

## Геоэкологическая оценка состояния снега и льда на южном побережье озера Байкал

М. С. Янчук , И. Б. Воробьева, Н. В. Власова

Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН,  
Российская Федерация  
(664033, г. Иркутск, ул. Улан-Баторская, 1)

**Аннотация.** Цель – геоэкологическая оценка современного химического состава снежного покрова и льда, отобранных на территории п. Листвянка, а также в прибрежной части акватории оз. Байкал.

**Материалы и методы.** Исследования были проведены на основе химического анализа талой воды проб снега и льда. Для оценки современного состава снега и льда на исследуемой территории были применены методы электрометрии, титриметрии, аргенометрии, турбидиметрии и фотометрии. Определение содержания подвижных форм металлов осуществлялось на приборе Optima 2000DV – оптическом эмиссионном спектрометре. В исследуемых пробах устанавливались концентрации взвешенных веществ, сульфатов, хлоридов, азотсодержащих веществ, фосфатов, а также таких металлов как хром, марганец, никель, медь, цинк, стронций и свинец.

**Результаты и обсуждение.** По полученным в ходе химического анализа результатам была дана современная геоэкологическая оценка состояния снежного покрова и льда на рассматриваемой территории. Выявлены превышения ПДК по некоторым веществам, а также территориальные закономерности распределения поллютантов. На основе полученных данных были построены карты-схемы распределения взвешенных веществ, сульфатов и хлоридов.

**Ключевые слова:** геоэкологическая оценка, снежный покров, поселок Листвянка, прибрежная акватория озера Байкал.

**Источник финансирования:** Исследование выполнено за счет средств государственного задания АААА-А21-121012190055-7.

**Для цитирования:** Янчук М. С., Воробьева И. Б., Власова Н. В. Геоэкологическая оценка состояния снега и льда на южном побережье озера Байкал // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2021 № 3, с. 59-68. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.3/3602>

### ВВЕДЕНИЕ

Эффективным методом оценки состояния окружающей среды в холодный период года является эколого-геохимический мониторинг снежного покрова. Снег обладает способностью к накоплению химических веществ в течение длительного периода – с момента залегания и до снеготаяния. Именно это позволяет провести оценку уровня техногенной нагрузки на рассматриваемой территории за большой промежуток времени. Снег к тому же играет важную роль в формировании химического стока водных объ-

ектов, в питании которых участвуют талые воды. Загрязняющие вещества в снежном покрове находятся в трех формах: газообразной, химически растворенных веществ и нерастворенных частиц. Снежный покров аккумулирует загрязнения от естественных (природных) источников и источников хозяйственной деятельности.

Состояние снега и льда помогает выявить не только уровень загрязнения атмосферного воздуха, но также определить степень химической нагрузки на иные природные компоненты окружающей среды, в том числе и на водные объекты.

© Янчук М. С., Воробьева И. Б., Власова Н. В., 2021

✉ Янчук Мария Сергеевна, e-mail: [m\\_s\\_yanchuk@mail.ru](mailto:m_s_yanchuk@mail.ru)



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Многолетние наблюдения за состоянием снежного покрова позволили обнаружить пространственно-временные особенности распределения химических веществ и выявить очаги загрязнения [4].

Оценка химического состава снега и льда была нами проведена на территории поселка Листвянка.

В последние годы в п. Листвянка происходит активное строительство частных домов и различных туристских объектов. Окрестности поселка испытывают интенсивную нагрузку на все природные компоненты. Оценка загрязнения атмосферного воздуха южного побережья оз. Байкал является актуальной темой [9]. Так, юго-западное побережье озера Байкал находится в зоне влияния Иркутско-Черемховского и Южнобайкальского промышленных узлов, влияние которых распространяется на десятки километров при северо-западном воздушном пе-

реносе. Загрязнение от промузлов беспрепятственно распространяется на правобережную часть реки Ангары, а по ее долине и на оз. Байкал [7]. Дополнительно загрязняющие вещества в прибрежную часть акватории Байкала поступают со стоком ручьев и рек, протекающих в падах п. Листвянка.

Цель работы – провести геоэкологическую оценку современного химического состава снежного покрова и льда на территории п. Листвянка и в прибрежной части акватории оз. Байкал в течение 2015-2018 годов.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Листвянка – рабочий поселок в Иркутской области, расположенный на юго-западном побережье оз. Байкал на склонах Приморского хребта у истока р. Ангары (рис.1).

