,39	0,59	1,42	1,97	1,07
Vápník	17,96	16,18	14,73	11,94	9,50	11,98	6,16	8,86	15,02	10,51
Hořčík	2,54	2,31	2,97	3,07	3,89	5,09	3,70	7,25	7,42	5,10
Draslík	16,69	13,84	16,00	12,65	13,85	15,13	10,47	19,66	24,26	19,16
Chloridy	0,92	0,92	0,79	0,76	0,80	0,75	0,39	0,87	0,87	0,96
Hydrokarbonáty	50,70	50,12	46,87	41,75	33,43	46,89	28,07	48,99	63,36	50,68
Suma iontů	91,07	86,66	84,67	73,08	63,19	81,94	50,68	90,89	116,39	99,21
Amonný dusík	0,025	0,009	0,008	0,000	0,014	0,007	0,016	0,019	0,018	0,012
Dusitanový dusík	0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,002	0,003
Dusičnanový dusík	0,210	0,139	0,195	0,158	0,126	0,192	0,099	0,235	0,351	0,297
Fosfáty	0,000	0,003	0,001	0,000	0,000	0,001	0,002	0,005	0,004	0,005
Křemík	5,086	7,799	7,788	6,623	6,754	4,793	2,640	5,157	5,974	4,945
Železo	0,051	0,069	0,062	0,019	0,029	0,054	0,027	0,039	0,054	0,057
Zinek	0,064	0,000	0,013	0,006	0,004	0,004	0,002	0,003	0,009	0,002

5. Hlavní vědecké studie ekologického stavu jezera Bajkal

Studiem znečištění Bajkalu se zabývají následující ústavy: Ruská akademie věd (RAV), Sibiřská pobočka Ruské akademie věd (SP RAV), univerzity Ruské federace, Roshydromet a dalších [18].

5.1. Studie hydrochemického složení řek v povodí jezera Bajkal

Výzkumem vod a sedimentů v povodí jezera Bajkal se již více než 50 let zabývá leningradská pobočka Ruské akademie věd [20]. Díky tomu byly zjištěny hlavní zákonitosti ve formování chemického složení vod. V monografii "Hydrochemie řek povodí Bajkalu" jsou popsány hydrochemické charakteristiky 250 přítoků jezera a některých řek jeho povodí. Nutnost této studie vyplynula z výstavby Bajkalsko-amurské magistrály (BAM). Kromě toho byla provedena komplexní studie jezer v povodí řek Horní Angara, Kičera, Tyja a Barguzin [19, 20]. Studie zjistily změny v koncentraci znečišťujících látek v řekách a změny ve složení atmosférických srážek. Zkoumala se také bilance a procesy oběhu organických látek v jezeře [22]. Zvláštní pozornost byla věnována změnám v režimu říčních toků způsobeným globálním oteplováním klimatu.

Závěrem je, že přítomnost věčně zmrzlé půdy a její degradace v důsledku oteplování přispívá ke vzniku další vlhkosti a úrovni vodnosti řek, vede ke změnám v ústí řek, změnám v ochraně pobřeží jezera a ovlivňuje klimatické charakteristiky regionu. Povodí Selenga jižně od jezera vykazuje nedostatek vláhy, který se může s oteplováním klimatu zvyšovat. Procesy modifikace ústí řek a odtok sedimentů v bajkalských řekách ovlivňuje řada faktorů, včetně antropogenní činnosti [20, 23].

5.2. Studie vodních stavů přítoků jezera Bajkal

Pracovníci LIN SO RAV [20] prováděli hydrochemické studie přítoků Bajkalu. Vzorky vody byly odebírány v ústích hlavních přítoků Jižního Bajkalu a hlavních přítoků Severního Bajkalu. Studovány byly řeky Selenga, Horní Angara a Barguzin.

Pro odhad kolísání průtoku řeky byly parametry jeho proměnlivosti redukovány na jedno výpočtové období. Ukázalo se, že trendy růstu zimních průtoků jsou pro přítoky Jižního Bajkalu poměrně nestabilní. Pouze u řeky Chara-Murin se odtok v prvním čtvrtletí vyznačuje stálým nárůstem [23].

Výsledky studií z let 2010-2012 ukázaly, že chemické složení vod Selengy se v porovnání s lety 1950-1960 změnilo v celém toku. Koncentrace hlavních iontů a jejich sumy byly v roce 2012 nižší než v letech 2001-2005. Suma iontů v řece po proudu od rusko-mongolské hranice se pohybovala od 142 do 262 mg/ dm³ v závislosti na dostupnosti vody. Níže po proudu se suma iontů snížila na 91-189 mg/ dm³ [23].

5.2.1. Hydrochemické studie řeky Selenga

V únoru 2018 zveřejnily LIN SO RAV a BIP SO RAV výsledky hydrochemických studií řeky Selenga a jejích přítoků provedených v letech 2001-2017. Analýza ukázala, že po minimálním zimním průtoku v roce 2012 a jeho zvýšení v roce 2014 byly zimní průtoky řeky Selenga v následujících letech opět nízké, což zhoršilo kvalitu vody. Koncentrace rozpuštěného kyslíku se v zimě 2018 pohybovaly v rozmezí od 6,0 do 10,5 mg/dm³ (nasycení 44-70 %) a

kvalita vody v některých částech studovaných vodních toků klesla do kategorie "silně znečištěná". Obsah kyslíku v řece v zimě v posledních letech výrazně klesá, což ukazuje na snížení samočisticí schopnosti Selengy [24].

