

Научная статья  
УДК 504.05+630.43  
EDN WVTILP  
DOI 10.24419/LNI.2304-3083.2024.2.09

## К вопросу о влиянии лесных пожаров на экосистему озера Байкал: аналитический обзор

**Александр Александрович Мартынюк<sup>1</sup>**  
доктор сельскохозяйственных наук, академик РАН

**Ирина Геннадьевна Трушина<sup>2</sup>**

**Юлия Анатольевна Сергеева<sup>3</sup>**  
кандидат биологических наук

**Наталья Ивановна Трушина<sup>4</sup>**

**Юлия Ивановна Макеева<sup>5</sup>**

**Аннотация.** В обзоре представлены данные о лесопирологической ситуации на Байкальской природной территории, отражены закономерности влияния лесных пожаров на динамику и состояние лесов. На основе обобщения результатов опубликованных научных исследований и собственных экспертных расчетов проведена оценка загрязнения атмосферного воздуха над акваторией Байкала продуктами горения лесных материалов и связанных с этим отрицательных эффектов, что может выражаться в изменении гидрологического и гидрохимического режима водной среды, потенциала биологического разнообразия и жизнеспособности гидробионтов.

Результаты анализа научных источников не дают достаточных оснований считать пирогенный фактор главной причиной наблюдаемых негативных изменений состояния водной экосистемы озера. В целях усиления доказательной базы оценок воздействия на нее лесных пожаров требуется дальнейшее проведение специальных экспериментальных исследований в данном направлении.

**Ключевые слова:** озеро Байкал, Байкальская природная территория, защитные леса, лесные пожары, загрязнение атмосферы, гидрологический режим озера, гидрохимические показатели, гидрологические сообщества.

**Для цитирования:** Мартынюк А.А., Трушина И.Г., Сергеева Ю.А., Трушина Н.И., Макеева Ю.И. К вопросу о влиянии лесных пожаров на экосистему озера Байкал : аналитический обзор. – Текст: электронный // Лесохозяйственная информация. 2024. № 2. С. 107–132. DOI 10.24419/LNI.2304-3083.2024.2.09. <https://elibrary.ru/wvtilp>

<sup>1</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, директор (Пушкино, Московская область, Российская Федерация), [vniilm\\_martinuk@mail.ru](mailto:vniilm_martinuk@mail.ru)

<sup>2</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, старший научный сотрудник лаборатории лесоводства и использования лесов (Пушкино, Московская область, Российская Федерация), [lesvniilm@yandex.ru](mailto:lesvniilm@yandex.ru)

<sup>3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, заместитель заведующего отделом защиты леса – Центр приоритетных биотехнологий в защите леса, заведующий лабораторией биологических методов защиты леса (Пушкино, Московская область, Российская Федерация), [sergeeva.vniilm@gmail.ru](mailto:sergeeva.vniilm@gmail.ru)

<sup>4</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, аспирант, ученый секретарь (Пушкино, Московская область, Российская Федерация), [nataliya\\_trushina@gmail.com](mailto:nataliya_trushina@gmail.com)

<sup>5</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации лесного хозяйства, аспирант, инженер I категории (Пушкино, Московская область, Российская Федерация), [studiumshilfe@yandex.ru](mailto:studiumshilfe@yandex.ru)

Original article

EDN WVTILP

DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.09

## On the Question of the Influence of Forest Fires on the Ecosystem of Lake Baikal: Analytical Review

**Alexander A. Martynyuk<sup>1</sup>**

*Doctor of Agricultural Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences*

**Irina G. Trushina<sup>2</sup>**

**Yulia A. Sergeeva<sup>3</sup>**

*Candidate of Biological Sciences*

**Natalia I. Trushina<sup>4</sup>**

**Yulia I. Makeeva<sup>5</sup>**

**Abstract.** The article presents data on the forest-pyrological situation in the Baikal natural territory, reflects the patterns of the influence of forest fires on the dynamics and condition of forests. Based on the generalization of the results of published scientific research and our own expert calculations, an assessment of atmospheric air pollution over the Baikal water area by products of burning forest and related negative effects, changes in the hydrological and hydrochemical regime of the lake ecosystem, and the state of hydrobionts was carried out. Gorenje The results of the analyzed scientific sources do not provide sufficient grounds to consider the forest-pyrogenic factor as the main cause of the observed negative changes in the state of the lake's aquatic ecosystem. In order to strengthen the evidence base for assessing the impact of forest fires on it, further special experimental studies in this direction are required.

**Key words:** Lake Baikal, Baikal natural territory, protective forests, forest fires, air pollution, hydrological regime of the lake, hydrochemical indicators, hydrological communities.

**For citation:** Martynyuk A., Trushina I., Sergeeva Yu., Trushina N., Makeeva Yu. On the Question of the Influence of Forest Fires on the Ecosystem of Lake Baikal : Analytical Review. – Text : electronic // Forestry Information. 2024. № 2. P. 107–132. DOI 10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.09. <https://elibrary.ru/wvtilp>

<sup>1</sup> Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Director (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), vniilm\_martinuk@mail.ru

<sup>2</sup> Russian Research Institute of Forestry and Forestry Mechanization, Senior Researcher at the Laboratory of Forestry and Forest Management (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), lesvniilm@yandex.ru

<sup>3</sup> Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Deputy Head of the Forest Protection Department – Center for Priority Biotechnologies in Forest Protection, Head of the Laboratory of Biological Methods of Forest Protection (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), sergeeva.vniilm@gmail.ru

<sup>4</sup> Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Postgraduate Student, Academic Secretary (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), nataliya\_trushina@gmail.com

<sup>5</sup> Russian Research Institute for Silviculture and Mechanization of Forestry, Postgraduate Student, Engineer of the I Category (Pushkino, Moscow region, Russian Federation), studiumshilfe@yandex.ru

## Введение

Леса бассейна озера Байкал выполняют исключительно важные для его экосистемы водоохранные, водорегулирующие, средообразующие, защитные и иные функции, играя глобальную роль в сохранении уникальной водной экосистемы и природного комплекса всего региона. Интегральным параметром лесов, характеризующим указанные целевые функции, является лесистость территории бассейна озера, поэтому любые действия, которые приводят к ее снижению, совершенно оправданно рассматриваются в качестве потенциальных рисков нарушения естественного равновесия природных процессов, ухудшения состояния объектов и возможной последующей их деградации.

К одному из главных факторов, влияющих на сохранность лесов, их состояние и продуктивность, относятся лесные пожары, которые в зависимости от их характера приводят к радикальному повреждению или гибели лесных насаждений, оказывают воздействие на смежные природные объекты и сообщества.

Основные проблемные вопросы в сфере охраны озера Байкал, существующие на настоящий момент, сформулированы научным советом СО РАН по проблемам озера Байкал и представлены в Отчете о работе Научного совета СО РАН по проблемам озера Байкал за 2022 г., к ним отнесены: 1) главная современная угроза экосистеме Байкала – критическое состояние прибрежной зоны озера; 2) отсутствие комплексной системы мониторинга уникальной экосистемы озера Байкал; 3) отсутствие очистки стоков, поступающих в озеро Байкал, связанное с неэффективностью действующих очистных сооружений и их критической недостаточностью, в первую очередь, в прибрежных поселениях; 4) проблемы формирования и реализации задачи по ликвидации накопленных отходов Байкальского ЦБК на сейсмоопасной территории; 5) регулирование уровня озера Байкал и его влияние на состояние экосистемы озера Байкал; 6) экологически безопасное энерго-теплоснабжение Байкальской природной территории (далее – БПТ), в том

числе центральной экологической зоны; 7) изменения в законодательстве, снижающие строгость правовых режимов в отношении охраны озера Байкал.

Таким образом, оценка состояния лесов Байкальского региона не выделена научным сообществом в отдельную большую проблему. Вместе с тем в государственном докладе «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2022 году» отмечено, что вопросы горимости лесов, оценки степени пожароопасности лесных экосистем Байкальской природной территории также являются актуальными, в том числе и вопрос оценки уровня влияния лесных пожаров на экосистему озера Байкал [1].

Цель работы – на основе обобщения результатов опубликованных научных исследований и собственных экспертных расчетов дать оценку загрязнения атмосферного воздуха над акваторией Байкала продуктами горения лесных материалов и связанных с этим отрицательных эффектов.

## Результаты и обсуждение

Общая площадь лесов на землях лесного фонда в пределах Байкальской природной территории составляет 29 507,0 тыс. га, лесистость территории – 79,8 %. Защитные леса занимают 13 054,0 тыс. га (44 % площади земель лесного фонда БПТ), эксплуатационные леса – 15 100,7 тыс. га (52 %), резервные леса – 1 352,3 тыс. га (4 %) [1].

На Байкальской природной территории действуют 52 лесничества трех субъектов РФ (Иркутской обл., Республики Бурятия, Забайкальского края), относящиеся к следующим экологическим зонам БПТ: центральной экологической зоне (ЦЭЗ) – 9 лесничеств, буферной экологической зоне (БЭЗ) – 32 лесничества и экологической зоне атмосферного влияния (ЭЗАВ) – 11 лесничеств.

Состав лесов БПТ представлен одними и теми же лесообразующими породами во всех трех субъектах РФ – лиственница, сосна, кедр,

ель, пихта, береза, кедровый стланик. На БПТ в Иркутской обл. на землях, занятых лесными насаждениями (8 499 тыс га), преобладают сосняки (25 %) и лиственничники (25 %), также широко представлены кедровники (17 %), ельники занимают 5,3 % площади; среди лиственных лесов доминируют березняки (17 %). В Республике Бурятия в породном составе лесопокрытых земель (11 588,4 тыс. га) преобладают хвойные насаждения: лиственница – 34,2 %, сосна – 27,3 %, кедр – 8,7 %, пихта – 2,3 %, кедровый стланик – 8,8 %; мелколиственными занято 13,1 % площади (береза – 8,9 %, осина – 4,1 %). В пределах БПТ в Забайкальском крае на 77,2 % площади земель, занятых лесными насаждениями (4 781,91 тыс. га), произрастают хвойные (преимущественно лиственничники – 40,0 %, сосняки – 22,5 %, кедровники – 15,2 %), на 17,2 % – мягколиственные (березняки), на 5,6 % – кустарники [1].

Непосредственно к побережью Байкала примыкают 11 особо охраняемых природных территорий, в том числе 3 заповедника, 3 национальных парка, 5 заказников. Всего на территории БПТ находятся 32 ООПТ (5 заповедников, 4 национальных парка, 21 заказник, 1 природный парк, 1 учебно-научный стационар), 128 памятников природы, 6 рекреационных местностей и 52 лесничества. При этом свыше 80 % территории относится к лесным ландшафтам [1].

Леса, расположенные на современной Байкальской природной территории, были и остаются подверженными воздействию регулярно повторяющихся пожаров, что в значительной степени обусловлено специфическим климатом (засушливые условия, малоснежная зима, длительная весенне-летняя атмосферная и почвенная засухи, часто повторяющиеся сильные ветры), высотно-поясной структурой растительных комплексов и доминированием в лесных массивах пожароопасных типов светлохвойных насаждений [2, 3].

Еще в XVIII–XIX вв. и в более раннем периоде леса Байкальского бассейна, несмотря на их слабую освоенность, были значительно нарушены лесными пожарами вследствие палов, которые

проводило местное население [4–6]. Пирогенное воздействие на леса заметно усилилось по мере расширения площадей рубок и лесозаготовок с 1895 г. в связи с началом строительства Транссибирской магистрали. В южном Прибайкалье в начале XX в. в результате воздействия повторяющихся пожаров на месте коренной темнохвойной тайги (с преобладанием кедра) образовалась довольно протяженная полоса прибрежных мелколиственных лесов. Катастрофическая горимость лесов в Байкальском бассейне наблюдалась в 1915 г. Позднее значительные повреждения лесным насаждениям региона нанесли пожары 1930-х и 1950-х гг., возникавшие на разных этапах промышленного освоения лесов [7].

Так, гари, образовавшиеся после гибели сосновых насаждений в долине Верхней Ангары, в начале 1930-х гг. занимали площадь 17,6 тыс. га, гари лиственницы – 103,1 тыс. га. В том же районе отмечалось понижение верхней границы леса после пожаров, уничтоживших подгольцовые лиственничные редколесья с густым подлеском из кедрового стланика. Крупные лесные пожары, которые в тот период в значительной мере имели антропогенный характер, на всех высотных поясах нарушали древесный и кустарниковый полог, живой напочвенный покров, вызывая необратимые изменения лесной среды, особенно в темнохвойных лесах, и, прежде всего, в кедровых насаждениях [5].

По данным А.В. Побединского [8], одни и те же сосновые насаждения Забайкалья в XIX в. подвергались воздействию пожаров от 11 до 17 раз, а в первой половине XX в. – от 6 до 10 раз. В то же время в сосняках Приангарья количество лесных пожаров было в 2 раза меньше. Можно утверждать, что в предыдущие периоды и до настоящего времени лесные пожары в совокупности с рубками являются главными факторами, определяющими динамику лесных сообществ региона, оказывая влияние на процессы возобновления и формирования леса, породный состав насаждений, возрастную структуру древостоев и видовое разнообразие растительного покрова [9, 10].