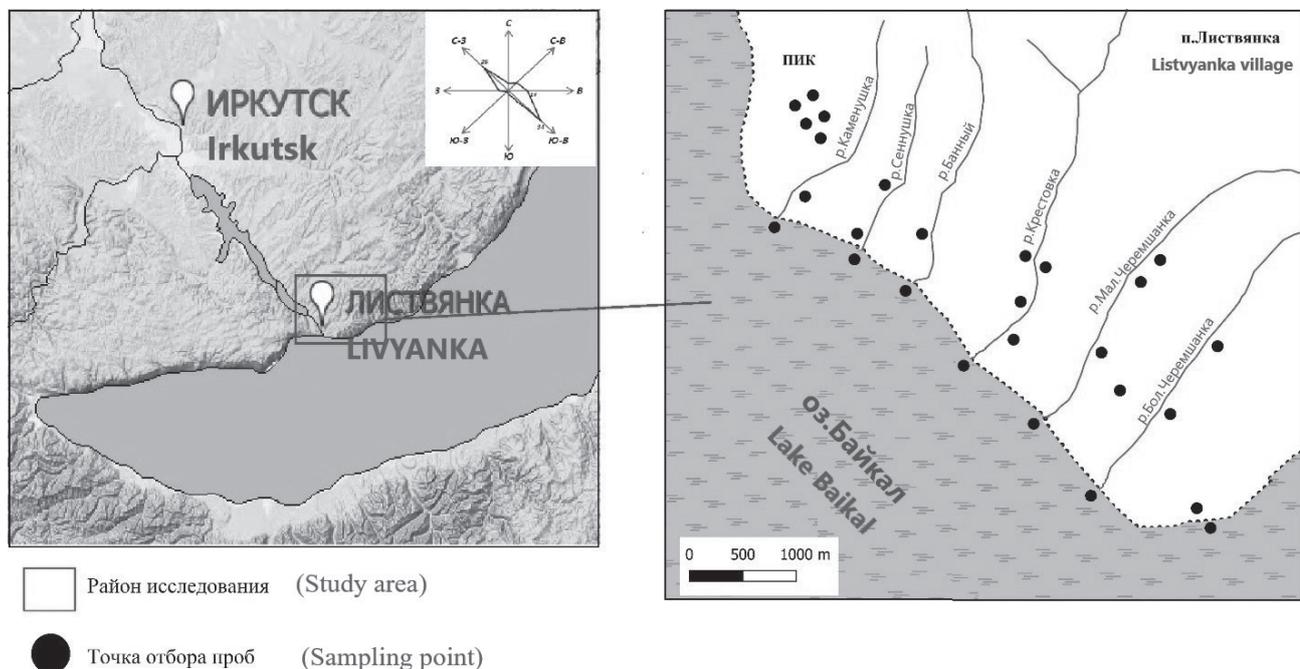


Рис. 1. Карта-схема отбора проб  
[Fig. 1. Map of the sampling]

Рельеф территории поселка Листвянка представлен днищами распадков и долин, эрозионно-денудационными склонами, полого-холмистыми водоразделами и узкими водоразделами-гребнями. Пади Каменушка, Сеннушка, Банная, Крестовая, Малая Черемшанка и Большая Черемшанка пересекают склоны Приморского хребта и в поперечном сечении представляют собой трапециевидные долины с узкими днищами и крутыми склонами. Пади отделены друг от друга гребневидными водоразделами и дренируются водотоками. Вблизи поселения, у истока р. Ангары, расположен южный макросклон с вершиной «Камень Черского», высота которого достигает 728,4 м [2].

Для изучаемой территории характерен влажный климат с умеренно теплым летом и холодной малоснежной зимой. Продолжительность зимнего периода составляет 145-150 дней, с начала ноября до конца марта. Средняя температура воздуха в зимние месяцы в п. Листвянка составляет  $-10,7^{\circ}\text{C}$ . Зимой выпадает существенно меньше осадков, чем летом. С ноября по март сумма осадков составляет 58-78 мм [1].

Эколого-геохимическое состояние снежного покрова устанавливалась по нескольким качественным элементам, содержащимся в талой воде – водородный показатель, содержание взвешенных веществ, сульфатов, хлоридов, нитратов, нитритов и некоторых металлов. Анализ проб снега

и льда был произведен в соответствии с гостированными методиками [8].

Снег и лед для эколого-геохимической оценки были отобраны в 6-ти падах поселка. Дополнительно в третьей декаде февраля-первой декаде марта 2015-2018 годов пробы отбирались за пределами поселка на южном макросклоне и на прилегающей к Листвянке акватории озера Байкал.

Образцы отбирались с учетом преобладающих ветров. В январе-феврале здесь преобладают юго-восточные ветры, а в остальную часть года с большей повторяемостью отмечается северо-западный перенос. Пробы снега были взяты при помощи снегомера ВС-43, а лед отбирался при помощи бура в прибрежной части акватории оз. Байкал и в местах, испытывающих наибольшую антропогенную нагрузку в зимний период. Большинство анализируемых проб были отобраны в зоне влияния населенного пункта.

Поскольку талые воды, стекающие из падей поселка, попадают в оз. Байкал, то для оценки качества снегового покрова и льда были использованы нормативы качества, установленные для водоемов рыбохозяйственного назначения [6].

#### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Водородный показатель.** Величина рН, в рассмотренных образцах снега и льда, в среднем колеблется в пределах 6,2-7,5, что соответствует установленным санитарно-гигиеническим нормативам. Минимальные значения водородного показателя определены в снежном покрове, отобранном в разные

годы на правом берегу реки Крестовки (5,8-6,5 ед.). Согласно литературным данным, в естественном состоянии реакция снега и льда слабокислая, изменяющаяся в пределах 5,2-5,8 единиц рН. По причине влияния промышленных предприятий и котельных, выбрасывающих в атмосферу золу и сажу, происходит увеличение значений рН и в целом среда становится слабощелочной и нейтральной. Установлено, что реакция среды талой воды в падах п. Листвянки соответствуют слабокислым и нейтральным значениям.

В образцах снега и льда, отобранного с акватории Байкала, показатель рН варьирует в пределах 6,5-7,2. Необходимо отметить, как правило, в пробах льда значения водородного показателя несколько выше, чем в снежном покрове.

**Взвешенные вещества.** Они представлены пылью, золой, сажой и прочими твердыми элементами. Их поступление в окружающую среду, на селитебных территориях чаще всего связано с процессами горения различных видов топлива на тепловых электростанциях, местных котельных. Как правило, с наступлением отопительного сезона, количество потенциально токсичных веществ от сжигания топлива возрастает, что вызывает выраженный рост загрязнения воздуха [3].

Содержание взвешенных веществ в талых водах снега, отобранного на территории падей, в среднем варьирует в пределах 0,03-0,08 г/дм<sup>3</sup>, а в пробах, взятых с акватории озера, значения ниже: 0,04-0,06 г/дм<sup>3</sup>. Для льда Байкала характерны концентрации от 0,01 до 0,05 г/дм<sup>3</sup>.

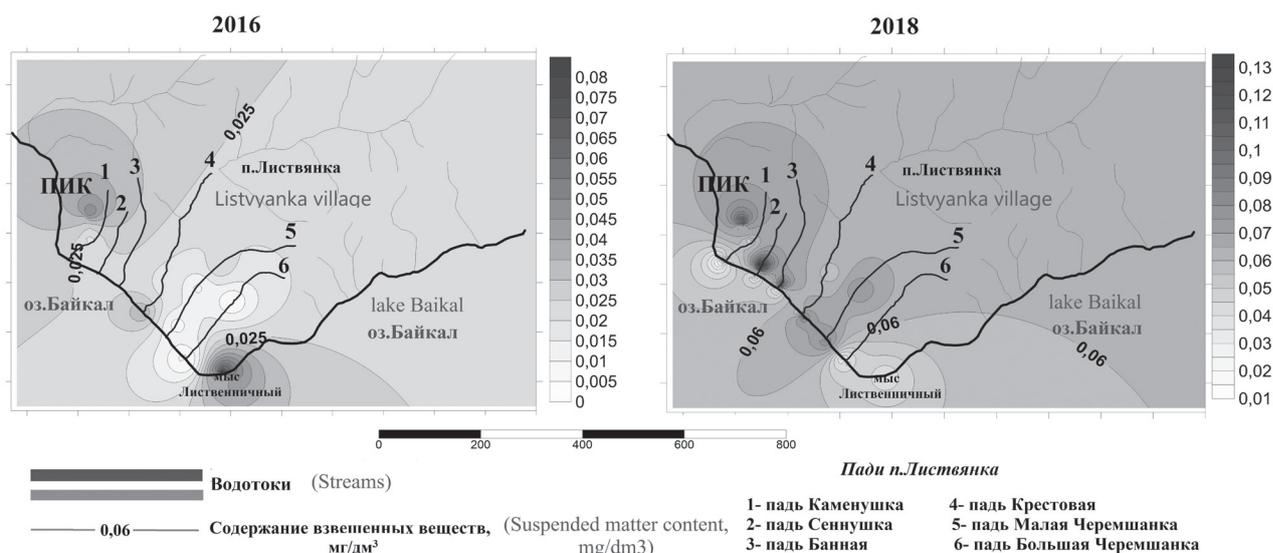


Рис.2. Концентрации взвешенных веществ в пробах снега и льда, п. Листвянка, 2016 и 2018 годы [Fig.2. Suspended matter concentrations in snow and ice samples, Listvyanka village, 2016 and 2018, 1-pad Kamenushka, 2-pad Sennushka, 3-pad Bannaya, 4-pad Krestovaya, 5-pad Malaya Cheremshanka, 6-pad Bolshaya Cheremshanka]

В пробах снега отобранных на макросклоне Приморского хребта, концентрации взвешенных веществ в 2016 году колебались в широком диапазоне от 0,005 до 0,05 г/дм<sup>3</sup>. В 2018 году значения выросли до 0,05-0,12 г/дм<sup>3</sup>. Максимальные концентрации за все годы исследования были определены в пробах снега, отобранного на вершине склона.

На рассматриваемой территории источники взвешенных веществ связаны с автомобильным транспортом, местными котельными, атмосферным переносом от промышленных предприятий Иркутской области [8]. Аккумуляция взвешенных веществ в снежном покрове затем фильтруется в почву, вызывая подщелачивание среды.