Studie provedené v roce 2018 ukázaly, že po celé délce řeky Selenga v Rusku se zvýšila koncentrace síranů, které jsou indikátorem průmyslového znečištění říční vody. V dolním toku řeky dosahují 16,5-22,2 mg/ dm³, zatímco v předindustriálním období se pohybovaly v rozmezí 7,2-10,4 mg/ dm³. Síraný se zvyšují v důsledku antropogenní zátěže a zvyšujícího se podílu podzemního napájení řeky v podmínkách snížené dostupnosti vody. Koncentrace biogenních prvků byly nejvyšší v oblastech odběru odpadních vod. Celkově šetření prokázala zhoršení kvality vody v Selengi v zimním období. Zvýšení obsahu síranů do značné míry závisí na úrovni antropogenního zatížení. Hlavní ionty ve vodě Selengy a jejích přítoků po celé délce patří do skupiny vápníku. Slanost a koncentrace hlavních iontů ve vodě řeky Selenga a jejích přítoků nepřekračují normy MPC (Maximální přípustná koncentrace) pro vodní toky využívané pro rekreační účely a nentralizované zásobování vodou [24].

Koncentrace dusíku a fosforu ve vodě je klíčovým ukazatelem rozvoje fytoplanktonu a eutrofizace vodních útvarů. V přítocích Bajkalu závisí obsah biogenních prvků a organických látek na přírodních podmínkách povodí a na úrovni antropogenní zátěže. Limnologický ústav sibiřské pobočky Ruské akademie věd zkoumal ukazatele kvality vody v dolním toku Selengy včetně jejích deltových kanálů, přičemž jako kritéria použil koncentrace rozpuštěného kyslíku, organické a minerální formy fosforu a dusíku. Získané výsledky většinou ukazují na mírné znečištění vodních mas, ale přítomnost patogenní mikroflóry omezuje jejich využití [17].

Selenga obsahuje největší množství živin, protože v jejím povodí je nejvíce rozvinutý průmysl a zemědělství. Nejméně živin obsahuje voda Horní Angary a jejích přítoků, což je dáno malým rozvojem těchto povodí. Koncentrace biogenních prvků závisí na sezónní dynamice vodního toku a intenzitě rozvoje planktonu. Koncentrace amoniaku a organických látek se zvyšují během povodní a snižují v zimě, kdy nedochází k odtoku povrchových vod. Maximální obsah dusičnanového dusíku a minerálního fosforu je pozorován v zimě a minimální v létě. Podle ekologické klasifikace a norem SanPiN (Státní hygienické a epidemiologické předpisy a nařízení) je voda v Selengi klasifikována jako "poměrně čistá" a "přiměřeně čistá". Vysoký obsah živin v řece Selenga je pozorován po celý rok a po proudu řeky Ulan-Ude, včetně kanálů v deltě. Za nízkých vodních stavů dosahuje rozvoj fytoplanktonu v dolním toku řeky Selenga a jejích deltových kanálech hodnot charakteristických pro vysoce eutrofní vodní útvary [27, 28]. Studie Moskevské státní univerzity Lomonosova ukázala změny ve složení vody v dolním toku řeky Selenga pod vlivem přírodních a antropogenních faktorů. Aridizace klimatu vedla ke snížení ředění znečištění a průměrné koncentrace celkového fosforu a dusičnanů se zvýšily. V deltě řeky dochází za měnících se hydrodynamických podmínek k usazování suspendovaných látek a ke zvyšování obsahu rozpuštěných forem živin a organických látek. Zemědělská činnost v povodí zvyšuje podíl suspendovaných forem chemických prvků, včetně fosforu a organického uhlíku [33].

Systém řeky Selenga a jezera Bajkal byl analyzován z hlediska odtoku vody a obsahu těžkých kovů a metaloidů. V letech 2011-2013 byly provedeny hydrologicko-geochemické studie na více než 100 místech v Rusku a Mongolsku. Byla také provedena měření zákalu vody, která umožnila získat korelace mezi jasem snímků a koncentrací suspendovaných látek ve vodě. Výsledkem studií bylo prokázání, že parametry transportu sedimentů ve vodě jsou určovány fází vodního režimu. Chemická analýza řek v povodí Selenga ukázala, že obsahují rozpuštěné prvky a zvýšený obsah As, Cd, Mo, Pb, Zn, Mn, Co v sedimentech. Formy migrace chemických prvků ve vodách se v jednotlivých řekách a jejich přítocích liší, ale v horní části povodí

převažují suspendované formy a ve střední a dolní části rozpuštěné formy. Toky rozpuštěných forem se zvyšují směrem k deltě řeky Selenga a v horní části povodí jsou extrémně vysoké toky suspendovaných forem. Největší antropogenní změny toků jsou charakteristické pro malé řeky, např. ř. Modonkul obsahuje extrémně vysoké znečištění Cd a dalšími kovy, což ovlivňuje geochemické toky v ř. Džida [33].

5.2.2. Hydrochemické studie řeky Barguzin

Byl studován hydrochemický režim řeky Barguzin, přítoku Bajkalu, a Horní Angary, druhého přítoku jezera z hlediska vodnosti. V průběhu výzkumu byly analyzovány ionty říční vody v různých obdobích a hodnoceny hydrologické faktory samočištění vodního toku. Výsledkem výzkumu bylo zjištění, že samočisticí potenciál řeky Barguzin je omezen přítokem minerálních látek ze slaných jezer a slaných půd jezerně-aluviální nivy nacházející se na středním toku řeky. Bylo zjištěno, že koncentrace síranů v říční vodě se od poloviny 20. století zvyšuje. Maximální koncentrace iontů je zaznamenána za zimního odtoku a po celé délce řeky jsou nejvyšší hodnoty registrovány v horním toku, směrem po proudu klesají v důsledku ředění vodami přítoků. Hlavní ionty ve vodě Barguzinu a jeho přítoků odrážejí sezónní dynamiku vodního toku. Ve vodě horní Angary a jejích přítoků je koncentrace hlavních iontů dlouhodobě méně proměnlivá, ale dosahuje maxima v zimním období a minima během povodní. Řeky Rel a Tyja, které se rovněž vlévají do Severního Bajkalu, se vyznačují nízkými koncentracemi hlavních iontů. Z hlediska relativního obsahu hlavních iontů patří vody těchto řek do třídy hydrokarbonátů, skupiny vápníku [25, 29].