Заметное снижение объёмов усыхания лесов от пожаров на Байкальской территории наблюдалось в 1970–1980-е гг., что в значительной степени было достигнуто благодаря целенаправленным исследованиям природы лесных пожаров и совершенствованию противопожарной охраны. Научной основой этих преобразований послужили соответствующие разработки Института леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР (ныне Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН).

С начала 2000-х гг. проблема природных пожаров на БПТ вновь обострилась. Увеличились темпы роста как числа, так и площади пожаров. По сравнению с 17-летним периодом конца XX в. (1983–1999 гг.), в начале XXI в. за 17 лет (2000–2016 гг.) среднее количество пожаров возросло в 2 раза, а их площади – почти в 10 раз. Если до 2000 г. на один пожар приходилось в среднем 20 га, то после 2000 г. – 220 га, т. е. большинство пожаров стали относить к категории крупных [11, 12].

Повторяемость катастрофических пожаров достаточно тесно коррелирует с данными климатических экстремумов. Наиболее засушливые условия на территории всего бассейна складывались в 2000, 2003, 2007, 2009, 2015, 2017 гг. При этом максимальное число возгораний зарегистрировано в 2003 г. (3 780 случаев). Экстремальные площади (1 096 тыс. га), пройденные лесными пожарами в средней и северной части бассейна Байкала, отмечены в 2015 г., когда на землях лесного фонда БПТ было зафиксировано 2 674 лесных пожара [13, 14]. В последующие годы напряженность лесопожарной ситуации снизилась.

На основе данных официальной отраслевой статистики, за последние 5 лет средняя ежегодная площадь, пройденная огнем, составила 101,8 тыс. га; средняя площадь одного потушенного пожара – 176,5 га. Наименьшее количество и площадь пожаров за этот период приходятся на 2021 г. – наиболее благополучный в пожарном отношении – 165 пожаров со средней площадью одного потушенного пожара 48,8 га. Доля площади, охваченной верховыми пожарами, за последние 5 лет составила 2,4 %

(12,3 тыс. га) общей площади, пройденной пожарами [1].

Анализ литературных источников показывает, что влияние огня на лесные насаждения БПТ и их послепожарное состояние в значительной степени зависит от природных особенностей лесного района, вида, интенсивности и повторяемости пожаров, которые по-разному проявляются в различных условиях местопроизрастания, рельефа местности, а также от породного состава и возраста древостоев. Например, вероятность развития верховых пожаров значительно повышается на крутых склонах в горных лесах и в лесостепных борах, а также на равнинных участках в насаждениях с низкоопущенными кронами деревьев.

Наибольшая горимость лесов, в первую очередь связанная с погодными условиями (небольшое количество осадков, их неравномерное распределение по сезонам года, малое количество снега зимой, раннее снеготаяние весной, жаркое лето, атмосферные и почвенные засухи), характерна для лесов *Байкальского горного лесного района*, охватывающего часть территории Республики Бурятия и Забайкальского края. Эскалации пожарной опасности способствует преобладание сосняков и лиственничников в составе лесов, а также высокая интенсивность рубок, которые, снижая полноту насаждений и изменяя световой режим в них, приводят к более раннему наступлению пожароопасного периода, повышению сухости условий местопроизрастания и увеличению запасов лесных горючих материалов. Интенсивность пожаров и степень их послепожарного воздействия усиливает захламенность насаждений, в том числе порубочными остатками [2, 15].

По данным Л.В. Буряк [15], в сосновых насаждениях на песчаных и супесчаных сухих почвах вследствие незначительной мощности живого напочвенного покрова развиваются беглые пожары. При слабой и средней интенсивности таких пожаров из-за быстротечного сгорания рыхлого слоя опада, отсутствия нагревания луба и повреждения корней деревьев отпад деревьев не превышает 8 %, однако при высокой интенсивности он может достигать 35 %.



Для свежих и влажных условий местопроизрастания сосновых и сосново-лиственничных насаждений на супесчаных и суглинистых свежих и влажных почвах, вследствие большого запаса лесных горючих материалов (ЛГМ) и их повышенной влажности, характерно более продолжительное воздействие огня. В результате при низовых пожарах низкой и средней интенсивности отпад в древостоях может составлять 6,5–18,5 % запаса, достигая при высокой интенсивности 36 %. На переувлажненных и мерзлотных почвах, где накапливается значительный запас лесных горючих материалов, у лиственницы формируется поверхностная корневая система, что при заглублинии огня в подстилку обуславливает еще большую степень повреждения деревьев, а чаще практически полную гибель древостоев.

Интенсивность пожара, как и в других лесных районах, при прочих равных лесорастительных условиях, закономерно возрастает с увеличением крутизны склона. На свежих и влажных почвах в сосново-лиственничных насаждениях, произрастающих на крутых склонах, отпад в древостоях после воздействия устойчивых пожаров низкой и средней интенсивности составляет 32–39 % запаса, а после устойчивых низовых пожаров высокой интенсивности может достигать 67 %.

После верховых пожаров, характерных для регионов, где произрастают сосновые насаждения, как правило, наблюдается полная гибель древостоев. В момент распускания почек возможно развитие верховых пожаров и в лиственничных и даже в березовых насаждениях. Усугубляет последствия огневого воздействия расположение насаждений в ложбинах, где отпад по запасу в лиственничных древостоях составляет в среднем 83 %, в березовых и осиновых – до 100 % [15].

В насаждениях *Алтае-Саянского горнотаежного лесного района* наибольшая степень повреждения насаждений отмечается при низовых пожарах, что связано с сильным прогоранием поверхностной корневой системы светлохвойных пород, а также с частым переходом низовых пожаров в верховые. При этом если при беглых низовых пожарах признаков ослабления древостоя обычно не наблюдается, то при слабой или средней их

интенсивности отпад может составлять 10–30 % и даже более 40 % запаса. Степень повреждения увеличивается при распространении пожара вверх по склону, достигая на крутых склонах 65 %. В высокогорных условиях, даже при устойчивых низовых пожарах низкой интенсивности, когда высота нагара на деревьях, как правило, не превышает 0,5 м, отпад может достигать 30–80 % запаса с большим количеством вывалов деревьев, в том числе сохранивших живую крону. Степень повреждения пожарами темнохвойных насаждений значительно выше, так как устойчивость ели, пихты и кедра ниже, чем у сосны и лиственницы. Послепожарное усыхание насаждений продолжается в течение 3–5 лет; в последующие 1–2 года обычно происходит массовый вывал деревьев, которые практически полностью разлагаются на протяжении 20 лет [15].

Наименьшая на БПТ степень повреждения лесными пожарами присуща лесам *Среднесибирского подтаёжно-лесостепного района*, где преобладают насаждения травяных групп типов леса. Пик горимости, для которого характерно развитие беглых низовых пожаров, обычно приходится на весенний период; в отдельные годы могут возникать осенние и значительно реже – летние пожары [10]. Обычно величина отпада не превышает 31 % запаса, поскольку пожары возникают в ранневесенний период, когда воздействие огня непродолжительно. Чаще пожарам подвержены насаждения на крутых склонах южных экспозиций, где обычно выше и сила пожара и, как следствие, послепожарный отпад [15].

Первоочередная реакция экосистемы Байкала на воздействие лесных пожаров может напрямую или опосредованно проявляться в загрязнении атмосферного воздуха продуктами горения лесных материалов и связанных с этим отрицательных эффектов, изменении гидрологического и гидрохимического режима водной среды, потенциала биологического разнообразия и жизнеспособности гидробионтов.

Ниже приводится оценка влияния лесных пожаров на приоритетные компоненты экосистемы Байкала: атмосферный воздух, водность озера (уровень воды в озере), гидрохимические

показатели вод и гидробиологические сообщества озера.

**Загрязнение атмосферного воздуха.** При горении лесной биомассы образуется множество различных частиц и газов, влияющих на состояние и динамику химического состава земной атмосферы. Вместе с горячим воздухом, помимо углерода в виде диоксида (порядка 30 %), монооксида и сажи (около 5 %), оксида кремния (около 1 %), выбрасываются: метан (около 25 %); оксиды азота (порядка 0,01 %); диоксид серы, серная кислота, сероводород, синильная кислота, уксусная кислота (около 10 %); формальдегид, летучие и полунлетучие органические соединения (толуол, бензол, ацетон, акролеин, антрацен, метанол, ацетонитрил, изопрен, алкены, метилхлорид, метилвинилкетон и др.), а также металлы (ртуть, кадмий, мышьяк, цезий, стронций, свинец, плутоний, цинк, ванадий, марганец, сурьма), в том числе радиоактивные, находившиеся в почве, лесной подстилке, коре и древесине деревьев. Имеются данные, что в составе лесопожарных эмиссий присутствует примерно 27 % неорганических и 63 % органических веществ, из них газообразных и жидких – около 95 % выделяемой массы [16–22].

Выбросы оксида углерода, метана и летучих органических соединений влияют на окислительную способность тропосферы, что приводит к образованию озона и других фотоокислителей. Эмиссия бромистого метила, наоборот, способствует фотодеградации озона в стратосфере. Твердые частицы в воздухе могут вызвать подкисление облаков, изменение радиационного баланса Земли. Дым, образующийся в результате лесных пожаров и состоящий из аэрозольных частиц разного размера и газов, ухудшает качество атмосферного воздуха на огромных территориях из-за массивных шлейфов, переносимых ветром на большие расстояния [18–23].

Особенности выхода токсикантов и токсичность продуктов горения древесины во многом определяются ее разновидностью, химическим и элементным составом, климатическими условиями произрастания. Древесина всех пород относится к высокоопасным по токсичности

продуктов горения материалам, однако хвойные породы более опасны в этом отношении по сравнению с лиственными, независимо от места их произрастания [24, 25].

При этом масса выбрасываемых загрязняющих веществ при горении древесины в среднем в 34 раза больше, чем при горении лесных горючих материалов, что определено в результате детальных исследований лесного пожара (площадь 1 250 га) в мае 2019 г. на территории Прибайкальского лесничества Прибайкальского национального парка. Установлено, что наибольшие объемы выбросов пришлось на оксид углерода, диоксид углерода и сажу. К приоритетным загрязнителям атмосферы, кроме соединений углерода, по величине максимальных концентраций (более чем в 50 раз выше ПДК<sub>м.р.</sub>), отнесен ацетальдегид, который характеризуется I классом опасности. Максимальные концентрации ацетона и диоксида азота составили 10 ПДК<sub>м.р.</sub> (максимально разовых предельно допустимых концентраций), а максимальный радиус распространения – 100 м от эпицентра пожаров [26].

Общее представление о влиянии лесных пожаров дают результаты регулярных измерений концентрации вредных примесей на станциях мониторинга атмосферы в пределах территории ЦЭЗ БПТ. Так, на станции «Листвянка», расположенной на юго-западном побережье Южного Байкала, в период наиболее высокой дымовой эмиссии в регионе (июнь–август 2018–2019 гг.), установлено преобладание в составе атмосферного аэрозоля ионов калия, аммония и сульфатов.

В августе 2021 г. в г. Байкальске отмечалась среднесуточная концентрация взвешенных частиц PM<sub>10</sub> на уровне 23,3 ПДК<sub>с.с.</sub> (среднесуточных предельно допустимых концентраций), что было связано с задымлением атмосферного воздуха за счет переноса воздушных масс со стороны территорий Республики Саха (Якутия) и северной части Иркутской обл., охваченных лесными пожарами. При этом возростала доля аэрозольных частиц крупного размера ( $d = 0,19$  мкм), а уровень мутности атмосферы увеличился почти в 4 раза [1, 27].

По данным Лимнологического института СО РАН [20], над акваторией озера при отсутствии пожаров концентрации оксида и диоксида азота существенно увеличивались в прибрежной части под влиянием антропогенных источников, расположенных на берегу. С отходом судна на несколько десятков метров от берега их содержание приближалось к фоновым значениям (по диоксиду азота – до  $4 \text{ мкг/м}^3$ ; по оксиду азота – до  $1 \text{ мкг/м}^3$ ). При выносе дымового шлейфа на акваторию озера (мыс Слюдянский, северная котловина озера) максимальные концентрации диоксида азота достигали  $59 \text{ мкг/м}^3$  (увеличение в 15 раз), оксида азота –  $162 \text{ мкг/м}^3$  (увеличение более чем в 150 раз). Повышенное загрязнение диоксидом азота (более  $8 \text{ мкг/м}^3$ ) наблюдалось над серединой Северного Байкала на протяжении 20 км.