**Сульфат-ионы.** Сульфат-ионам, представляющим собой один из главных анионов, присвоен 4-й класс опасности - умеренно опасные по органолептическому признаку. Согласно СанПиН 2.1.4.1074-01 содержание сульфатов в воде водоемов, предназначенных для рыбохозяйственного производства, составляет 100 мг/дм<sup>3</sup>. Фоновые значения для п. Листвянка составляют 5,5 мг/дм<sup>3</sup> [5].

Источниками данных веществ являются выбросы промышленных предприятий, ТЭЦ и местные котельные.

По данным анализов в 2015 году установлено, что в большинстве проб эти вещества не были обнаружены.

В 2016 году пробы снега с акватории озера не удалось отобрать из-за его отсутствия. Сульфат-ионы в пробах снега взятого из падей п. Листвянка определены на уровне, достигающем значения 11,5 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения (17 мг/дм<sup>3</sup>) зарегистрированы в окрестностях Сеннушки, на левом берегу реки Крестовки и вблизи мыса Лиственничного (рис.3). В большинстве образцов льда SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> не обнаружены. Высокие концентрации (15 мг/дм<sup>3</sup>) с превышением фоновых значений установлены в пробе льда, отобранной с акватории озера напротив пади Крестовая, в устье одноименной реки.

В образцах снега и льда в 2017 году с акватории озера данные вещества не обнаружены. Средние концентрации сульфат-ионов в этот год в падах составляли 4,9 мг/дм<sup>3</sup>, что не превышает ПДК

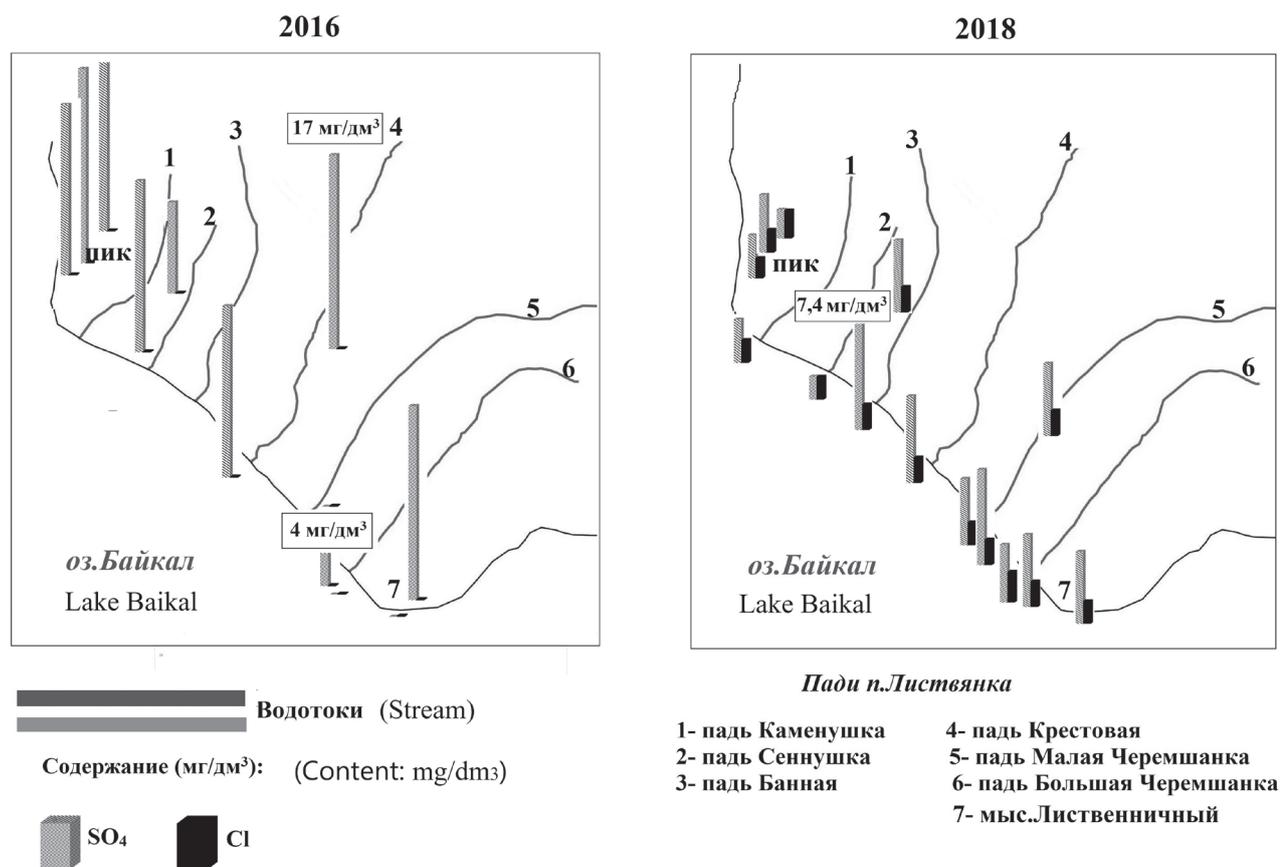


Рис.3. Концентрации сульфатов и хлоридов в пробах снега и льда, п. Листвянка, 2016 и 2018 годы  
 [Fig.3. Concentrations of sulfates and chlorides in snow and ice samples, Listvyanka village, 2016 and 2018,  
 1-pad Kamenushka, 2-pad Sennushka, 3-pad Bannaya, 4-pad Krestovaya,  
 5-pad Malaya Cheremshanka, 6-pad Bolshaya Cheremshanka]