5.2.3. Hydrochemie řek Horní Angary a dalších řek

Vody Horní Angary, jejích přítoků a dalších řek Severního Bajkalu podle obsahu biogenních prvků (PO_4^{3-} , NO_3^- , NH_4^+) odpovídají stupňům "velmi čistý" a "docela čistý". V řece Katera dosáhl obsah dusíkatých látek $0,54 \text{ mg N/ dm}^3$, z toho $0,39 \text{ mg N/ dm}^3$ tvořil NH_4 [28]. V řekách Tyja a Rel činily koncentrace NO_3^- $0,27$, resp. $0,72 \text{ mg N/ dm}^3$ a obsah minerálního fosforu $1 \text{ } \mu\text{g P/ dm}^3$ [26]. Kvalita vody v Barguzinu a jeho přítocích kolísala od "poměrně čistě" po "znečištěnou", zhoršení kvality vody je zaznamenáno především na dolním toku řeky. V přítocích Barguzinu je nejčistší voda zaznamenána v řece Uljun a znečištěná v řece Argada, zejména v zimním období. Ve vodách přítoků jižního Bajkalu jsou koncentrace fosforu a amoniakálního dusíku zaznamenány většinou na úrovni citlivosti metody, zatímco obsah dusičnanového dusíku kolísá v rozmezí $0,22$ - $1,39 \text{ mg N/ dm}^3$ s maximem v ř. Utulik. Vody zkoumaných přítoků, s výjimkou řeky Utulik, jsou z hlediska obsahu dusičnanového dusíku klasifikovány jako "poměrně čisté". Obsah rozpuštěného kyslíku ve vodě všech zkoumaných řek je příznivý pro život hydrobiontů, s výjimkou v ř. Argada v zimním období. Hlavním problémem kvality vody přítoků Jižního Bajkalu s extrémně nízkou mineralizací je jejich okyselení, které je způsobeno znečištěním atmosférickými srážkami, které sem spadnou [26, 28].

5.3. Změny ve složení vody v ústích řek na východním pobřeží Středního Bajkalu

Studie provedené IG SO RAV v létě 2017 ukázaly zvláštnosti změn ve složení vody v ústích řek na východním pobřeží Středního Bajkalu [30].

Hlavním zdrojem znečištění je říční odtok. V ústích vodních toků se hromadí biogenní prvky a chemické látky, což narušuje stabilitu těchto oblastí a zvyšuje riziko ekologických následků. Do ústí řek se dostávají sloučeniny obsahující dusík, jako jsou amoniak, dusitany a dusičnany, a také bílkovinné sloučeniny s odpadními vodami z domácností. Doporučuje se přijmout opatření na ochranu ústí řek před znečištěním [30].

Řeky Jižního Bajkalu (Sněžná, Utulik, Chara-Murin, Solzan a Pereemnaja) mají nízkou salinitu v důsledku rozšíření masivních krystalických hornin, suťových půd a vysokého množství srážek. Voda těchto řek je však negativně ovlivněna průmyslovými emisemi, což snižuje jejich odolnost vůči okyselování. Odběry vody uvažovaných řek se nacházely v zóně vlivu Bajkalské celulózky a papírny a průmyslového komplexu Angaro-Cheremkhovo, což vedlo ke zvýšení obsahu síranů ve vodě kanálů jižního Bajkalu. Koncentrace standardizovaných složek ve vodě přítoků Jižního Bajkalu nepřekračuje MPC pro vodní útvary necentralizovaného zásobování vodou a rekreačního využití. Chemické složení vody jihovýchodních pobřežních přítoků Bajkalu bylo zkoumáno v období 1996-2003. Řeky vytékající ze severního svahu Chamarsko-dabanského pohoří se vyznačují vysokým modulem průtoku a převážně atmosférickým napájením [31].

5.4. Studie chemického složení říční vody v Bajkalu

Podle klasifikace O. A. Alekina [20] patří vody řek na jihovýchodním pobřeží Bajkalu do třídy hydrokarbonátů vápníku. Chemické složení říčních vod v oblasti Bajkalu se mění v oblastech s vysokým zatížením kyselinami.

Složení vod v přítocích jižního Bajkalu se změnilo: sírany se zvýšily, hydrogenuhlíčitany se snížily. Zvýšení koncentrace síranů v říčních vodách je způsobeno dlouhodobým atmosférickým znečištěním říčních povodí emisemi obsahujícími síru. Antropogenní faktor také způsobuje kvalitativní změny v chemickém složení atmosférických srážek, až změnu třídy vody z hydrogenuhlíčitanové na síranovou [33].

V průběhu dlouhodobého sledování bylo zjištěno, že antropogenní NO_x a SO_2 ve splavech emisí z regionálních uhelných elektráren způsobují dodatečnou depozici dusičnanů a síranů v povodí řeky Pereemnaya. Průměrné koncentrace síranů a dusičnanů ve vodě řeky Pereemnaya byly 2-3krát vyšší než v jezeře Bajkal a celková mineralizace říční vody byla nižší, stejně jako hodnota pH (=6,8), v jezeře a ostatních přítocích (=7,8) [21, 22]. Ukazují zvýšení koncentrace síranových iontů a výrazné snížení odolnosti vod přítoků Jižního Bajkalu vůči okyselení [23].