Экспериментальные исследования на Байкале, проведенные в 2019 г. по научному проекту РФФИ в ходе совместных экспедиционных исследований с участием институтов СО РАН (Лимнологический институт СО РАН – ЛИН СО РАН, Иркутск; Институт физического материаловедения СО РАН – ИФМ СО РАН, Улан-Удэ; Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН – ИОА СО РАН, Томск), показали, что на восточном побережье Северного Байкала (бухта Сосновка) в период дымового смога вблизи очага лесного пожара концентрации  $\text{SO}_2$  в атмосферном воздухе достигали  $47 \text{ мкг/м}^3$  при фоновых значениях  $2\text{--}5 \text{ мкг/м}^3$ , озона – до  $20 \text{ мкг/м}^3$ ; концентрация оксидов азота была ниже предела обнаружения. Содержание сажи в дымах шлейфов от пожаров превышало фоновый уровень в 25 раз, а в отдельных случаях – более чем в 100 раз. Воздействие пожаров дополнялось антропогенными источниками, расположенными на побережье, а также выносами загрязненных воздушных масс по долинам крупных рек Баргузин и Селенга. Так, в атмосфере побережья Южного Байкала, отличающегося развитой антропогенной деятельностью, концентрации сажи примерно в 6 раз превышали ее средние значения, регистрируемые на Среднем и Северном Байкале [28, 29].

Для пространственно-временной изменчивости концентраций газовых примесей ( $\text{O}_3$ ,  $\text{NO}_2$ ,

$\text{SO}_2$ ) в атмосфере над озером при перемещении воздушных масс из подверженных лесным пожарам отдаленных территорий Иркутской обл., Красноярского края и Республики Саха (Якутия) характерно крайне неоднородное распределение по акватории – на общем фоне повышенного их содержания наблюдались локальные участки максимальных концентраций. Согласно данным корабельных лидарных измерений, в отдельные дни июля дымовой аэрозоль в атмосфере поднимался до 3–5 км с последующим заполнением им нижней тропосферы Среднего и Северного Байкала, где фоновые значения были превышены в десятки раз [27].

Установлено, что концентрация примесей над акваторией озера может изменяться в зависимости от содержания водяного пара в атмосфере: при его увеличении на порядок концентрация перексоазотной кислоты ( $\text{HNO}_4$ ) изменяется в 7 раз, азотистой ( $\text{HNO}_2$ ) – в 5 раз, азотной кислоты ( $\text{HNO}_3$ ) – в 4 раза [21]. На распространение и трансформацию загрязняющих веществ значимое влияние оказывают также направление и скорость ветров. Так, снижение скорости ветров северо-западных румбов до  $3 \text{ м/с}$  приводило к увеличению значений концентраций большинства вредных примесей; юго-западные и юго-восточные ветры уменьшали загрязнение, способствуя очищению атмосферы [20].

Кроме отмеченных выше атмосферных примесей, в ходе экспериментальных исследований ЛИН СО РАН и ИФМ СО РАН во время лесных пожаров над акваторией Байкала зафиксирован ацетальдегид, максимальные концентрации которого достигали  $50 \text{ ПДК}_{\text{м.р}}$  и более, а также ацетон (до  $10 \text{ ПДК}_{\text{м.р}}$ ). В атмосфере районов, подверженных антропогенному воздействию (у п. Листвянка, г. Байкальска, г. Слюдянка), над озером обнаруживались полиароматические углеводороды (ПАУ) (флуорантен, пирен, бенз[b]флуорантен, бенз[k]флуорантен), суммарные значения концентраций которых достигали  $0,41\text{--}1,2 \text{ нг/м}^3$ , а максимальные значения –  $0,99\text{--}4,6 \text{ нг/м}^3$ . При этом концентрации бенз[a]пирена ( $0,007\text{--}0,20 \text{ нг/м}^3$ ), нормируемого в России канцерогенного вещества, не превышали норм ПДК ( $1 \text{ нг/м}^3$ ). Доказана



положительная корреляция концентраций суммы ПАУ с субмикронными частицами аэрозоля (0,3–1,0 мкм). Присутствие ПАУ в атмосфере Байкала объясняется их возможным переносом от антропогенных источников с территории БПТ (котельные, домовые печи, сжигающие уголь) и природных пожаров [28–30].

В аналитической справке, представленной ЛИН СО РАН письмом от 31.03.2023 № 15356-10-223 по запросу Рослесхоза, на основании результатов исследований нескольких организаций (ЛИН СО РАН, ИФМ СО РАН, ИОА СО РАН) отмечается, что химический состав аэрозоля над акваторией озера во время дымового смога от лесных пожаров и при фоновых условиях значительно различается, особенно по стойким органическим загрязнителям (СОЗ). В составе аэрозоля над озером определено 21 соединение из полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые поступали с продуктами горения от лесных пожаров. Диапазон суммы ПАУ в 2019 г. изменялся от 0,11 до 4,92 нг/м<sup>3</sup> (среднее 0,98 нг/м<sup>3</sup>), в 2020 г. – от 0,07 до 2,5 нг/м<sup>3</sup> (среднее 0,4 нг/м<sup>3</sup>), в 2021 г. – от 0,17 до 4,0 нг/м<sup>3</sup> (среднее 0,78 нг/м<sup>3</sup>). При этом под влиянием дымового смога в составе аэрозоля доминирующими соединениями становятся фенантрен (3,4–14,3 %), флуорантен (11,4–24,5 %), бензо[л]флуорантен (10,7–20,7 %), индено[1,2,3-с,е]пирен (4,2–11,8 %), бензо[с]флуорантен (3,8–11,7 %), пирен (9,9–15,4 %) и бензо[g,h,i]пирен (3,9–10,4 %). Диагностические отношения концентраций ПАУ в основном свидетельствовали о пирогенных источниках этих соединений.

По тем же данным, в июле–августе 2021 г. на восточном побережье Байкала (станция Боярск) средние значения аэрозольной оптической толщи (АОТ), характеризующие мутность атмосферы, при дымовом смоге, вызванном выносами из очагов лесных пожаров Якутии и севера Иркутской обл., в области ультрафиолета (0,34 мкм) увеличились в 4,2 раза, в видимом свете (0,5 мкм) – в 6 раз, в инфракрасной области (1,24 мкм) – в 3,6 раза. Анализ данных вертикального распределения коэффициента аэрозольного ослабления, измеренного лидаром

«CALIOP» космического базирования на спутнике «CALIPSO», показал, что с 7 по 12 августа однородное заполнение тропосферы дымовым аэрозолем на высоте от 5 до 10 км совпадало с его высокими концентрациями в приповерхностном слое атмосферы озера, которые достигали 512 мкг/м<sup>3</sup>.

ЛИН СО РАН накоплены многолетние данные по химическому составу атмосферных выпадений (дождь, снег, сухие осадки) как на научно-исследовательских стационарах, так и над акваторией Байкала. По оценкам, в атмосфере Иркутска и Листвянки за 2012–2017 гг. по сравнению с 2006–2011 гг. увеличилось содержание газообразных соединений серы и азота, что можно связать с развитием автотранспорта и ростом числа лесных пожаров в регионе. Отмечается уменьшение потоков подкисляющих компонентов в атмосфере над акваторией озера: в районе Южного Байкала, в связи с закрытием Байкальского ЦБК, потоки серы снизились на 35 %, азота – на 15 %; на Среднем Байкале – снижение серы достигает 60 %, потоки азота практически не изменились; на Северном Байкале отмечено возрастание азота на 10 % при сокращении серы на 50 %. Суммарные потоки кислотных компонентов (азота и серы) на поверхности озера были значительно выше в 2019 г., что объясняется высоким содержанием дымового аэрозоля в атмосфере этого года [31, 32].

Можно считать, что приведенные выше особенности динамики химического состава атмосферы над акваторией озера являются интегральным итогом техногенного воздействия от действующих на БПТ промышленных предприятий и лесных пожаров, включая перенос продуктов горения ЛГМ воздушными потоками с территории сопредельных лесных регионов. В этой связи важно установить соотношение объема выбрасываемых загрязняющих веществ от техногенных и природных (лесных) источников.

С этой целью нами были выполнены экспертные расчеты объемов выбросов основных загрязняющих веществ от лесных пожаров на Байкальской природной территории с использованием формулы, рекомендованной Минприроды России для расчетов выбросов парниковых газов от пожаров [33]:

$$L_{\text{пож.}} = A \times MB \times C_f \times C_{\text{ef}} \times 10^{-3},$$

где:

$L_{\text{пож.}}$  – количество выбросов от пожара, т каждого вещества;

$A$  – площадь, пройденная пожаром, га;

$MB$  – масса доступного для горения топлива (биомасса, подстилка и мертвая древесина), т/га;

$C_f$  – коэффициент полноты сгорания биомассы, не имеет размерности. Могут быть использованы значения 0,43 для верхового пожара и 0,15 для низового пожара в бореальных лесах;

$C_{\text{ef}}$  – коэффициент выбросов, г/кг сжигаемого сухого вещества.

При расчетах использованы: 1) площади лесов, пройденные лесными пожарами, – приняты по данным отраслевой отчетности по лесничествам с разделением на низовые и верховые пожары; 2) объем сгораемой древесины – определен через средние запасы древостоев в лесничествах с последующим пересчетом в биомассу; 3) масса фракций крон деревьев (ветви, хвоя) – установлена по таблицам биопродуктивности лесов; 4) объем лесных горючих материалов, подроста, подлеска и живого напочвенного покрова – принят по лесотаксационным таблицам; 5) коэффициент полноты сгорания биомассы – принят для низовых пожаров 0,15; для верховых пожаров 0,43 (согласно Методическим указаниям по количественному определению объема поглощения парниковых газов, утвержденным распоряжением Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р) [33]; 6) коэффициенты эмиссии примесей – приняты согласно приказу Госкомитета Российской

Федерации по охране окружающей среды от 05.03.1997 № 90 «Об утверждении методик расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу» [34].

Наши экспертные расчеты показывают, что в наиболее напряженный лесопожарный период (2015 г.), когда площадь лесов на БПТ, пройденная лесными пожарами, превысила 1 млн га, в атмосферу от сгорания лесных горючих материалов было выброшено около 17 млн т неорганических и органических примесей. В 2019 г., при общей площади пожаров на БПТ примерно 228 тыс. га, объем лесопожарных эмиссий снизился до 3,1 млн т. В 2021 г. при практически минимальной площади лесных пожаров – 2,3 тыс. га объем эмиссий сократился на три порядка по сравнению с 2015 г. и составил около 26 тыс. т (таблица).

По данным государственных докладов о состоянии озера Байкал и мерах по его охране, общий объем выбросов от стационарных антропогенных источников, расположенных на БПТ, в 2015–2021 гг. варьировал в пределах 359–701 тыс. т/год [28, 30, 31, 35–38]. Если принять во внимание, что выбросы от стационарных антропогенных источников не учитывают диоксид углерода, то превышение объемов эмиссий от лесных пожаров площадью более 1 млн га над антропогенными объемами может достигать двух порядков. При сокращении площади лесных пожаров на БПТ до минимальных значений доля лесопожарных эмиссий может существенно снижаться, составляя около 6 % и менее от объема антропогенных выбросов стационарных источников.

**Объемы выбросов загрязняющих веществ от лесных пожаров на Байкальской природной территории, тыс. т**

Год	Всего	В том числе по примесям								
		диоксид углерода	оксид углерода	метан	оксиды азота	сажа	дым	бензол	толуол	ксилол
2015	16 556	3 950	5670	3150	17	520	2 900	59	164	126
2019	3 070	730	1050	585	3	97	540	11	30	25
2021	26	6	9	5	0,03	0,8	4,5	0,1	0,3	0,2

### **Водность озера (уровень воды в озере).**

Водосборный бассейн озера Байкал охватывает территорию площадью 541 тыс. км<sup>2</sup> (без площади акватории Байкала – 31,5 тыс. км<sup>2</sup>), из которой 240,5 тыс. км<sup>2</sup> бассейна поверхностного и подземного стока находится на территории Российской Федерации, остальная часть (300,5 тыс. км<sup>2</sup>; 55 % общей площади) – в пределах Монголии. Гидрографическая сеть бассейна включает более 5 000 рек, из которых 1 053 имеют длину 10 км и более, а остальные водотоки представлены небольшими речками и ручьями [39]. В озеро впадает более 300 рек и ручьев, из которых половину объема поступающей в него воды приносит трансграничная река Селенга, берущая начало в Монголии.

Преимущественная часть речного стока в озеро формируется в буферной экологической зоне БПТ в пределах водосборных бассейнов четырех рек – Селенги, Верхней Ангары, Баргузина и Турки. Водосборные бассейны остальных притоков Байкала находятся в центральной экологической зоне БПТ. Из озера Байкал вытекает единственная река Ангара со среднемноголетним объемом годового стока порядка 60 км<sup>3</sup> при расходе воды в истоке – 1 855 м<sup>3</sup>/с [38]. По данным МГУ им. М.В. Ломоносова, после 1996 г. объем поверхностного притока в озеро со стороны всех рек сократился с 62,9 до 54,3 км<sup>3</sup> [40].