и фоновых значений. Максимальные концентрации ( $9,3 \text{ мг/дм}^3$ ) определены в снеге пади Большая Черемшанка. Место отбора проб расположено в глубине распадка, в удалении от домов. В пробах снега падей в 2018 году содержание  $\text{SO}_4^{2-}$  колебалось в пределах  $1,6-5,5 \text{ мг/дм}^3$  при среднем значении  $4,5 \text{ мг/дм}^3$  (рис.3). В снеге, отобранном с акватории озера, среднее содержание сульфат-ионов не превышало  $4,9 \text{ мг/дм}^3$ , а максимальные концентрации были зафиксированы напротив падей Банная ( $7,4 \text{ мг/дм}^3$ ) и Малая Черемшанка ( $6,6 \text{ мг/дм}^3$ ). Вероятно повышенное содержание данных веществ в падах поселка в сравнении с акваторией Байкала, связаны с влиянием орографии на условия циркуляции атмосферы. Таким образом наибольшему воздействию подвергаются наветренные склоны, нежели открытая акватория озера.

В образцах снега, отобранного с южного макросклона Приморского хребта, в конце февраля в 2016-2018 годах концентрации сульфатов изменялись в пределах от  $4,0 \text{ мг/дм}^3$  до  $33,5 \text{ мг/дм}^3$ . Максимальные значения были определены в пробах 2016 года. Полученные значения многократно превышают региональные фоновые значения по содержанию сульфатов. Как установлено в ходе анализа образцов - в верхней точке отбора концентрация сульфат-ионов снижается, по сравнению с точками, расположенными ниже по склону, а наименьшие значения определены у подножья склона. В снеге, отобранном на вершине в 2018 году, концентрации сульфатов, по сравнению с данными полученными в 2016-2017 годах, снизились в 7-10 раз и регистрировались в пределах  $2,0-4,5 \text{ мг/дм}^3$ .

*Хлориды.* Согласно нормам, установленным СанПин 2.1.4.1074-01, предельно допустимые концентрации хлоридов для рыбохозяйственных вод ниже -  $300 \text{ мг/дм}^3$ . Фоновые значения для рассматриваемой территории -  $0,4 \text{ мг/дм}^3$  [5].

Концентрация хлоридов в исследуемых пробах, отобранных в период с 2015 по 2017 годы, изменялись в диапазоне от  $0,03 \text{ мг/дм}^3$  до  $0,15 \text{ мг/дм}^3$ . Наименьшие концентрации были установлены в пади Крестовая в 2017 году -  $0,03 \text{ мг/дм}^3$ . Среднее содержание хлорид-ионов в пробах снега в падах по данным 2015 года составляло  $0,10 \text{ мг/дм}^3$ , в 2016 -  $0,07 \text{ мг/дм}^3$  и  $0,05 \text{ мг/дм}^3$  в 2017 году. В образцах снега с акватории озера в 2016 году хлориды были определены на уровне  $0,08 \text{ мг/дм}^3$ , в пробах льда, за этот год, концентрации были немного выше (рис. 3). Согласно нашим данным в 2015 и 2017 году содержание хлорид-ионов во льду озера не превышало  $0,05 \text{ мг/дм}^3$ .

В пробах снега на южном макросклоне концентрации  $\text{Cl}^-$  в 2016 году изменялись от  $0,07 \text{ мг/дм}^3$  до  $0,09 \text{ мг/дм}^3$ . Максимальные значения определены у подножья южного макросклона, а минимальные на вершине. В 2017 году содержание хлоридов снизилось до  $0,07 \text{ мг/дм}^3$  (подножье) и  $0,05 \text{ мг/дм}^3$  (вершина).

Анализ результатов позволяет сделать вывод о возрастании концентрации хлорид-ионов в пробах 2018 года (рис. 3). Так, содержание хлоридов в пробах снега падей регистрировалось в пределах  $1,60-1,80 \text{ мг/дм}^3$ . Высокие концентрации  $\text{Cl}^-$  определены в пробах льда, взятых на акватории озера напротив пади Каменушка ( $2,30 \text{ мг/дм}^3$ ) и пади Большая Черемшанка ( $2,13 \text{ мг/дм}^3$ ). Среднее значение хлоридов составляло  $1,77 \text{ мг/дм}^3$ . В снежном покрове озера хлорид-ионы также определены на уровне  $1,70 \text{ мг/дм}^3$ . Установленные концентрации в пробах снега и льда превышают региональные фоновые значения в 4-4,3 раз.