Podle výsledků šetření z let 1984 až 1995 a 2005 až 2009 byl vypočten víceletý alochtonní výtok organických látek (OL), uhlovodíkových sloučenin (UHS) a uhlovodíků (UH) do jezera Bajkal a jeho přítoků. Celkový roční a víceletý přenos OL řekami závisí na přírodních podmínkách celého povodí Bajkalu. Obsah a podíl různých forem OL se liší v závislosti na terénu, půdě, klimatu a dalších faktorech, které určují způsob přítoku OL do jezera. Zvýšení odtoku alochtonních OL lze přičíst antropogenní činnosti: rozorávání půdy, odlesňování v povodí Bajkalu, zejména podél údolí řek Kičery a Horní Angary v souvislosti s výstavbou BAM, a také rozsáhlým lesním požárům. Z porovnání výsledků výzkumu K. K. Votinceva se spoluautory a aktuálního materiálu vyplynulo, že celkový roční průtok alochtonního OL v Bajkale se zvýšil z 292,0 na 328,4 tis. Podle hydrochemických parametrů je kvalita vody řeky Selenga. Selenga zůstává uspokojivá. Největší přítoky OL a UH do Bajkalu pocházejí z řeky Selenga, a to pouze 3,5 % pro OL a 1,2 % pro UH [33].

5.5. Analýza chemické interakce složek vody jezera Bajkal

Ústav geochemie [36, 37] provedl rozsáhlý výzkum chemických interakcí mezi složkami vody v Bajkalu. Díky jeho práci byl navržen komplexní interdisciplinární přístup ke studiu homogenity a integrity těchto chemických složek. Tento přístup zahrnuje rozpuštěné a suspendované složky bajkalské vody, jako jsou Na^+ , K^+ , Ca_2^+ , Mg^{2+} , Mn^{2+} , Fe^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , NO_3^- , PO_4^{3-} , H^+ , O_2 , As, B, Cr, Cu, Cd, Hg, Pb, Sr, Zn, Co, U, V, Br, Rb, Mo, S_{org} , N_{org} , CO_2 , jakož i přírodní složky prostředí, jako jsou řeky, říční sedimenty, déšť a sníh, aerosoly, podzemní a minerální vody, přítoky z jiných nádrží v oblasti Bajkalu, odtoky z dnových sedimentů, přítoky do sedimentů a odtoky z Bajkalu do jiných nádrží a řeky Angary.

Prostřednictvím této studie byly stanoveny cesty migrace a akumulace chemických složek a organických látek z přírodních složek prostředí do nádrží Bajkalu. Výzkum prováděný Ústavem geochemie umožnil stanovit migrační cesty a místa akumulace složek, které přicházejí s toky chemických složek a organických látek z přírodní složky životního prostředí do nádrží Bajkalu. Studie ukázaly, že systém vody Bajkalu a životního prostředí je složitý hierarchický systém, v němž dochází ke komplexní interakci mezi složkami vody a složkami toku přírodní složky [36, 37].

Odborníci z Sochavského geografického institutu provedli studii stopových prvků v říčních vodách Bajkalu na západním pobřeží. Použili metodu vícesložkového míchání, která považuje látky rozpuštěné ve vodě za směs látek z různých zdrojů (hornin) reprezentovaných jejich stopovými prvky. Studie ukázala, že kromě různých mikrosložek ve vodách se tyto vyznačují i různými hodnotami příspěvků látek ze zdrojů. Tyto hodnoty lze použít pro klasifikaci vod na místní a regionální úrovni [38].

Byl modelován přeshraniční přenos znečišťujících látek v útvarech povrchových vod v povodí řeky Selenga. Stupeň znečištění v povodí Selenga v Mongolsku a Rusku byl posouzen na základě údajů ze státního monitoringu v obou zemích. Analýza vlivu hospodářské činnosti na vodní toky podle koeficientu znečištění a pořadí čtyř stupňů znečištění ukazují na pokračující znečištění povodí a jezera Bajkal nedostatečně čištěnými odpadními vodami z průmyslu a z bytové výstavby a komunálních služeb [38].

5.6. Studie biogenních znečišťujících látek vstupujících do jezera Bajkal a řeky Selenga

Uralský státní výzkumný ústav regionálních ekologických problémů provedl studii jezera Bajkal a řeky Selenga s cílem odhadnout množství biogenního znečištění, které se dostává do jezera, a prozkoumat možnosti jeho trvalého snížení. Během studie byl na základě dostupných údajů proveden výpočet přítoku biogenního znečištění do řeky Selenga v důsledku vypouštění odpadních vod hospodářskými subjekty I.-II. kategorie negativního vlivu na životní prostředí pro období 2016-2020 [40].

Z výsledků výpočtů vyplývá, že největší vliv na znečištění jezera Bajkal mají dusík a fosfor, které se do řeky Selenga dostávají prostřednictvím znečištěných podzemních vod. Hlavní roli ve znečištění jezera Bajkal však nemají ani tak výpusti z vodovodních a komunálních zařízení, ale plošné splachování a difúzní procesy spojené s vypouštěním znečištěných podzemních vod do řeky [40].