Особенность озера Байкал заключается в том, что уровень воды в нем зависит не только от объема выпавших в его водосборном бассейне осадков и притока поверхностных и подземных вод (приход), испарения и стока р. Ангары (расход), но и, начиная с 1959 г., от режима эксплуатации Иркутской ГЭС, поддерживающей среднемноголетний уровень озера на 1 м выше среднего уровня, существовавшего до строительства ГЭС [38]. То есть уровень воды озера Байкал изменяется в зависимости от полезной приточности в озеро и регулирования режимов работы Ангарского каскада ГЭС.

Согласно данным Росводресурса, приходная часть баланса в среднем многолетнем водном балансе озера формируется из притока поверхностных вод – 57,77 км<sup>3</sup> в год (82,4 % приходной

части), атмосферных осадков – 9,26 км<sup>3</sup> (13,2 %), притока подземных вод – 3,12 км<sup>3</sup> (4,4 %) [38]. Основным компонентом приходной части баланса является речной сток, 62 % которого приходится на высокогорную зону избыточного увлажнения [42]. Расходная часть баланса включает сток из озера поверхностных вод р. Ангары – 60,89 км<sup>3</sup> (86,8 % расходной части) и испарение с его поверхности – 9,26 км<sup>3</sup> (13,2 %) [35].

Как известно, лес на речных водосборах выполняет функцию регулирования поверхностного стока и способствует сглаживанию пиков весеннего половодья и дождевых паводков, переводя пиковые нагрузки поверхностного стока в подземный и уменьшая риск возникновения подтопления [42]. При этом научные оценки о влиянии лесов на объем речного стока весьма противоречивы, что можно объяснить большим разнообразием физико-географических условий объектов исследований и различиями в методических подходах к ним. Кроме того, наблюдаемые различия связаны с климатическими условиями (объем осадков, их распределение по видам и сезонам года, температурный режим водосборных бассейнов), размерами водосборных бассейнов, особенностями почвенного покрова (песчаный и щебенистый гранулометрический состав способствует снижению объема поверхностного стока), рельефом территории, породно-возрастным составом лесов и их размещением по площади, а также с иными факторами.

С одной стороны, имеются сведения, что из-за больших расходов воды на испарение и транспирацию лесов речной сток уменьшается; с другой – повышение лесистости водосборов увеличивает сток, причем возрастает роль грунтового питания, особенно в азиатской части страны. Согласно исследованиям водности рек, на территории европейской части бывшего СССР Институтом лесоведения (Лабораторией лесоведения) РАН в 67 % случаев зафиксировано превышение годового стока рек на лесных водосборах по сравнению с малооблесенными территориями. При этом в избыточно увлажненных зонах данная закономерность наблюдалась в 75 % случаев (прирост годового стока достигал

270 м<sup>3</sup>/га), во влажной – в 66 % (100 м<sup>3</sup>/га), в слабозасушливой – 61 % (24 м<sup>3</sup>/га) [43]. Исследования, выполненные В.В. Рахмановым, показывают, что в различных климатических зонах и почвенно-геологических условиях равнинной части европейской территории СССР и частично Сибири с увеличением лесистости годовой (средний многолетний и по периодам) сток рек возрастает [44]. При этом изменение лесистости на каждые 10 % обеспечивает увеличение стока на 10–20 мм.

По данным ФБУ ВНИИЛМ, более благоприятный гидрологический режим рек формируется при сравнительно равномерном распределении лесов по площади – на склонах водоразделов, вдоль гидрографической сети, вокруг озер и водохранилищ [45], хотя имеются сведения, что закономерность по увеличению стока в связи с повышением лесистости наблюдается при определенном ее пределе (20–35 %) [46]. По данным ИЛ СО РАН [47], при увеличении лесистости сток рек в маловодные годы возрастает, а в многоводные – снижается. При этом наиболее интенсивное изменение стока происходит при диапазоне лесистости 0–30 % независимо от водности цикла, а увеличение лесистости более 60 % мало влияет на объем стока. Авторы приходят к выводу, что за оптимальную водоохранную лесистость следует принять диапазон 30–60 %. Таким образом, следует признать, что высокая лесистость бассейна Байкала служит гарантией сохранения водного режима озера [47].

В отношении вопроса по влиянию обезлесения в результате рубок и лесных пожаров на объем стока и гидрологический режим водных объектов также не существует единого мнения [48]. По данным исследований ИЛ СО РАН [49, 50, 51], выполненных на объектах, сходных по природным условиям с Байкальской природной территорией, на фоне рубок на протяжении двух десятилетий наблюдается снижение стока примерно на 0,5–1,3 мм ежегодно. В последующем, особенно с

началом формирования на вырубках лиственных молодняков, сток увеличивается на 1,5–3 мм/год, компенсируя его потери, вызванные рубками. Есть мнение, что влияние лесных пожаров на сток с лесных территорий выражено менее сильно по сравнению со сплошными рубками, однако на объем стока влияют не только площади гарей (как и вырубок) предшествующего года, но и их суммарные площади прошлых лет [52].

Наши экспертные оценочные расчеты показывают<sup>1</sup>, что при площади возникших за последние 20 лет на БПТ низовых (3 931 тыс. га) и верховых (138 тыс. га) пожаров снижение речного стока, обусловленное сокращением лесопокрываемых площадей, по состоянию на 2023 г., – 0,02 км<sup>3</sup>. Данная величина составляет лишь 0,04 % ежегодного среднемноголетнего поступления в озеро поверхностных вод (57,8 км<sup>3</sup>), формирующих основную часть его водного баланса, она находится в пределах ошибки расчетов и не может оказать значимого влияния на водный баланс озера.

#### *Гидрохимические показатели вод озера.*

Байкальская вода на всех глубинах, включая устье р. Ангары, характеризуется постоянным гидрокарбонатным кальциевым составом с минерализацией (около 100 мг/дм<sup>3</sup>) и постоянным насыщением кислородом (10–12 мг/дм<sup>3</sup>). Природные изменения химического состава воды озера Байкал происходят, преимущественно, в поверхностном, наиболее насыщенном кислородом, слое, прогреваемом летом и перемешиваемым в зимний период из-за постоянной циркуляции подледных течений [38].

Лесные пожары, вызывая повреждение и гибель насаждений, кроме влияния на водный баланс речных бассейнов, приводят к изменению биотического баланса, усиливая разложение органического вещества вследствие трансформации влажности и температурного режима, а также к увеличению водной и ветровой эрозии почв в прибрежных зонах, обуславливая размыв берегов и обмеление рек. После пожаров роль

<sup>1</sup> При расчетах принято: 1) влияние лесных пожаров идентично влиянию сплошных рубок; 2) площади лесов, пройденных пожарами разной интенсивности на БПТ, приводятся по данным отраслевой отчетности; 3) снижение объема стока при верховых пожарах – 1,3 мм/год, при низовых пожарах – 0,5 мм/год; влияние пожаров на сток на не покрытых лесом площадях не учитывалось; 5) период послепожарного восстановления лесного покрова – 20 лет.

лесных насаждений в процессах перехвата осадков и биогенов резко снижается, изменяется качественный состав стока за счет уменьшения интенсивности поглощения почвой минеральных элементов, прежде всего соединений фосфора, азота, органического углерода, сульфатов, хлоридов, кальция, магния, натрия и калия, что приводит к их выносу из лесного водосбора и повышению содержания в поверхностных водах. В результате может усилиться заиление и загрязнение водоемов и речной сети, изменяя условия обитания гидробионтов [19, 53].

При этом, по данным ИЛ СО РАН [52], поступление веществ в поверхностные воды возрастает с увеличением площадей вырубок и гарей предшествующего года, а также необлесенных площадей вырубок и гарей прошедшего периода. Эрозионные процессы на горях горного Прибайкалья происходят преимущественно в виде плоскостного смыва и мелкоструйчатого размыва. На свежих горях увеличение поверхностного стока в весенний период может достигать 3–15 раз, а твердого стока – десятки и сотни раз. Через 5–8 лет при успешном лесовосстановлении происходит затухание твердого стока, хотя его жидкая фаза может еще сохраняться, не представляя эрозионной опасности [54]. Дополнительное к фоновому поступление в речной сток нитратного азота может составлять 0,8 мг/л, аммонийного азота – 0,2 мг/л [55].

С поверхности почвы на горях смываются продукты горения, при этом снижается мощность плодородного слоя, в речную сеть в виде взвесей выносятся растворенные вещества и твердые почвенные частицы, ухудшая качество воды вследствие химического и бактериологического загрязнения [56]. В доставке взвешенных и растворенных веществ в Байкал участвуют все реки-притоки со всей территории его водосборного бассейна.

Определенная часть продуктов горения в газовой и аэрозольной фазе при переносе воздушными массами поступает на поверхность водотоков, особенно озера, в процессе мокрого или сухого осаждения. Кроме того, на пирогенное загрязнение вод накладывается воздействие

промышленно-хозяйственных источников сброса, расположенных вдоль побережья озера и по русловой сети притоков.

К приоритетным критериям качества воды, связанным с лесными пирогенными факторами, относятся: водородный показатель – величина рН, минерализация, содержание ионов кальция, магния, калия, сульфатов, аммонийного и нитратного азота, минерального фосфора.

Для мониторинга за качеством вод озера Байкал создана сеть фоновых глубоководных станций продольного разреза (16 станций), проходящего вдоль центральной части озера. По результатам химического анализа проб, отобранных на них, можно судить об изменении состава вод, связанного с «непромышленными» факторами воздействия. Другие пункты отбора проб (на Южном Байкале – в районе БЦБК и выпуска коммунальных сточных вод г. Байкальска; в районе портов Южного Байкала и поселков Большое Голоустное, Култук, Байкал, Байкальск, Выдрино; в районе истока Ангары; в районе Селенгинского мелководья; в районе Баргузинского залива; на Северном Байкале – в районе влияния трассы БАМ) имеют целевой характер и призваны контролировать воздействие конкретных источников сброса.

Работы проводят ФГБУ «Гидрохимический институт» Росгидромета (Ростов-на-Дону) и ФГБУ «Иркутское УГМС» Росгидромета. Качество работ по анализу байкальской воды ежегодно контролируется международными и российскими программами межлабораторного сравнения. Отклонения результатов от «эталонных образцов» не превышают 8–10 %, что свидетельствует о достаточной надежности получаемых результатов наблюдений [36].

Согласно данным, полученным на сети фоновых глубоководных станций продольного разреза за 2016–2021 гг. [28, 30, 35–38], средние значения водородного показателя воды озера, ее минерализации, содержания растворенного кислорода, нитратного, нитритного и аммонийного азота, фосфатов, сульфатов, хлоридов, некоторых тяжелых металлов (свинца, никеля, кадмия, меди, цинка, кобальта, ванадия, хрома)



находятся в целом в пределах допустимых норм. При этом средние концентрации соединений азота, взвешенных веществ, фосфора общего и органического, ряда тяжелых металлов подвержены изменчивости по годам с максимумами в зимний период и минимумом во время весеннего половодья, различаясь в северной, средней и южной частях акватории озера.

Во всех пунктах наблюдений, где степень загрязненности озера оценивалась по удельному комбинаторному индексу загрязнения воды (УКИЗВ) (ст. Маритуй, мыс Лиственничный, мыс Красный Яр, ГМС Узур, ГМС Солнечная, ГМС Б. Ушканий, с. Байкальское), качество воды характеризовалось 1-м классом («условно чистая»), оставаясь стабильным на протяжении указанного периода [28, 30, 35–38].

Вместе с тем в отдельные годы отмечалась достаточно устойчивая закономерность превышения в 2–3 раза максимальных значений ПДК по фенолам на сети фоновых глубоководных станций продольного разреза (2018 г. – п. Елохин-Давша, м. Лиственничный, м. Кадыльный, Заворотная – Черемшаная, Тья-Фролиха, ст. Маритуй, м. Облом, п. Байкальское; 2019 г. – м. Красный Яр, ГМС Солнечная, ГМС Б. Ушканий, р. Безымянная, р. Бугульдейка, р. Тья; 2020 г. – ГМС Узур, ГМС Б. Ушканий, м. Красный Яр, с. Байкальское, р. Безымянная, м. Облом, м. Ухан-р. Гремячий; 2021 г. – р. Тья, р. Безымянная, ст. Маритуй, м. Лиственничный, м. Красный Яр, ГМС Солнечная, п. Давша, с. Байкальское), по легкоокисляемым органическим веществам – 1–1,3 ПДК по БПК<sub>5</sub> (в 2018 г. – ГМС Узур, ГМС Ушканий, м. Красный Яр).