*Азотсодержащие органические вещества.* Соединения азота являются одними из загрязнителей воздуха, основная масса которых образуется как побочный продукт горения органического топлива и поступает в атмосферу в виде оксидов азота (II и IV). Накапливающиеся в снежном покрове азотсодержащие вещества в последующем могут поступать в другие природные среды: поверхностные и подземные воды, почву, донные осадки. На водосборную площадь озера данные вещества в основном попадают вместе с промышленными и бытовыми сточными водами, а также вместе с удобрениями.

Нитрит-ионы представляют собой промежуточный продукт биологического окисления аммиака до нитратов. Процессы нитрификации возможны исключительно в аэробных условиях. В ином случае процессы идут по обратному пути - восстановления азота до аммиака. Предельно допустимые концентрации нитритов в водах рыбохозяйственного назначения -  $0,08 \text{ мг/дм}^3$  [6]. Нитриты относятся к четвертому классу опасности.

По данным анализа проб 2015 года концентрации нитритов составляли  $0,02-0,03 \text{ мг/дм}^3$ . В 2016 году в пробах снега с территории пади и во льду Байкала их содержание колебалось в пределах  $0,02-0,04 \text{ мг/дм}^3$ , в снежном покрове озера они не были обнаружены. Отмечен рост содержания  $\text{NO}_2^-$  в пробах 2017 года. По сравнению с данными 2016 года их концентрации в снеге падей выросли до  $2-3,5 \text{ мг/дм}^3$ , в снежном покрове озера -  $1,5-2,6 \text{ мг/дм}^3$ , во льду Байкала -  $0,8-3,5 \text{ мг/дм}^3$ . Концен-

трации возрастали в точках отбора, расположенных вблизи мыса Лиственничного на удалении от жилых объектов поселка. В снеге, отобранном в падах п. Листвянка зимой 2018 года, концентрации нитритов изменялись в диапазоне от 0,14 до 0,20 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения были установлены в пади Каменушка. На акватории озера в снеге и льду NO<sub>2</sub><sup>-</sup> не были обнаружены напротив падей Банная, Крестовка и Большая Черемшанка. Нитриты не определялись во льду напротив Большой Черемшанки и вблизи мыса Лиственничного. В снеге, взятом при впадении реки Каменушка в оз. Байкал они составляли 0,17 мг/дм<sup>3</sup>.

Нитрат-ионы, в сравнении с другими азотными соединениями, являются наименее токсичными. Наличие их в талой воде, без присутствия нитритов и аммония, свидетельствует о давнем загрязнении среды. По классификации СанПиН 2.1.4.1074-01 данные вещества относятся к третьему классу опасности. Для вод рыбохозяйственного назначения их ПДК составляет - 40 мг/дм<sup>3</sup>. Региональные фоновые значения - 0,22 мг/дм<sup>3</sup> [10].

В пробах 2015 года нитрат-ионы не были обнаружены. Содержание нитрат-ионов в образцах снега и льда 2016 г. определены на уровне 1,90-5,05 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные концентрации отмечены в снеге пади Большая Черемшанка и вблизи мыса Лиственничного соответственно 4,10 и 5,05 мг/дм<sup>3</sup>. В снежном покрове падей в 2017 года NO<sub>3</sub><sup>-</sup> обнаружены на уровне 0,85-1,25 мг/дм<sup>3</sup>. Во льду и снеге с акватории озера напротив почти всех падей они не регистрировались кроме снега, взятого вблизи Малой Черемшанки (0,25 мг/дм<sup>3</sup>). Содержание нитрат-ионов в образцах снега и льда в 2018 года составляло от 0,20 мг/дм<sup>3</sup> до 3,25 мг/дм<sup>3</sup>, наибольшие концентрации установлены в снеге с акватории озера, отобранном напротив падей Каменушка (3,25 мг/дм<sup>3</sup>) и Сеннушка (2,71 мг/дм<sup>3</sup>). В пробах снега вблизи мыса Лиственничного концентрации NO<sub>3</sub><sup>-</sup> снизились до 1,61 мг/дм<sup>3</sup>. Во льду озера NO<sub>3</sub><sup>-</sup> не были обнаружены.

Аммоний накапливается при растворении в воде аммиака (NH<sub>3</sub><sup>-</sup>), образующегося при биохимическом распаде азотсодержащих органических соединений. Содержание аммоний-иона в концентрациях, превышающих фоновые значения свидетельствует о свежем загрязнении и близости источника загрязнения (очистные сооружения, промышленные отходы, турбазы и прочее). Увеличение концентраций аммония наблюдается в осеннее-зимний период, что связано с отмиранием водных организмов. Снижение концентраций про-

исходит весной и летом, благодаря процессам фотосинтеза и усвоением данных веществ растениями. Аммоний относится к четвертому классу опасности. Предельно допустимые его концентрации для водоемов рыбохозяйственного назначения не превышают 0,5 мг/дм<sup>3</sup>, фон - 0,09 мг/дм<sup>3</sup> [10].