6. Výsledky analýzy výzkumné práce

U většiny chemických složek je příspěvek vnitrosezónní proměnlivosti srovnatelný s příspěvkem sezónní proměnlivosti k celkové proměnlivosti rozpuštěných látek nebo jej převyšuje. Nejvyšší příspěvek vnitrosezónní složky vykazovaly prvky, jejichž obsah ve vodě je minimální. Nejméně se tak sezónní variabilita projevuje v řadách koncentrací zinku, olova, železa, amoniaku, dusičnanů, síranů, chloridů a organických látek – vnitrosezónní složka převyšuje sezónní 2-3krát. Současně u hlavních iontů – vápníku, hořčíku, hydrogenuhličitanu, jako celku převažuje sezónní kolísání. Podíl variability sezónní složky je nejvýznamnější u mineralizace na řece Selenga, kde převyšuje vnitrosezónní variabilitu 1,7krát.

Analýza vztahu mezi meteorologickými hodnotami a rozpuštěnými pevnými látkami ukázala, že srážky mají negativní vztah k tvrdosti, zatímco dusík, fosfor a sloučeniny železa mají vztah pozitivní. Stejný charakter vztahu je však charakteristický i pro potenciální výpar, což znamená, že mezi posuzovanými veličinami neexistuje žádná závislost. Celkový přítok rozpuštěných látek do jezera Bajkal činí přibližně 4,6 milionu t/rok, z toho 2,9 milionu t/rok tvoří uhlovodíky. Nejméně ze 17 uvažovaných složek připadá na olovo (36 t/rok) a dusitany (145 t/rok). Množství odstraněných rozpuštěných látek je úměrné objemu vodního toku a řeky lze seřadit podle objemu odstraněných rozpuštěných látek v pořadí Selenga > Verchněje > Angara > Barguzin > Turka > Sněžnaja > Utulik > Goloustnaja > Buguldeika.

Povodí Bajkalu obsahuje různé množství těžkých kovů a metaloidů v závislosti na geologických vlastnostech hornin, které tvoří vodní plochy. Řeka Selenga obsahuje nejvyšší množství Mo, U, Sb, V v rozpuštěné formě a As v říčním sedimentu. Nejvyšší obsah Fe mají řeky Kiku a Kichera. Maximální koncentrace Zn, Pb a Sn v suspendovaných látkách jsou pozorovány v řece Tjje. Sediment řeky Utulik je bohatý na Ni, Co a Cr, ř. Frolikha na U, ř. Buguldeika na Mo, ř. Snežnaja na Sb. Řeka Selenga má nejvyšší celkový výtok rozpuštěných a suspendovaných forem termo-mechanických hmot. Významnou roli v říčním průtoku má Zn, jehož celkový průtok v ústí Tyji a Horní Angary je prakticky stejný jako v ústí Selengy, a to díky depozicím Zn v horních tocích těchto řek a jejich přítoků. V říčním odtoku hrají významnou roli rozpuštěné formy termomechanické migrace hmoty, které ve většině řek převažují u Mo, U, Cu, Zn a dalších prvků. Suspendované formy převažují u Fe a Mn.

V letech 2011-2020 se do jezera Bajkal dostalo velké množství fenolů, přičemž největší množství pocházelo z řeky Selenga (přibližně 33 tun). Ostatní řeky vlévající se do jezera obsahovaly fenolů méně: Horní Angara, Barguzin, Turka a Tyja. Množství fenolů se v jednotlivých letech značně lišilo, někdy se jednalo pouze o stopové množství, jindy několikanásobně překračovalo maximální limit povolené koncentrace. V roce 2022 nebyly ve vzorcích zjištěny žádné fenoly (koncentrace byla pod mezí detekce metody, která je 0,0005 mg/l).

Pokud jde o polyaromatické uhlovodíky (PAU), v ústích hlavních přítoků Bajkalu nebyly dosud provedeny žádné monitorovací studie. Při porovnání údajů z let 2010 a 2021 získaných pro deltu řeky Selenga je však patrný několikanásobný pokles celkových koncentrací v hlavních průtocích, který je pozorován i u ostatních hlavních přítoků jezera. Analýza markerů pro identifikaci zdrojů RAV ukázala, že zdroje RAV v přírodní vodě ústí hlavních přítoků Bajkalu jsou smíšené geneze, přičemž většina jejich původu je způsobena pyrolýzou.

Hodnocení ekologického stavu průmyslových měst v bajkalské oblasti (Ulan-Ude, Severobajkalsk, Gusinozersk, Bajkalsk) ukazují na nízkou úroveň kontaminace půdního pokryvu termomechanickou hmotou a PAU. Rozlišuje se řada technogenních geochemických anomálií různého charakteru. Nejkontrastnější technogenní anomálie termomechanické hmoty

a PAU vznikají pod vlivem emisí z moderních zdrojů znečištění, včetně průmyslových podniků, palivového a energetického komplexu a hlavních dálnic. Pokud se antropogenní geochemická zátěž udrží nebo zintenzivní, je možné zvětšení velikosti anomálních zón. Půdy s nízkou sorpční kapacitou jsou v městských oblastech běžné vzhledem k jejich lehkému granulometrickému složení a nízkému obsahu humusu. Vyplavování znečišťujících látek z půd je podporováno jejich nízkou vzdušnou dodávkou a letním charakterem bouřkových atmosférických srážek.

Pokud budou současné trendy pokračovat, je pravděpodobné, že v budoucnu dojde k nárůstu celkového znečištění, nárůstu geomorfologických rizik a stabilním dopadům ze strany průmyslu a sektoru veřejných služeb.