Тем не менее увязывать данные закономерности по фенолам и легкоокисляемым органическим веществам с динамикой лесных пожаров нет достаточных оснований, поскольку мы не имеем сведений о возможном их образовании в результате пиролиза лесных горючих материалов. Скорее всего, резкое увеличение концентраций фенолов вызваны поступлением сточных вод от промышленных предприятий и объектов жилищно-коммунального комплекса. Подтверждением этому служат данные о превышении ПДК по содержанию летучих фенолов в створе выпуска

коммунальных сточных вод г. Байкальска (2016 г., 3 ПДК), в районе, примыкающем к территории БЦБК (2019 г., максимальные значения – 3 ПДК; 2020 г. – 2–3 ПДК), в п. Байкальск (2016 г., среднегодовое содержание – 2 ПДК; 2020 г. – 2 ПДК), в районе п. Б. Голоустное (2016 г., 4 ПДК), в порту Байкал – 2019 г. (среднегодовое значение превышало 2 ПДК) [28, 31, 37].

Качество природных вод и экологическое состояние водных объектов в значительной степени зависят от содержания в них биогенных элементов и органических веществ. Особого внимания заслуживают соединения азота и фосфора – основных биогенных элементов водной экосистемы озера, поступление которых от лесных пожаров может происходить как через атмосферную компоненту, так и с речным стоком. При сгорании ЛГМ на площадях водосборов остаются обугленные растительные остатки и зольные вещества, причем при низовых пожарах удельный вес золы возрастает. Так, на 1 га лиственничника, пройденного низовым устойчивым пожаром высокой интенсивности, образуется около 2 т золы, 21 кг кальция, 48 кг магния, 61 кг калия, 17 кг фосфора [57], которые могут в течение длительного времени (8–10 лет) влиять на химический состав поверхностного стока и вод рек [55].

Динамика концентраций азота и фосфора в водных объектах связана не только с изменениями их водного режима, но и с уровнем потребления соединений планктоном. При этом снижение притока минеральных веществ данных элементов может замещаться увеличением (в 1,5–5,3 раза) стока их органических соединений, в результате чего в озеро поступают воды с высоким содержанием органического фосфора в составе легкогидролизуемого органического вещества и планктона, повышая его содержание до уровня эвтрофных водоемов – 37 г/м<sup>3</sup> [31].

По данным исследований, выполненных в 2016 г. Лимнологическим институтом РАН (отобрано и проанализировано более 900 проб воды), содержание соединений азота и фосфора в водах озера определяется сезонными циклами развития фитопланктона и имеет 2 максимума (январь–февраль и июль) и 2 минимума (май–июнь и

август). В пелагиали озера в весенний период (май–июнь) на протяжении трехлетнего периода наблюдений их концентрации оставались стабильными, даже при катастрофических пожарах в 2015 г. В поверхностном слое воды содержание минерального фосфора не превышало  $9 \text{ мкг/дм}^3$ , в придонной области возрастало до  $15\text{--}16 \text{ мкг/дм}^3$  в южной и северной и до  $18\text{--}20 \text{ мкг/дм}^3$  в средней котловине озера. Доля органического фосфора в верхнем 100-метровом слое воды составляла 20–30 % содержания общего фосфора, снижаясь до 2–3 % в более глубоких слоях [31].

По тем же данным, концентрации нитратного азота у поверхности изменялись в диапазоне  $0,07\text{--}0,09 \text{ мг/дм}^3$ , в придонной области –  $0,13\text{--}0,15 \text{ мг/дм}^3$ . Межгодовые колебания биогенных элементов во всей водной толще были незначительными и не превышали 8 % средней концентрации для минерального фосфора и 5 % для нитратного азота. Результаты исследований не показали значимых межгодовых различий, а также определенного тренда в содержании минерального фосфора, нитратов и величины pH, что в целом подтверждает природный статус озера Байкал как олиготрофного водоема [30].

Вместе с тем в отдельных случаях может наблюдаться достаточно регулярное локальное увеличение концентраций соединений азота и фосфора как в водах озера, так и его речной сети, что характерно для истока р. Ангары, средней части Байкала в районе Баргузинского залива, района Селенгинского мелководья [28, 36, 37]. В 2010–2017 гг. достаточно устойчивое повышение содержания общего фосфора регулярно отмечалось на приграничных с территорией Монголии участках, где его концентрации в водах р. Селенга периодически увеличивались до уровня, характерного для сильно загрязненных эвтрофных водотоков [36].

Наблюдения в летне-осенний период 2019 г. показали, что содержание общего фосфора в

приурезовой воде на некоторых станциях восточного побережья Байкала достигало значений гипертрофных водоемов (более  $100 \text{ мкг/дм}^3$ ). При этом в 100 м от берега, независимо от сезона, его концентрации снижались до уровня менее  $35 \text{ мкг/дм}^3$ . Среди причин обогащения вод прибрежной зоны фосфором называют поступление соединений с водосбора, а также минерализация органики, захороненной в береговой полосе во время сезонного поднятия уровня озера. Есть и другие причины: свежее фекальное загрязнение в Чивыркуйском заливе в районе пос. Монахово способствовало увеличению концентраций нитритного (до  $0,008 \text{ мг/дм}^3$ ) и аммонийного азота (до  $0,29 \text{ мг/дм}^3$ ). Высокое содержание общего фосфора (до  $182 \text{ мкг/дм}^3$ ) здесь объясняется большим количеством туристов на берегу и постоянным наличием судов у пирса на стоянке [28].

Согласно теоретическим представлениям, поступление в атмосферу оксидов серы и азота от лесных пожаров способствует образованию кислотных осадков в процессе ее самоочищения и приводит к снижению величины pH воды. Результаты экспериментальных измерений ЛИН СО РАН в 2013–2016 гг. показали, что в процессе снеготаяния непосредственно в акваторию Байкала поступает в среднем 950 т органического углерода, 550 т общего азота и 4,6 т общего фосфора, однако подкисляющего эффекта вод озера, по приведенным данным, не зафиксировано [36].

Используя данные научных источников и экспертных оценок о химическом составе поверхностного стока с гарей и продолжительности их влияния на химический состав вод речной сети, материалы отраслевой статистической отчетности о горимости лесов на БПТ, а также расчетное значение годового стока с площади гарей<sup>2</sup>, нами получены следующие оценки выноса нитратного и аммонийного азота, минерального фосфора с водосборов, пройденных лесными пожарами, по состоянию на 2023 г.: нитратного

<sup>2</sup> При расчетах принято: 1) период послепожарного влияния гарей на химический состав поверхностного стока – 5 лет; 2) площади лесов, пройденных пожарами на БПТ, по данным отраслевой отчетности – 341 тыс. га за 5-летний период; 3) объем стока с гарей принят по соотношению их площади за 5-летний период со среднемноголетним объемом стока ( $57,8 \text{ км}^3$ ) с площади водосборного бассейна озера ( $541 \text{ тыс. км}^2$ ) –  $0,36 \text{ км}^3$ ; 4) снижение объема стока с гарей не учитывалось; 5) дополнительное к фоновому поступление в речной сток за весь период влияния гарей нитратного азота принято (по научным литературным данным)  $0,8 \text{ мг/л}$ , аммонийного азота –  $0,2 \text{ мг/л}$ , минерального фосфора –  $9 \text{ мкг/л}$  (по экспертной оценке).

азота – 288 т/год, аммонийного азота – 72 т/год, фосфора – 3,2 т/год. Известно [32], что при средней водности р. Селенга ежегодно выносит в Байкал до 608 т минерального фосфора и 8,7 тыс. т минерального азота. Полученные нами значения существенно ниже этих данных. Они также ниже объемов поступления непосредственно в Байкал общего азота (550 т) и общего фосфора (4,6 т) при таянии снега, накопленного на поверхности озера за зимний период, однако превышают поступление в 2021 г. данных веществ в бассейн озера Байкал со сточными водами (нитрат-анион – 57 т; фосфаты – 1,45 т).

В последнее время появились сведения о присутствии в водах Байкала, кроме отмеченных выше соединений, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), одного из основных классов органических загрязняющих веществ в водных экосистемах, обладающих высоким потенциалом неблагоприятного воздействия на водные организмы. В верхнем водном слое пелагиали Байкала в 2015–2018 гг. суммарная концентрация ПАУ (нафталин, 1-метилнафталин, 2-метилнафталин, аценафтен, флорен, фенантрен, флуорантен, пирен, хризен, бензо[б]флуорантен и бензо[е]пирен) находилась в диапазоне 8,0–130 нг/л, причем доля нафталинов достигала 50–60 %. Поскольку обнаруженные ПАУ относятся к компонентам продуктов сгорания древесины и учитывая число лесных пожаров на территории БПТ в течение летнего сезона 2016 г., исследователи связывают повышение их содержания в верхнем водном слое с переносом загрязненных воздушных масс в район акватории Байкала и последующим осаждением ПАУ с частицами сажи и золы. Однако концентрация одного из наиболее канцерогенных веществ – бензо[а]пирена, который содержится в лесопожарных выбросах, – не превышала уровень 0,1 нг/л, соответствующий 0,02 ПДК, установленной в России для питьевой воды. Сделан вывод, что лесные пожары как природный источник ПАУ оказывают кратковременное и локальное влияние на чистоту вод озера, которое проявляется в увеличении концентрации приоритетных полиаренов с низкой токсичностью [36].

**Гидробиологические сообщества.** Анализ материалов, представленных в государственных докладах о состоянии озера Байкал и мерах по его охране [1, 13, 14, 28, 30, 31, 35–38, 58], а также опубликованных научных данных [59–61], свидетельствует, что к наиболее часто встречаемым негативным явлениям в современном состоянии флоры и фауны Байкала, начиная примерно с 2010 г., относятся экологические процессы, связанные с нитчатой микроводорослью – спиририой, активным развитием цианобактерий (сине-зеленых водорослей), а также массовым заболеванием и гибелью байкальских губок.

Массовое развитие нетипичных для Байкала водорослей-нитчаток рода *Spirogyra* spp. было обнаружено примерно в 2010–2011 гг. в заливах Лиственничный и Большие Коты (Южный Байкал). По результатам мониторинга макрофитов прибрежной зоны, проводимого кругобайкальскими экспедициями с 2013 г. дважды в год (июнь, сентябрь), наибольшее распространение спиририды отмечается на мелководьях, преимущественно поздним летом – осенью. Сырая биомасса нитчаток в пробах, взятых напротив таких населенных пунктов, как Большие Коты, Большое Голоустное, Хужир, бух. Песчаная и др., может варьировать в пределах 120–200 г/м<sup>2</sup> при 40–60 % площади проективного покрытия. На наиболее загрязненных участках, при 100 %-м покрытии, биомасса водорослей увеличивается в 2,5 раза [31, 36]. Развитие спиририды приводит к существенным нарушениям нереста в прибрежной зоне (Южный Байкал, залив Лиственничный) августовской популяции желтокрылки, создавая неблагоприятные условия для популяции байкальского омуля, который летние месяцы проводит на мелководье для питания ее личинками [35].

О причинах появления и массового развития спиририды в Байкале однозначного мнения пока не существует. В большинстве случаев обилие водоросли приурочено к прибрежным зонам напротив населенных пунктов; между ними это явление не обнаруживается. Не подтверждено влияние климатических и гидрологических (колебание уровня воды в озере) факторов, многолетней динамики температуры поверхностных

вод на экологию водоросли, а также связь ее появления и «цветения» вод с выходом метана [31, 36, 38, 59, 60].

Вместе с тем важнейшей причиной внедрения в экосистему мелководья и массового развития спирогир признается антропогенное поступление с грунтовыми водами или водами притоков неочищенных стоков, так как данные гидробионты являются очень чувствительными даже к незначительному, но постоянному обогащению среды обитания биогенными элементами, а также натрием и хлором [31, 36, 58]. Совместными работами ЛИН СО РАН и Иркутского института химии им. А.Е. Фаворского СО РАН в 2013–2014 гг. было установлено, что развитие спирогиры вызвано повышенным содержанием фосфора в сточных водах, попадающих в Байкал. Некоторым доказательством данного вывода является факт значительного сокращения обилия спирогиры в 2017 г. в заливе Большие Коты (Южный Байкал), вызванного документально подтвержденным прекращением использования фосфатсодержащих порошков и моющих средств населением в последние 5 лет [30]. Более поздние исследования ЛИН СО РАН показывают, что мелководные водорослевые сообщества прибрежной зоны озера Байкал одновременно лимитируются и фосфором, и азотом [58]; при этом взаимосвязи между лесными пожарами и массовым размножением спирогиры не обнаружено [59].

Сине-зеленые водоросли (цианобактерии) доминируют во многих сообществах мелководной зоны во всех трех котловинах озера, однако в некоторых местах отмечается их массовое размножение в верхней части мелководья и в урзовых сообществах. Основная причина массовой вспышки развития этих организмов связывается с повышенным содержанием неорганического фосфора, который образуется в результате лесных пожаров и поступает с водосборов в прибрежную зону вместе с талыми и дождевыми водами. Таким образом, показано, что пожары могут стимулировать развитие аборигенных сине-зеленых водорослей [61].