Ионы аммония в 2015 году были установлены только в пробах снега на территории пади Малая Черемшанка (0,70 мг/дм<sup>3</sup>), пади Большая Черемшанка (1,60 мг/дм<sup>3</sup>) и в пробе льда, отобранной вблизи мыса Лиственничного (0,30 мг/дм<sup>3</sup>). Выявленные концентрации аммония в несколько раз превышают фоновые значения, что свидетельствует о свежем загрязнении. Аммоний в образцах 2016 года определен на уровне ниже ПДК для озера Байкал (0,04 мг/дм<sup>3</sup>). В образцах снега и льда 2017 года концентрации аммония установлены на уровне ниже ПДК: от 0,03 мг/дм<sup>3</sup> до 0,04 мг/дм<sup>3</sup>. В 2018 году аммоний в большинстве проб определен на уровне, превышающем ПДК для Байкала. Содержание NH<sub>4</sub><sup>+</sup> составляло 0,004-0,15 мг/дм<sup>3</sup>.

На горной вершине в 2016 году концентрации нитритов и аммония определены на уровне ниже ПДК и фона. Установлены многократные превышения фоновых значений по содержанию нитрат-ионов (2,50-4,90 мг/дм<sup>3</sup>). В 2017 году концентрации нитрат-ионов снизились (0,20-1,15 мг/дм<sup>3</sup>), увеличилось содержание нитрит-ионов - 0,40-3,75 мг/дм<sup>3</sup>. Содержание аммония установлено в пределах 0,03-0,13 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения определены в пробах снега у подножья горы, минимальные - на самой верхней точке.

**Фосфаты.** Предельно допустимые концентрации фосфат-ионов составляют 0,02 мг/дм<sup>3</sup> [6].

Концентрации фосфат-ионов в 2016 году в большинстве рассмотренных проб снега и льда отмечались на уровне ниже установленных санитарных норм. Среднее их содержание в снеге падей составляло 0,03 мг/дм<sup>3</sup>. Превышение ПДК зафиксированы на левом берегу реки Крестовки, на восточном склоне - 0,06 мг/дм<sup>3</sup>. В снеге озера фосфаты были определены только в одной точке - напротив пади Большая Черемшанка (0,01 мг/дм<sup>3</sup>). Средние концентрации PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> в пробах льда озера - 0,02 мг/дм<sup>3</sup>.

Согласно данным в 2018 году зафиксированы самые высокие значения содержания фосфатов в пробах льда и снега за все годы наших исследований. Концентрации в снеге падей варьировали в широком диапазоне от 0,42 до 2,3 мг/дм<sup>3</sup>, при среднем содержании 1 мг/дм<sup>3</sup>. Большие содержания фосфатов в снеге выявлены в падах Каменушка

(1,34 мг/дм<sup>3</sup>) и Большая Черемшанка (2,30 мг/дм<sup>3</sup>). На акватории озера содержание фосфат-ионов в среднем составляло 0,32-0,35 мг/дм<sup>3</sup>.

В образцах снега с южного макросклона наибольшие концентрации фосфатов определены в 2018 году (0,42-2,08 мг/дм<sup>3</sup>) по сравнению с 2016 годом (0,03-0,04 мг/дм<sup>3</sup>). Концентрации снижа-

лись по мере подъема на вершину. Наибольшие значения определены в пробах снега отобранного у подножья склона.

*Микроэлементы.* В образцах снега и льда на территории поселения и прилегающей к нему акватории озера Байкал были определены следующие тяжелые металлы - Cr, Mn, Ni, Cu, Zn, Sr, Pb.

Таблица

Тяжелые металлы по классу опасности, ПДК и фоновые значения  
[Tab. Heavy metals in the hazard class, the limit values and background values]

Элемент / Element	Класс опасности / Hazard class	ПДК рыб.хоз. (мг/дм <sup>3</sup> ) / MPC (mg/dm <sup>3</sup> )	Региональный фон (мг/дм <sup>3</sup> ) / Regional background (mg/dm <sup>3</sup> )
Cr	3	0,5	-
Mn	4	0,010	0,024
Ni	3	0,1	-
Cu	3	0,001	0,002
Zn	3	0,01	0,02
Sr	3	0,4	-
Pb	2	0,006	-

Концентрации хрома, никеля и стронция в образцах снега и льда за все годы исследования определены на уровне ниже установленных санитарными нормами и фоновыми значениями. Превышения ПДК и фоновых значений установлены для марганца, меди, цинка и свинца.

Максимальное содержание Mn с превышением ПДК в 6,9 раз и фона в 2,9 раз определено в 2017 году на территории пади Малая Черемшанка. Содержание меди, цинка и свинца в большинстве проб снега за все годы исследования превышают ПДК, а также региональные фоновые значения.

В пробах снега с акватории озера концентрации тяжелых металлов ниже, чем в падах. Высокие концентрации Mn и Zn, с превышением ПДК и фона, зафиксированы в 2017 году на акватории озераа напротив большинства падей, а также вблизи мыса Лиственничного. Максимальные концентрации марганца в снеге озера выявлены в 2017 году. Они составляли 0,09 мг/дм<sup>3</sup>, а цинка - 0,78 мг/дм<sup>3</sup>.