7. Literatura

1. BROWN, Kate Pride, Alina GERBER, Daria BEDULINA a Maxim A. TIMOFEYEV. Human impact and ecosystemic health at Lake Baikal. *WIREs Water* [online]. 2021, 8(4). ISSN 2049-1948.
2. VYRUCHALKINA, T. Yu. Lake Baikal and the Angara River before and after the Construction of Reservoirs. *Water Resources*[online]. 2004, 31(5), 483-489. ISSN 0097-8078.
3. The Lake Baikal Water Resources and Possible Strategies of its Level Regime Management. *Water sector of Russia: problems, technologies, management* [online]. 2017, (3, 2017) [cit. 2023-04-07]. ISSN 1999-4508. Dostupné z: doi:10.35567/1999-4508-2017-3-6
4. MIZANDRONTSEV, I. B., I. V. TOMBERG, L. M. SOROKOVNIKOVA a V. N. SINYUKOVICH. Effect of groundwater runoff on the chemical composition of the delta-front water of the Selenga River, Lake Baika. *Geochemistry International* [online]. 2014, 52(10), 891-897. ISSN 0016-7029.
5. C. R., Chalov, Romanchenko A. O. a Kasimov N. S. ROLE OF POWER STOCK IN TRANSPORTATION OF WELCOME NANOSSES OF SELENGI BASE RIVERS. Vestnik of the Buryat State University. Biology, Geography [online]. 2018, 96(4), 51-61 [cit. 2023-04-27]. ISSN 25877143. Dostupné z: doi:10.18101/2587-7143-2018-4-51-61 [in Russian]
6. KONDRATOV, Ilya G., Tatiana Ya. SITNIKOVA, Irina A. KAYGORODOVA, et al. Amazing Discoveries of Benthic Fauna from the Abyssal Zone of Lake Baikal. *Biology* [online]. 2021, 10(10). ISSN 2079-7737.
7. MALNIK, V. V., O. A. TIMOSHKIN, A. N. SUTURIN, N. A. ONISHCHUK, M. V. SAKIRKO, I. V. TOMBERG, A. S. GORSHKOVA a N. S. ZABANOVA. Anthropogenic Changes in the Hydrochemical and Sanitary–Microbiological Characteristics of Water Quality in Southern Baikal Tributaries: Listvennichnyi Bay. *Water Resources*[online]. 2019, 46(5), 748-758 [cit. 2023-04-03]. ISSN 0097-8078.
8. KOBANOVA, Galina I., Vadim V. TAKHTEEV, Olga O. RUSANOVSKAYA a Maxim A. TIMOFEYEV. Lake Baikal Ecosystem Faces the Threat of Eutrophication. *International Journal of Ecology* [online]. 2016, 2016, 1-7. ISSN 1687-9708.
9. Sibiřská pobočka Rosgeolfondu. ENVIRONMENTÁLNÍ SITUACE V PŘÍRODNÍ OBLASTI BAJKAL. Souhrnná zpráva za rok 2005. [Sibirskoe otdelenie "Rosgeolfond". SOSTOYANIE OKRUZHAYUSHEJ SREDY NA BAJKALSKOJ PRIRODNOJ TERRITORII. Doklad 2005]. Dostupné na: http://geol.irk.ru/baikal/baikal/rep_2005/pdf/baikal2005_p1.pdf [in Russian]
10. OBOLKIN, Vladimir, Tamara KHODZHER, Larisa SOROKOVIKOVA, Irina TOMBERG, Olga NETSVETAeva a Ludmila GOLOBOKOVA. Effect of long-range transport of sulphur and nitrogen oxides from large coal power plants on acidification of river waters in the Baikal region, East Siberia. *International Journal of Environmental Studies* [online]. 2016, 73(3), 452-461. ISSN 0020-7233. Dostupné z: doi:10.1080/00207233.2016.1165481
11. SHIMARAEV, M. N., E. S. TROITSKAYA a R. Yu. GNATOVSKII. Modern climate changes and deep water temperature of Lake Baikal. *Doklady Earth Sciences* [online].