Еще одним представителем байкальской фауны, чутко реагирующим на изменение среды

в озере, является байкальская губка, первые признаки заболевания которой были зафиксированы летом 2011 г. и проявились в массовом изменении ее окраски. По наблюдениям 2012–2015 гг., в зависимости от районов озера, от 10 до 100 % всех трех форм губок (корковых, ветвистых и глобульных) были больны, повреждены или мертвы; причем данное явление было наиболее характерным для мелководных территорий. В большинстве случаев ухудшение состояния губок сопровождалось массовым развитием на их поверхности цианобактерий, что вызывало окрашивание тел в красно-коричневые и фиолетовые тона. Деформация наружной поверхности губки (начальная стадия ее отмирания) в большинстве исследованных случаев (50–80 %) предшествует массовому заселению ее цианобактериями [35]. В качестве причин ухудшения состояния и гибели губок рассматривается загрязнение прибрежной зоны биогенными элементами из-за сброса плохо очищенных сточных вод. В 2017 г. на Байкальском международном экологическом водном форуме некоторые участники отмечали, что массовая гибель байкальской губки и сокращение популяции омуля происходят из-за увеличения содержания токсинов, продуцируемых цианобактериями, интенсивное развитие которых вызывалось оседанием на поверхности воды вредных веществ после масштабных пожаров в лесах [62]. Кроме того, существует гипотеза о связи состояния губок с концентрацией озерного метана, которая в глубинных водах может превышать фоновые значения в десятки раз. Характерно, что такие повышения содержания газа совпадали по времени с регистрацией первых случаев массовых заболеваний байкальских губок, чувствительно реагирующих даже на малые количества метана и его метаболитов [35].

Принимая во внимание результаты наших оценок по влиянию лесных пожаров на атмосферный воздух над поверхностью Байкала и на гидрохимические характеристики вод озера, можно допустить, что послепожарное дополнительное поступление с водосборной площади и осаждение через атмосферу соединений азота и, отчасти, неорганического фосфора, способно

оказывать локальное и периодическое по времени воздействие (приуроченное, прежде всего, к наибольшей горимости лесов) на развитие и жизнеспособность обсуждаемых представителей гидробиологического сообщества. В настоящее время приведенные причины массового развития отдельных видов фитопланктона и заболевания байкальских губок пока, видимо, следует рассматривать на уровне научных предположений и гипотез. Для их уточнения необходимо проведение дальнейших научных исследований с включением в их программу вопросов, направленных на экспериментальное подтверждение воздействия факторов, обусловленных лесными пожарами.

## Выводы

Таким образом, проведенный анализ научных, фондовых и статистических материалов показывает, что экосистема озера Байкал находится под влиянием сложного комплекса природных и антропогенных факторов, к одному из которых относятся лесные пожары. Научными исследованиями относительно детально, но все-таки без обоснованного анализа последствий, показано влияние лесных пожаров на атмосферную

компоненту экосистемы Байкала. В меньшей степени проработаны вопросы пожарного и постпожарного воздействия на гидрологический режим, гидрохимическое и гидробиологическое состояние озера.

Оценки лесопожарного воздействия на экосистему озера затрудняются значительной его вариабельностью в зависимости от вида, интенсивности и повторяемости лесного пожара, рельефа местности, погодных условий, породного и возрастного состава лесов, других причин. Выделить влияние пирогенного фактора в отдельную составляющую воздействия на данном уровне знаний не представляется возможным. И хотя катастрофические лесные пожары способны наносить весомый ущерб экологической среде Байкальской природной территории, на наш взгляд, в настоящее время с учетом имеющихся научных данных достаточные основания считать лесопирогенный фактор главной причиной наблюдаемых отрицательных изменений экосистемы озера Байкал отсутствуют. В целях усиления доказательной базы оценок в дальнейшем требуется, с учетом уже существующих результатов, проводить специальные экспериментальные научные исследования в данном направлении.



## Список источников

1. О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2022 году : государственный доклад. – Иркутск : ФГБУН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2023. – 372 с.
2. Евдокименко, М.Д. Пирогенные трансформации гидротермического режима почвы в сосновых лесах Забайкалья / М.Д. Евдокименко // Пожары в лесных экосистемах Сибири : материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Красноярск, 2008. – С. 122–125.
3. Евдокименко, М.Д. Лесозоологические последствия пожаров в светлохвойных лесах Забайкалья / М.Д. Евдокименко // Экология. – 2011. – № 3. – С. 191–196.
4. Сукачев, В.Н. Ботанические исследования северного побережья Байкала / В.Н. Сукачев, Т.И. Поплавская // Изв. Императорской Академии наук. Сер. VI. – СПб., 1914. – Т. 8. – № 7. – С. 1309–1328.
5. Поварницын, В.А. Почвы и растительность бассейна р. Верхней Ангары / В.А. Поварницын // Бурят-Монголия (почвенно-ботанический, лесоводственный и охотоведческий очерки Северо-Байкальского района). – Москва-Ленинград : изд-во АН СССР, 1937. – С. 7–132.
6. Шинкарев, И.Н. Лесоводственный очерк Северо-Байкальского района / И.Н. Шинкарев // Бурят-Монголия (почвенно-ботанический, лесоводственный и охотоведческий очерки Северо-Байкальского района). – Москва-Ленинград : изд-во АН СССР, 1937. – С. 175–185.
7. Панарин, И.И. Леса Прибайкалья / И.И. Панарин. – Москва : Наука, 1979. – 263 с.
8. Побединский, А.В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья / А.В. Побединский. – Москва : Наука, 1965. – 268 с.
9. Ващук, Л.Н. Динамика лесных пространств Иркутской области / Л.Н. Ващук, А.З. Швиденко. – Иркутск : Иркутская областная типография № 1, 2006. – 392 с.
10. Последствия лесных пожаров в южных и центральных районах Забайкальского края / Л.В. Буряк, Е.А. Кукавская, О.П. Каленская, О.Ф. Малых, Е.О. Бакшеева // Сибирский лесной журнал. – 2016. – № 6. – С. 94–102.
11. Евдокименко, М.Д. Лесозоологические последствия пирогенных аномалий в бассейне озера Байкал / М.Д. Евдокименко, Ю.Н. Краснощеков // Сибирский лесной журнал. – 2017. – № 4. – С. 66–77.
12. Голятина, М.А. Оценка динамики площадей, пройденных пожарами, на территории Забайкальского края в условиях изменения климата по данным ДЗЗ / М.А. Голятина, И.Л. Вахнина, Е.В. Носкова // Географический вестник = Geographicalbulletin. – 2018. – № 3(46). – С. 126–135.
13. О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2007 году : государственный доклад. – Иркутск : Сибирский филиал ФГУНПП «Росгеолфонд», 2008. – 443 с.
14. О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2016 году : государственный доклад. – Иркутск : ИНЦХТ, 2017. – 374 с.
15. Зонально-географические особенности воздействия пожаров на лесообразование светлохвойных насаждений юга Сибири / Л.В. Буряк, О.П. Каленская, Е.А. Кукавская, А.Г. Лузганов. – Новосибирск : Наука, 2022. – 284 с.
16. Бычков, И.В. Отчет о работе Научного совета СО РАН по проблемам озера Байкал за 2022 г. – Текст : электронный / И.В. Бычков, И.И. Орлова // Сибирское отделение РАН : офиц. Сайт. – Режим доступа: URL [https://www.sbras.ru/files/files/otchet\\_o\\_rabote\\_nauchnogo\\_soveta\\_26-01-2023.pdf](https://www.sbras.ru/files/files/otchet_o_rabote_nauchnogo_soveta_26-01-2023.pdf) (дата обращения 10.12.2023).
17. Влияние изменения уровня воды в озере Байкал на состояние экосистемы озера, определение ущерба объектам экономики и инфраструктуры прибрежной территории Республики Бурятия, Иркутской области в зависимости от уровней озера и сбросов Иркутской ГЭС : отчет за 2022 г. о НИР. – Текст : электронный // Институт динамики систем и теории управления им. В.М. Матросова СО РАН. – Режим доступа: URL [https://www.sbras.ru/files/news/docs/vlinie\\_urovnya\\_vody.pdf](https://www.sbras.ru/files/news/docs/vlinie_urovnya_vody.pdf) (дата обращения 10.12.2023).
18. Щербов, Б.Л. Лесные пожары как геохимическая угроза / Б.Л. Щербов // Наука из первых рук. – Новосибирск : ИНФОЛИО, 2011. – С. 120–127.

19. Пожары как фактор утраты биоразнообразия и функций лесных экосистем / А.П. Гераськина, Д.Н. Тебенькова, Д.В. Ершов, Е.В. Ручинская [и др.] // Вопросы лесной науки. – Москва : Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН, 2021. – Т. 4. – № 2. – С. 1–76.
20. Макухин, В.Л. Влияние лесных пожаров на процессы распространения и трансформации примесей над оз. Байкал / В.Л. Макухин, В.Л. Потемкин // Оптика атмосферы и океана. – Томск : Сибирское отделение РАН, Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, 2006. – Т. 19. – № 06. – С. 518–521.
21. Новикова, С.А. Загрязнение территории Прибайкальского национального парка выбросами от лесных пожаров / С.А. Новикова, И.В. Щербакова // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле. – Саратов : Саратовский национальный исследовательский государственный университет им. Н.Г. Чернышевского, 2020. – Т. 20. – Вып. 4. – С. 240–249.
22. Соловьев, С.В. Экологические последствия лесных и торфяных пожаров : автореф. дис. ... канд. техн. наук / С.В. Соловьев. – Москва, 2006. – 24 с.
23. Пожары как фактор утраты биоразнообразия и функций лесных экосистем / А.П. Гераськина, Д.Н. Тебенькова, Д.В. Ершов, Е.В. Ручинская [и др.] // Вопросы лесной науки. Выпуск: Лесные пожары. – 2021. – Т. 4. – № 82.– № 2.
24. Исследование токсичности продуктов горения древесины различных пород / Б.Б. Серков, А.Б. Сивенков, Б.Д. Тхань, Р.М. Асеева // Лесной вестник. – 2004. – № 5 (36). – С. 145–150.
25. Влияние вредных и опасных факторов лесных пожаров на окружающую среду / И.В. Кухар, Л.Н. Бердникова, С.Н. Орловский, С.Н. Мартыновская [и др.] // Хвойные бореальной зоны. – XXXVII. – № 5. – 2019. – С. 307–312.
26. Новикова, С.А. Загрязнение территории Прибайкальского национального парка выбросами от лесных пожаров / С.А. Новикова, И.В. Щербакова // Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Науки о Земле, 2020. – Т. 20. – Вып. 4. – С. 240–249.
27. Мониторинг и оценка опасных природных явлений (лесные пожары) и антропогенных источников на качество атмосферы Байкальского региона на основе комплексных дистанционных и наземных локальных измерений и математического моделирования. – Текст : электронный / Т.В. Ходжер, Г.С. Жамсуева, А.С. Заяханов, Ю.С. Балин, В.В. Пененко // Экологические проблемы бассейна озера Байкал : сб. материалов Всероссийской научной конференции с международным участием. – Улан-Удэ, 2022. – С. 111–115. DOI: 10.31554/978-5-7925-0621-3-2022-111-115.
28. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году : государственный доклад. – Иркутск : Мегалит, 2020. – 314 с.
29. The atmosphere above the water area of Lake Baikal during wildfires in the summer of 2019 / T.V. Khodzher, I.I. Marinaite, V.L. Potyomkin, G.S. Zhamsueva [at al.] // Limnology and Freshwater Biology. – Irkutsk, 2020. – V. 3. – № 4. – P. 851–852.
30. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2018 году : государственный доклад. – Иркутск : Мегалит, 2019. – 307 с.
31. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2016 году : государственный доклад. – Иркутск : Мегалит, 2017. – 274 с.
32. Ходжер, Т.В. Исследование состава атмосферных выпадений и их воздействия на экосистемы байкальской природной территории : автореф. дис. ... д-ра геогр. наук / Т.В. Ходжер. – Москва, 2005. – 44 с.
33. Методические указания по количественному определению объема поглощения парниковых газов. Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017. – Текст : электронный. – Режим доступа: URL: [https://eipc.center/pdf/analytic/raspr\\_minprir\\_ros\\_30\\_06\\_2017\\_n\\_20.pdf](https://eipc.center/pdf/analytic/raspr_minprir_ros_30_06_2017_n_20.pdf) (дата обращения 12.12.2023).
34. Об утверждении методик расчета выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. Приказ Госкомитета Российской Федерации по охране окружающей среды от 05.03.1997 № 90. – Текст : электронный. – Режим доступа: URL: <https://docs.cntd.ru/document/9039890?ysclid=lvw4n0imy7639777426> pdf (дата обращения 12.12.2023).

35. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2015 году : государственный доклад. – Иркутск : Время странствий, 2016. – 316 с.
36. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2017 году : государственный доклад. – Иркутск : Мегапринт, 2018. – 249 с.
37. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2020 году : государственный доклад. – Иркутск : Мегапринт, 2021. – 330 с.
38. О состоянии и об охране окружающей среды в Иркутской области в 2021 году : государственный доклад. – Ижевск : Принт, 2022. – 252 с.
39. Чернышов, М.С. Природно-климатические и антропогенные факторы формирования уровневого режима озера Байкал : автореф. дис. ... канд. геогр. наук / М.С. Чернышов. – Иркутск, 2022. – 22 с.
40. Итоговый отчет по проекту GPSO/LakeBaikal/085/01SMar2015\_MSU] Predictive assessment of long-term changes of water balance in the basin of transboundary Selenga river in terms of climatic fluctuations and changes of the characteristics of water use («Прогнозная оценка долгопериодных изменений водного баланса в бассейне трансграничной реки Селенга в условиях климатических флуктуаций и изменения характеристик водопользования») // Комплексное управление природными ресурсами трансграничной экосистемы бассейна Байкала : ПРОЕКТ ПРООН/ГЭФ. – МГУ, 2015. – 78 с.
41. Макаренко, Е.Л. Лесные пожары и их последствия в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории / Е.Л. Макаренко // Интерактивная наука. – Чебоксары : Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2016. – № 5. – С. 9–12.
42. Буренина, Т.А. Изменение водного баланса лесных территорий в связи с антропогенной трансформацией растительного покрова / Т.А. Буренина, Е.В. Федотова, Н.Ф. Овчинникова // Эколого-географические аспекты лесообразовательного процесса : материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых (Красноярск, 23–25 сентября 2009). – Красноярск : Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2009. – 417 с.
43. Идзон, П.Ф. Количественная характеристика водоохранных и водорегулирующих свойств леса / П.Ф. Идзон, Г.С. Пименова, О.П. Цыганова // Лесоведение. – 1980. – № 5. – С. 3–12.
44. Рахманов, В.В. Водоохранная роль лесов / В.В. Рахманов. – Москва : Гослесбумиздат, 1962. – 235 с.
45. Побединский, А.В. Влияние лесохозяйственных мероприятий на изменение водоохранной и почвозащитной роли лесов / А.В. Побединский // Гидрологическая роль лесных геосистем. – Новосибирск : Наука, 1989. – С. 102–108.
46. Воронков, Н.А. Роль лесов в охране вод : монография / Н.А. Воронков. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1988. – 286 с.
47. Онучин, А.А. Влияние лесистости и климатических факторов на годовой сток рек Прииссыккуля / А.А. Онучин, К.К. Гапаров, Н.А. Михеева // Лесоведение. – 2008. – № 6. – С. 45–52.
48. Матвеев, П.Н. Гидрологическая и защитная роль горных лесов Киргизии / П.Н. Матвеев. – Фрунзе : Илим, 1984. – 240 с.
49. Лесогидрологические последствия рубок в условиях Средней Сибири / А.А. Онучин, Т.А. Буренина, Н.В. Зирюкина, С.К. Фарбер // Сибирский лесной журнал. – Красноярск : Красноярский научный центр СО РАН, 2014. – № 1. – С. 110–118.
50. Онучин, А.А. Причины концептуальных противоречий в оценке гидрологической роли бореальных лесов / А.А. Онучин // Сибирский лесной журнал. – Красноярск : Красноярский научный центр СО РАН, 2015. – № 2. – С. 41–54.
51. New look at understanding hydrological role of forest / А.А. Onuchin, Т.А. Burenina, Н. Balzter, А.Г. Tsykalov // Сибирский лесной журнал. – 2018. – № 5. – С. 3–18.
52. Онучин, А.А. Влагооборот горных лесов Сибири; локальные и региональные особенности : дис. ... д-ра биол. наук / А.А. Онучин. – Красноярск, 2003. – 222 с.

53. Белан, С.В. Анализ влияния лесных пожаров на экологическое состояние водных объектов. – Текст : электронный / С.В. Белан, О.В. Рыбалова // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы : сб. ст. Всероссийской научно-практической конференции: в 2-х ч. – Ч. II. – Воронеж : Воронежский институт Государственной противопожарной службы МЧС России, 2012. – Режим доступа: URL <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-lesnyh-pozharov-na-ekologicheskoe-sostoyanie-vodnyh-obektov> (дата обращения 15.12.2023).
54. Краснощеков, Ю.Н. Постпирогенная дигрессия лесных экосистем в горном Прибайкалье / Ю.Н. Краснощеков, М.Д. Евдокименко, А.А. Онучин // Сибирский лесной журнал. – Красноярск : Красноярский научный центр СО РАН, 2018. – № 6. – С. 46–57.
55. Шестеркин, В.П. Многолетняя динамика химического состава вод таежных рек на горях Северного Сихотэ-Алиня / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – Москва : Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля, 2017. – Т. XXVIII. – № 2. – С. 56–68.
56. Средообразующая роль лесов бассейна озера Байкал / А.В. Лебедев, В.М. Горбатенко, Ю.Н. Краснощеков [и др.]. – Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1979. – 256 с.
57. Шешуков, М.А. Лесные пожары и борьба с ними на севере Дальнего Востока / М.А. Шешуков, А.П. Савченко, В.В. Пешков. – Хабаровск : ВНИИЛМ, 1992. – 95 с.
58. О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2022 году : государственный доклад. – Иркутск : Максима, 2023. – 285 с.
59. Орлова, А. Ученый СО РАН: У Байкала налицо все признаки болезни. – Текст : электронный / А. Орлова // Иркутск сегодня : сетевое издание. – Режим доступа: URL <https://irk.today/2019/12/11/uchenyj-so-ran-u-bajkala-nalico-vse-priznaki-bolezni> (дата обращения 15.12.2023).
60. Экологический кризис на озере Байкал: Ученые ставят диагноз / О.А. Тимошкин, В.В. Мальник, М.В. Сакирко, К. Будекер // Наука из первых рук. – 2014 – Т. 5 (№ 59). – С. 75–91.
61. Обнаружение микроцистинов в цианобактериальных обрастаниях различных субстратов прибрежной зоны озера Байкал / О.И. Белых, Г.А. Федорова, А.В. Кузьмин, И.В. Тихонова [и др.] // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. – 2017. – Т. 72. – № 4. – С. 262–269.
62. Главной причиной загрязнения Байкала являются лесные пожары. – Новосибирск : ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН : офиц. сайт. – Режим доступа: – URL <http://www.ipgg.sbras.ru/ru/news/zagryazneniya-bajkala-yavlyayutsya-15092017#> (дата обращения 15.12.2023).

## References

1. О состоянии озера Байкал и мер по его охране в 2022 году : государственный доклад. – Иркутск : ФГБУН Институт географии им. В.В. Сохавы СО РАН, 2023. – 372 с.
2. Евдокименко, М.Д. Пирогенные трансформации гидротермического режима почв в сосновых лесах Забайкалья / М.Д. Евдокименко // Пожары в лесных экосистемах Сибири : материалы Всероссийской конференции с международным участием. – Красноярск, 2008. – С. 122–125.
3. Евдокименко, М.Д. Лесоэкологические последствия пожаров в светловосновых лесах Забайкалья / М.Д. Евдокименко // Экология. – 2011. – № 3. – С. 191–196.
4. Sukachev, V.N. Botanicheskie issledovaniya severnogo poberezh'ya Bajkala / V.N. Sukachev, T.I. Poplavskaya // Izv. Imperatorskoj Akademii nauk. Ser. VI. – SPb., 1914. – Т. 8. – № 7. – С. 1309–1328.
5. Поварницын, В.А. Почвы и растительность бассейна р. Верхней Ангарты / В.А. Поварницын // Бурят-Монголия (почвенно-ботанический, лесоводственный и охотоведческий очерки Северо-Байкальского района). – Москва-Ленинград : изд-во АН СССР, 1937. – С. 7–132.

6. Shinkarev, I.N. Lesovodstvennyj ocherk Severo-Bajkal'skogo rajona / I.N. Shinkarev // Buryat-Mongoliya (pochvenno-botanicheskij, lesovodstvennyj i ohotovedcheskij ocherki Severo-Bajkal'skogo rajona). – Moskva-Leningrad : izd-vo AN SSSR, 1937. – S. 175–185.
7. Panarin, I.I. Lesa Pribajkal'ya / I.I. Panarin. – Moskva : Nauka, 1979. – 263 s.
8. Pobedinskij, A.V. Sosnovye lesa Srednej Sibiri i Zabajkal'ya / A.V. Pobedinskij. – Moskva : Nauka, 1965. – 268 s.
9. Vashchuk, L.N. Dinamika lesnyh prostranstv Irkutskoj oblasti / L.N. Vashchuk, A.Z. Shvidenko. – Irkutsk : Irkutskaya oblastnaya tipografiya № 1, 2006. – 392 s.
10. Posledstviya lesnyh pozharov v yuzhnyh i central'nyh rajonah Zabajkal'skogo kraja / L.V. Buryak, E.A. Kukavskaya, O.P. Kalenskaya, O.F. Malyh, E.O. Baksheeva // Sibirskij lesnoj zhurnal. – 2016. – № 6. – S. 94–102.
11. Evdokimenko, M.D. Lesoekologicheskie posledstviya pirogenykh anomalij v bassejne ozera Bajkal / M.D. Evdokimenko, Yu.N. Krasnoshchekov // Sibirskij lesnoj zhurnal. – 2017. – № 4. – S. 66–77.
12. Golyatina, M.A. Ocenka dinamiki ploshchadej, proydennyh pozharemi, na territorii Zabajkal'skogo kraja v usloviyah izmeneniya klimata po dannym DZZ / M.A. Golyatina, I.L. Vahnina, E.V. Noskova // Geograficheskij vestnik = Geographicalbulletin. – 2018. – № 3(46). – S. 126–135.
13. O sostoyanii ozera Bajkal i merah po ego ohrane v 2007 godu : gosudarstvennyj doklad. – Irkutsk : Sibirskij filial FGUNPP «Rosgeolfond», 2008. – 443 s.
14. O sostoyanii ozera Bajkal i merah po ego ohrane v 2016 godu : gosudarstvennyj doklad. – Irkutsk : INCHT, 2017. – 374 s.
15. Zonal'no-geograficheskie osobennosti vozdejstviya pozharov na lesoobrazovanie svetlohvojnyh nasazhdenij yuga Sibiri / L.V. Buryak, O.P. Kalenskaya, E.A. Kukavskaya, A.G. Luzganov. – Novosibirsk : Nauka, 2022. – 284 s.
16. Bychkov, I.V. Otchet o rabote Nauchnogo soveta SO RAN po problemam ozera Bajkal za 2022 g. – Tekst : elektronnyj / I.V. Bychkov, I.I. Orlova // Sibirskoe otdelenie RAN : ofic. Sajt. – Rezhim dostupa: URL [https://www.sbras.ru/files/files/otchet\\_o\\_rabote\\_nauchnogo\\_soveta\\_26-01-2023.pdf](https://www.sbras.ru/files/files/otchet_o_rabote_nauchnogo_soveta_26-01-2023.pdf) (data obrashcheniya 10.12.2023).
17. Vliyanie izmeneniya urovnya vody v ozere Bajkal na sostoyanie ekosistemy ozera, opredelenie ushcherba ob'ektam ekonomiki i infrastruktury pribrezhnoj territorii Respubliki Buryatiya, Irkutskoj oblasti v zavisimosti ot urovnej ozera i sbrosov Irkutskoj GES : otchet za 2022 g. o NIR. – Tekst : elektronnyj // Institut dinamiki sistem i teorii upravleniya im. V.M. Matrosova SO RAN. – Rezhim dostupa: URL [https://www.sbras.ru/files/news/docs/vlinie\\_urovnya\\_vody.pdf](https://www.sbras.ru/files/news/docs/vlinie_urovnya_vody.pdf) (data obrashcheniya 10.12.2023).
18. Shcherbov, B.L. Lesnye pozhary kak geohimicheskaya ugroza / B.L. Shcherbov // Nauka iz pervyh ruk. – Novosibirsk : INFOLIO, 2011. – S. 120–127.
19. Pozhary kak faktor utraty bioraznoobraziya i funkcij lesnyh ekosistem / A.P. Geras'kina, D.N. Teben'kova, D.V. Ershov, E.V. Ruchinskaya [i dr.] // Voprosy lesnoj nauki. – Moskva : Centr po problemam ekologii i produktivnosti lesov RAN, 2021. – T. 4. – № 2. – S. 1–76.
20. Makuhin, V.L. Vliyanie lesnyh pozharov na processy rasprostraneniya i transformacii primesej nad oz. Bajkal / V.L. Makuhin, V.L. Potemkin // Optika atmosfery i okeana. – Tomsk : Sibirskoe otdelenie RAN, Institut optiki atmosfery im. V.E. Zueva SO RAN, 2006. – T. 19. – № 06. – S. 518–521.
21. Novikova, S.A. Zagryaznenie territorii Pribajkal'skogo nacional'nogo parka vybrosami ot lesnyh pozharov / S.A. Novikova, I.V. Shcherbakova // Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Nauki o Zemle. – Saratov : Saratovskij nacional'nyj issledovatel'skij gosudarstvennyj universitet im. N.G. Chernyshevskogo, 2020. – T. 20. – Vyp. 4. – S. 240–249.
22. Solov'ev, S.V. Ekologicheskie posledstviya lesnyh i torfyanyh pozharov : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk / S.V. Solov'ev. – Moskva, 2006. – 24 s.
23. Pozhary kak faktor utraty bioraznoobraziya i funkcij lesnyh ekosistem / A.P. Geras'kina, D.N. Teben'kova, D.V. Ershov, E.V. Ruchinskaya [i dr.] // Voprosy lesnoj nauki. Vypusk: Lesnye pozhary. – 2021. – T. 4. – № 82. – № 2.
24. Issledovanie toksichnosti produktov goreniya drevesiny razlichnyh porod / B.B. Serkov, A.B. Sivenkov, B.D. Than', R.M. Aseeva // Lesnoj vestnik. – 2004. – № 5 (36). – S. 145–150.