- 2009, 427(1), 804-808 [cit. 2023-04-15]. ISSN 1028-334X. Dostupné z: doi:10.1134/S1028334X09050213
12. Temporal Variability of River Inflow to the Lake Baikal and Reservoirs of the Angara Cascade of HPS. *Water sector of Russia: problems, technologies, management* [online]. 2018, (4, 2018). ISSN 1999-4508. Dostupné z: doi:10.35567/1999-4508-2018-4-1
 13. NAUMOVA, Elena Yu. a Victor R. ALEKSEEV. How many generations does *Epischura baikalensis* (Copepoda, Calanoida) have in Lake Baikal?. *Crustaceana* [online]. 2020, 93(3-5), 507-518 [cit. 2023-04-15]. ISSN 0011-216X. Dostupné z: doi:10.1163/15685403-00003981
 14. GARMAYEV Endon, Andrej CHRISTOFOROV a Arnold TULOHOONOV. *Water resources of the rivers of the lake Baikal basin: basics of their use and protection*. Novosibirsk: Ruská akademie věd, Sibiřská pobočka, Bajkalský ústav ochrany přírody a další., 2010. ISBN 978-5-904682-15-6.
 15. LIDIN, Konstantin. *The Lake and the City*. 90-94. Dostupné z: doi:10.7480/projectbaikal.37-38.571.568
 16. POTEKINA, Tatiana, Vladimir POTEKIN a Elena GUSEVA. Ustevye oblasti rek ozera Bajkal. *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2014, 185-192.
 17. SHMALKO, Varvara, Elena GOGINA, P.B. RAGHUVIR a T.M. MATHEW. Environmental situation of Baikal Lake. MATEC Web of Conferences].
 18. MALTSOVA, Polina, Ochirbat BATKHISHIG, Dmitry GOLOVANOV, Arseniy ZHOGOLEV a Maria BOGDANOVA. Zpráva o výzkumných pracích na realizaci federálního cílového programu "Ochrana jezera Bajkal a socioekonomický rozvoj bajkalského přírodního území na období 2012–2020: po teme «Ocenka i prognoz transgranichnogo peremesheniya vrednyh (zagryaznyayushih) veshstv v sisteme reka Selenga-ozero Bajkal». 2. Lomonosovova univerzita, Geografická fakulta, 2016.
 19. VOROBEVA, I.B., I.A. BELOZERTSEVA, N.V. VLASOVA a M.S. YANCHUK. CURRENT STATE OF WATERCOURSES IN THE ESTUARINE AREAS OF THE EASTERN COAST OF LAKE BAIKAL. *Advances in Current Natural Sciences* [online]. 2018, (№1 2018), 86-92 [cit. 2023-04-26]. ISSN 16817494. Dostupné z: doi:10.17513/use.36656
 20. K. K. Votintsev, *Hydrochemistry of Lake Baikal*. (AN SSSR, Moscow, 1961) [in Russian]
 21. LEVASHKEVICH, Aleksej. Spatial distribution and parasitofauna of amphipods of the Chivyrkuisky Bay of Lake Baikal. 2002. Irkutská státní pedagogická univerzita. Vedoucí práce Vadim Tahteev.
 22. SOROKOVIKOVA, L., V. SINYUKOVICH, O. NETZVETEEVA, I. TOMBERG a N. SEZKO. Inflow of sulfates and nitrogen into Lake Baikal with the waters of its tributaries. *Geografiya i prirodnye resursy*. 2009, 61-65. [in Russian]
 23. POTEKINA, T. a V. POTEKIN. CURRENT CHANGES IN THE SEDIMENT LOAD OF THE BAIKAL RIVERS: PRELIMINARY ASSESSMENT OF THE CONTRIBUTIONS OF CLIMATE AND ANTHROPOGENIC FACTORS. *Progress in Modern Natural Science*. 2016, 142-148. [in Russian]
 24. DOMYSHEVA, V. M., L. M. SOROKOVIKOVA, V. N. SINYUKOVICH, et al. Ionic Composition of Water in Lake Baikal, Its Tributaries, and the Angara River Source during the Modern Period. *Russian Meteorology and Hydrology* [online]. 2019, 44(10), 687-694

- [cit. 2023-04-26]. ISSN 1068-3739. Dostupné z: doi:10.3103/S1068373919100078 [in Russian]
25. PESTUNOV, Dmitrii A., Valentina M. DOMYSHEVA, Artem M. SHAMRIN, Elena A. TSVETOVA, Mikhail V. PANCHENKO, Gennadii G. MATVIENKO a Oleg A. ROMANOVSKII. Distribution of the Barguzin River waters in the Barguzin Bay estimated by the content of dissolved methane. In: *26th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics* [online]. SPIE, 2020, 2020-11-12, 287- [cit. 2023-04-26]. ISBN 9781510639416. Dostupné z: doi:10.1117/12.2575629 [in Russian]
 26. OPEKUNOVA, M.Y., A.V. BARDASH a S.A. TUKHTA. Structural analysis of river basins of the Upper Angara region. *Geodesy and Cartography* [online]. 2017, 929(11), 50-59 [cit. 2023-04-26]. ISSN 00167126. Dostupné z: doi:10.22389/0016-7126-2017-929-11-50-59 [in Russian]
 27. SINYUKOVICH, V., L. SOROKOVIKOVA, I. TOMBERG, A. GORSHKOVA a G. POPOVSKAYA. Features of modern water quality in the Selenga River delta during the open channel. *Water: Chemistry and ecology*, 2015. [in Russian]
 28. KASIMOV, Nikolay, Galina SHINKAREVA, Mikhail LYCHAGIN, Natalia KOSHELEVA, Sergey CHALOV, Margarita PASHKINA, Josefin THORSLUND a Jerker JARSJÖ. River Water Quality of the Selenga-Baikal Basin: Part I—Spatio-Temporal Patterns of Dissolved and Suspended Metals. *Water* [online]. 2020, 12(8) [cit. 2023-04-26]. ISSN 2073-4441. Dostupné z: doi:10.3390/w12082137
 29. ZEMSKAYA, T., N. BONDARENKO, S. BUKIN, et al. Ecology of estuarine waters in small rivers of Southern Baikal in 2018. *Limnology and Freshwater Biology* [online]. 2020, (4), 1047-1049 [cit. 2023-04-26]. ISSN 26583518. Dostupné z: doi:10.31951/2658-3518-2020-A-4-1047
 30. ZORKALTSEV, V. I., A. N. Kuznetsova a N. M. Sysoeva. ECOLOGICAL PROBLEMS OF BAIKAL. *Journal "EKO"*. [online]. 2018, 48(4), 159-175 [cit. 2023-04-26]. ISSN 0131-7652. Dostupné z: doi:10.30680/ECO0131-7652-2018-4-159-175 [in Russian]
 31. NEZVETSEVA, Olga. The formation of the chemical composition of waters of South Baikal tributaries in the modern period. Irkutsk, 2004.
 32. AFONINA, T., T. KOLOMINA, E. PONOMARENKO a A. SLAUTA. *Assessment of the quality of water resources in the coastal part of Lake Baikal and the sources of their pollution*. Národní výzkumná Irkutská státní technická univerzita, 2015, 37.
 33. DENISOVA, I., L. EFIMOVA, E. SHARAPOVA a S. CHALOV. Distribution of nutrient elements and organic carbon in the lower reaches of the Selenga River. *Limnology and Freshwater Biology* [online]. 2020, (4), 834-835 [cit. 2023-04-27]. ISSN 26583518. Dostupné z: doi:10.31951/2658-3518-2020-A-4-834
 34. CHALOV, S. R., T. G. POTEKINA, M. P. PASHKINA a N. S. KASIMOV. Evolution of Suspended Sediment Budget in the Deltas of Lake Baikal Tributaries. *Russian Meteorology and Hydrology* [online]. 2019, 44(10), 667-673 [cit. 2023-04-27]. ISSN 1068-3739. Dostupné z: doi:10.3103/S1068373919100042
 35. KASIMOV, N., M. LYCHAGIN, S. CHALOV, G. SHINKAREVA, M. PASHKINA, A. ROMANCHENKO a E. PROMAHOVA. Basin Analysis of Substance Flows in Selenga-Baikal System. *Bulletin of Moscow University: Series 5: Geography*. 2016, 67-81.
 36. ASTRAHANCEVA, O. a K. CHUDNENKO. Calculation of forms of existence of components and character of geochemical environment (Eh, Ph, mineralization) in subsystems - deep waters of Lake Baikal reservoirs through internal physical and chemical

- parameters in equilibrium with environmental parameters. *Heliogeophysical research*. 2014, 30-34 [in Russian]
37. ASTRAHANCEVA, O. a L. FILIPPOVA. INVESTIGATION OF THE CONTRIBUTION OF SOUTH, SELENGINSKY, MEDIUM, USHKANEOSTROVSKY AND NORTHERN BAYKAL RESERVE BALANCES. *Bulletin of the Irkutsk State Technical University*. 2014, № 10, 68-80 [in Russian]
 38. OGANESYANTS, Lev, Elena SEVOSTIANOVA, Elena KUZMINA, Mikhail GANIN, Eugene CHEBYKIN a Aleksandr SUTURIN. Isotopic and Chemical Composition of the Deep Water of Lake Baikal. *Food Processing: Techniques and Technology* [online]. 2022, 51(4), 723-732 [cit. 2023-04-27]. ISSN 2074-9414. Dostupné z: doi:10.21603/2074-9414-2021-4-723-732
 39. ULZETUEVA, I., B. GOMBOEV, V. BATOMUNKUEV, D. ZHAMYANOV a V. MOLOTOV. Critical parameters of the negative impact on the ecosystem of Lake Baikal and the main directions of improving its ecological condition. *Ecology and Industry in Russia*. 2021, 57-63. Dostupné z: doi:10.18412/1816-0395-2021-10-57-63
 40. KISELEVA, Natalya P., Michael B. KHODYASHEV a Svetlana A. VARYUKHINA. Assessment and prospects for reducing the Selenga River and Lake Baikal biogenic pollution resulted from point sources and areal/diffuse runoff. *Water sector of Russia problems technologies management* [online]. 2021, (6), 58-80 [cit. 2023-04-27]. ISSN 1999-4508. Dostupné z: doi:10.35567/1999-4508-2021-6-4
 41. KASIMOV, N., N. KOSHELEVA, M. LYCHAGIN a N. KASIMOVA. *Selenga-Baikal ecological-geographical atlas-monograph*. Moscow: Geographic Faculty of Moscow State University, 2019.
 42. LOMONOSOV, I., V. PAMPURA a A. GAPON. MEAN ANNUAL CONTENT OF COMPONENTS IN BOTTOM SEDIMENTS OF THE SOUTHERN, SELENGA, MIDDLE, USHKANYOSTROV, AND NORTHERN RESERVOIRS OF LAKE BAIKAL. *Monitoring of the condition of Lake Baikal. L.: Gidrometeoizdat*. 1991, 76-94.
 43. ASTRAKHANTSEVA, Olga Yu. a Oleg Yu. PALKIN. Average annual background quantity of chemical elements and organic matter in the streams of the "River" environment flowing into Lake Baikal reservoirs. *XXI century. Technosphere Safety* [online]. 2020, 5(4), 433-447 [cit. 2023-04-27]. ISSN 25001582. Dostupné z: doi:10.21285/2500-1582-2020-4-433-447 [in Russian]
 44. VOTINCEV, K. Chemical balance of Lake Baikal and some aspects of forecasting its possible changes. *Geography and Natural Resources*. 1982, 50-55.
 45. Federální zákon Ruské Federace ze dne 1. května 1999 N 94-FZ o ochraně jezera Bajkal. Dostupné z: <https://www.meteorf.gov.ru/special/documents/6/32/2/>.
 46. SILOW, Eugene. *The Present State of Human Impact on Lake Baikal*. Journal of Siberian Federal University: Scientific Research Institute of Biology Irkutsk State University, 2013, 388-404.

Seznam použitých zkratek

BSK₅ Biochemická spotřeba kyslíku

BAM Bajkalsko-amurské magistrály

BPU Bajkalské přírodní území

BÚOP Bajkalský ústav ochrany přírody

FSRI Federální státní rozpočtová instituce

GI SP RAV Geografický institut Sibiřské pobočky Ruské akademie věd

HEMC Hydrometeorologické a environmentální monitorovací centrum

HHI Hydrochemický institut

CHSK Chemická spotřeba kyslíku

LI Limnologický institut

MAV Mongolská akademie věd

MPC Maximální přípustná koncentrace

MSU Moskevská státní univerzita

MVE Malá vodní elektrárna

OL Organické látky

PAU Polyaromatické uhlovodíky

RAV Ruská akademie věd

SanPiN Státní hygienické a epidemiologické předpisy a nařízení

SPA Syntetické povrchově aktivní látky

ÚHMŽP Ústřední úřad pro hydrometeorologii a monitorování životního prostředí

UV Uhlovodíky

UVS Uhlovodíkové sloučeniny

ZHS Zabajkalská hydrometeorologická služba