25. Vliyaniye vrednykh i opasnykh faktorov lesnykh pozharov na okruzhayushchuyu sredyu / I.V. Kuhar, L.N. Berdnikova, S.N. Orlovskij, S.N. Martynovskaya [i dr.] // Hvojnye boreal'noj zony. – XXXVII. – № 5. – 2019. – S. 307–312.
26. Novikova, S.A. Zagryaznenie territorii Pribajkal'skogo nacional'nogo parka vybrosami ot lesnykh pozharov / S.A. Novikova, I.V. Shcherbakova // Izv. Sarat. un-ta. Nov. ser. Ser. Nauki o Zemle, 2020. – T. 20. – Vyp. 4. – S. 240–249.
27. Monitoring i ocenka opasnykh prirodnykh yavlenij (lesnye pozhary) i antropogennykh istochnikov na kachestvo atmosfery Bajkal'skogo regiona na osnove kompleksnykh distancionnykh i nazemnykh lokal'nykh izmerenij i matematicheskogo modelirovaniya. – Tekst : elektronnyj / T.V. Hodzher, G.S. Zhamsueva, A.S. Zayahanov, Yu.S. Balin, V.V. Penenko // Ekologicheskie problemy bassejna ozera Bajkal : sb. materialov Vserossijskoj nauchnoj konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. – Ulan-Ude, 2022. – S. 111–115. DOI: 10.31554/978-5-7925-0621-3-2022-111-115.
28. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Irkutskoj oblasti v 2019 godu : gosudarstvennyj doklad. – Irkutsk : Megaprint, 2020. – 314 s.
29. The atmosphere above the water area of Lake Baikal during wildfires in the summer of 2019 / T.V. Khodzher, I.I. Marinaite, V.L. Potyomkin, G.S. Zhamsueva [at al.] // Limnology and Freshwater Biology. – Irkutsk, 2020. – V. 3. – № 4. – P. 851–852.
30. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Irkutskoj oblasti v 2018 godu : gosudarstvennyj doklad. – Irkutsk : Megaprint, 2019. – 307 s.
31. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Irkutskoj oblasti v 2016 godu : gosudarstvennyj doklad. – Irkutsk : Megaprint, 2017. – 274 s.
32. Hodzher, T.V. Issledovanie sostava atmosferynykh vypadenij i ih vozdejstviya na ekosistemy bajkal'skoj prirodnoj territorii : avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk / T.V. Hodzher. – Moskva, 2005. – 44 s.
33. Metodicheskie ukazaniya po kolichestvennomu opredeleniyu ob'ema pogloshcheniya parnikovyykh gazov. Rasporyazhenie Minprirody Rossii ot 30.06.2017. – Tekst : elektronnyj. – Rezhim dostupa: URL: [https://eipc.center/pdf/analytic/raspr\\_minprir\\_ros\\_30\\_06\\_2017\\_n\\_20.pdf](https://eipc.center/pdf/analytic/raspr_minprir_ros_30_06_2017_n_20.pdf) (data obrashcheniya 12.12.2023).
34. Ob utverzhdenii metodik rascheta vybrosov zagryaznyayushchih veshchestv v atmosferu. Prikaz Goskomiteta Rossijskoj Federacii po ohrane okruzhayushchej sredy ot 05.03.1997 № 90. – Tekst : elektronnyj. – Rezhim dostupa: URL: <https://docs.cntd.ru/document/9039890?ysclid=lvw4n0imy7639777426> pdf (data obrashcheniya 12.12.2023).
35. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Irkutskoj oblasti v 2015 godu : gosudarstvennyj doklad. – Irkutsk : Vremya stranstvij, 2016. – 316 s.
36. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Irkutskoj oblasti v 2017 godu : gosudarstvennyj doklad. – Irkutsk : Megaprint, 2018. – 249 s.
37. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Irkutskoj oblasti v 2020 godu : gosudarstvennyj doklad. – Irkutsk : Megaprint, 2021. – 330 s.
38. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy v Irkutskoj oblasti v 2021 godu : gosudarstvennyj doklad. – Izhevsk : Print, 2022. – 252 s.
39. Chernyshov, M.S. Prirodno-klimaticheskie i antropogennyye faktory formirovaniya urovneвого rezhima ozera Bajkal : avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk / M.S. Chernyshov. – Irkutsk, 2022. – 22 s.
40. Itogovyy otchet po proektu GPSO/LakeBaikal/085/01SMar2015\_MSU] Predictive assessment of long-term changes of water balance in the basin of transboundary Selenga river in terms of climatic fluctuations and changes of the characteristics of water use («Prognoznaya ocenka dolgoperiodnykh izmenenij vodnogo balansa v bassejne transgranichnoj reki Selenga v usloviyah klimaticheskikh fluktuacij i izmeneniya harakteristik vodopol'zovaniya») // Kompleksnoe upravlenie prirodnymi resursami transgranichnoj ekosistemy bassejna Bajkala : PROEKT PROON/GEF. – MGU, 2015. – 78 s.
41. Makarenko, E.L. Lesnye pozhary i ih posledstviya v Central'noj ekologicheskoy zone Bajkal'skoj prirodnoj territorii / E.L. Makarenko // Interaktivnaya nauka. – Cheboksary : Centr nauchnogo sotrudnichestva «Interaktiv plus», 2016. – № 5. – S. 9–12.

42. Burenina, T.A. Izmenenie vodnogo balansa lesnyh territorij v svyazi s antropogennoj transformaciej rastitel'nogo pokrova / T.A. Burenina, E.V. Fedotova, N.F. Ovchinnikova // *Ekologo-geograficheskie aspekty lesoobrazovatel'nogo processa : materialy Vserossijskoj konferencii s uchastiem inostrannyh uchenyh (Krasnoyarsk, 23–25 sentyabrya 2009)*. – Krasnoyarsk : Institut lesa im. V.N. Sukacheva SO RAN, 2009. – 417 s.
43. Idzon, P.F. Kolichestvennaya charakteristika vodoohrannyh i vodoreguliruyushchih svojstv lesa / P.F. Idzon, G.S. Pimenova, O.P. Cyganova // *Lesovedenie*. – 1980. – № 5. – S. 3–12.
44. Rahmanov, V.V. Vodoohrannaya rol' lesov / V.V. Rahmanov. – Moskva : Goslesbumizdat, 1962. – 235 s.
45. Pobedinskij, A.V. Vliyanie lesohozyajstvennyh meropriyatij na izmenenie vodoohrannoj i pochvozashchitnoj roli lesov / A.V. Pobedinskij // *Gidrologicheskaya rol' lesnyh geosistem*. – Novosibirsk : Nauka, 1989. – S. 102–108.
46. Voronkov, N.A. Rol' lesov v ohrane vod : monografiya / N.A. Voronkov. – Leningrad : Gidrometeoizdat, 1988. – 286 s.
47. Onuchin, A.A. Vliyanie lesistosti i klimaticheskikh faktorov na godovoj stok rek Priissykkul'ya / A.A. Onuchin, K.K. Gaparov, N.A. Miheeva // *Lesovedenie*. – 2008. – № 6. – S. 45–52.
48. Matveev, P.N. Gidrologicheskaya i zashchitnaya rol' gornyh lesov Kirgizii / P.N. Matveev. – Frunze : Ilim, 1984. – 240 s.
49. Lesogidrologicheskie posledstviya rubok v usloviyah Srednej Sibiri / A.A. Onuchin, T.A. Burenina, N.V. Ziryukina, S.K. Farber // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. – Krasnoyarsk : Krasnoyarskij nauchnyj centr SO RAN, 2014. – № 1. – S. 110–118.
50. Onuchin, A.A. Prichiny konceptual'nyh protivorechij v ocenke gidrologicheskoy roli boreal'nyh lesov / A.A. Onuchin // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. – Krasnoyarsk : Krasnoyarskij nauchnyj centr SO RAN, 2015. – № 2. – S. 41–54.
51. New look at understanding hydrological role of forest / A.A. Onuchin, T.A. Burenina, H. Balzter, A.G. Tsykalov // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. – 2018. – № 5. – S. 3–18.
52. Onuchin, A.A. Vlogooborot gornyh lesov Sibiri; lokal'nye i regional'nye osobennosti : dis. ... d-ra biol. nauk / A.A. Onuchin. – Krasnoyarsk, 2003. – 222 s.
53. Belan, S.V. Analiz vliyaniya lesnyh pozharov na ekologicheskoe sostoyanie vodnyh ob'ektov. – Tekst : elektronnyj / S.V. Belan, O.V. Rybalova // *Pozharnaya bezopasnost': problemy i perspektivy : sb. st. Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii: v 2-h ch. – Ch. II. – Voronezh : Voronezhskij institut Gosudarstvennoj protivopozharnoj sluzhby MChS Rossii, 2012. – Rezhim dostupa: URL <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-vliyaniya-lesnyh-pozharov-na-ekologicheskoe-sostoyanie-vodnyh-obektov> (data obrashcheniya 15.12.2023).*
54. Krasnoshchekov, Yu.N. Postpirognennaya digressiya lesnyh ekosistem v gornom Pribajkal'e / Yu.N. Krasnoshchekov, M.D. Evdokimenko, A.A. Onuchin // *Sibirskij lesnoj zhurnal*. – Krasnoyarsk : Krasnoyarskij nauchnyj centr SO RAN, 2018. – № 6. – S. 46–57.
55. Shesterkin, V.P. Mnogoletnyaya dinamika himicheskogo sostava vod taezhnyh rek na goryah Severnogo Sihote-Alinya / V.P. Shesterkin, N.M. Shesterkina // *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem*. – Moskva : Institut global'nogo klimata i ekologii imeni akademika Yu.A. Izraelya, 2017. – T. XXVIII. – № 2. – S. 56–68.
56. Sredoobrazuyushchaya rol' lesov bassejna ozera Bajkal / A.V. Lebedev, V.M. Gorbatenko, Yu.N. Krasnoshchekov [i dr.]. – Novosibirsk : Nauka, Sib. otdelenie, 1979. – 256 s.
57. Sheshukov, M.A. Lesnye pozhary i bor'ba s nimi na severe Dal'nego Vostoka / M.A. Sheshukov, A.P. Savchenko, V.V. Peshkov. – Habarovsk : VNIILM, 1992. – 95 s.
58. O sostoyanii i ob ohrane okruzhayushchej sredy Irkutskoj oblasti v 2022 godu : gosudarstvennyj doklad. – Irkutsk : Maksima, 2023. – 285 s.
59. Orlova, A. Uchenyj SO RAN: U Bajkala nalico vse priznaki bolezni. – Tekst : elektronnyj / A. Orlova // *Irkutsk segodnya : setevoe izdanie*. – Rezhim dostupa: URL <https://irk.today/2019/12/11/uchenyj-so-ran-u-bajkala-nalico-vse-priznaki-bolezni> (data obrashcheniya 15.12.2023).
60. Ekologicheskij krizis na ozere Bajkal: Uchenye stavjat diagnoz / O.A. Timoshkin, V.V. Mal'nik, M.V. Sakirko, K. Budeker // *Nauka iz pervyh ruk*. – 2014 – T. 5 (№ 59). – S. 75–91.

61. Obnaruzhenie mikrocistinov v cianobakterial'nyh obrastaniyah razlichnyh substratov pribrezhnoj zony ozera Bajkal / O.I. Belyh, G.A. Fedorova, A.V. Kuz'min, I.V. Tihonova [i dr.] // Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 16. Biologiya. – 2017. – T. 72. – № 4. – S. 262–269.

62. Glavnoj prichinoy zagryazneniya Bajkala yavlyayutsya lesnye pozhary. – Novosibirsk : FGBUN Institut neftegazovoj geologii i geofiziki im. A.A. Trofimuka SO RAN : ofic. sajt. – Rezhim dostupa: – URL <http://www.ipgg.sbras.ru/ru/news/zagryazneniya-baykala-yavlyayutsya-15092017#> (data obrashcheniya 15.12.2023).