Во льду озера Байкал наиболее высокие концентрации марганца и цинка с превышением санитарных норм и фона установлены в пробах 2017 года. В образцах льда установлено содержание тяжелых металлов ниже, чем в снеге.

Пробы снега на южном макросклоне в зимний период 2016-2018 годов показали, что наименьшие концентрации отмечены в пробах самой

верхней точки. Установлено, что в снеге взятом на склоне концентрации Mn и Zn выше, чем в падах и на акватории Байкала.

Содержание марганца, за годы исследования, изменялось в широком диапазоне: от 0,002 до 0,03 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные его значения были определены в 2016 году на нижней части склона. Наименьшие - в 2018 году, концентрации Mn в этот год не превышали 0,01 мг/дм<sup>3</sup>.

Концентрации цинка в пробах снега макросклона в среднем за 2017-2018 годы составляли 0,006-0,007 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные значения, с превышением ПДК в 7 раз и фона в 3,65 раз были определены в 2016 году на верхней части склона.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эколого-геохимический мониторинг снежного покрова на территории п. Листвянка и акватории озера Байкал, а также льда озера в течение 2015-2018 годов выявило некоторые закономерности.

1. Содержание взвешенных веществ в снеге, отобранном с территории падей п. Листвянка, выше, чем на акватории оз. Байкал. В пробах Байкальского льда отмечаются наименьшие концентрации взвешенных веществ.

2. Сульфат-ионы определены на уровне ниже ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения, но в образцах снега, отобранных в зимний период 2017-2018 годов превышают региональ-

ные фоновые значения. Отмечается рост концентраций  $\text{SO}_4^{2-}$  в 2018 году.

3. Концентрации хлоридов в пробах снега и льда зимой 2015-2017 годов были установлены на низком уровне (0,032-0,15 мг/дм<sup>3</sup>), не превышающем фоновые значения для района исследования. В 2018 году значения  $\text{Cl}^-$  в пробах снега падей и с акватории озера увеличились и превысили фон: 1,7 мг/дм<sup>3</sup>. Максимальные концентрации отмечались в образцах льда напротив пади Каменушка.

4. Установлено, что концентрации нитрит-ионов в снеге, отобранном в падах и на акватории озера, а также во льду Байкала в 2017 году превышали санитарно-гигиенические нормы для водоемов рыбохозяйственного назначения в 18,7-43,7 раз. В 2018 году концентрации  $\text{NO}_2^-$  в пробах снега с территории падей снизились до 0,14-0,2 мг/дм<sup>3</sup>, а во льду озера, во многих точках, не были обнаружены.

5. По данным 2015-2017 годов содержание нитратов и фосфатов в снежном покрове и во льду не превышали установленные нормы ПДК и фоновые значения. Увеличение концентраций отмечалось в 2018 году. Содержание фосфатов в снеге падей и на акватории озера превышало ПДК в 21-115 раз.

6. Высокие значения аммония с превышением ПДК определены в 2015 году в снеге падей Малая и Большая Черемшанка. В последующие годы концентрации  $\text{NH}_4^+$  определены на уровне ниже ПДК.

7. На территории исследования установлено превышение ПДК водоемов рыбохозяйственного назначения по содержанию таких металлов как Cu, Zn и Pb. В пробах снега, отобранного с акватории озера, концентрации тяжелых металлов ниже, чем в падах. За годы наблюдения максимальное содержание металлов установлено в образцах 2017 года.

В результате исследования было установлено, что в пробах снега, отобранных на макросклоне содержание взвешенных веществ выше, чем в падах и на акватории озера. Они достигают максимальных значений на самой вершине (0,05-0,12 г/дм<sup>3</sup>). Также здесь отмечается наибольшее содержание сульфатов, по сравнению с остальной исследуемой территорией поселка. Содержание азотсодержа-

щих веществ в снеге склона изменялось в обратную сторону: максимальные концентрации были установлены у подножья и минимальные на вершине. Такая же картина просматривается и в распределении металлов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Байкал. Атлас* / Под ред. Г. И. Галазия. Москва: Федеральная служба геодезии и картографии России, 1993. 160 с.
  2. Бояркин В. М., Бояркин И. В. *География Иркутской области*. Иркутск: Сарма, 2011. 256 с.
  3. Василенко В. Н., Назаров И. М., Фридман Ш. Д. *Мониторинг загрязнения снежного покрова*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1985. 181 с.
  4. Гаврилова И. П., Касимов Н. С. *Практикум по геохимии ландшафта*. Москва: Издательство Московского университета, 1988. 447 с.
  5. Гребенщикова В. И., Лустенберг Э. Е., Китаев Н. А., Ломоносов И. С. *Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский экологический полигон)*. Новосибирск: Акад. из-во "Гео", 2008. 234 с.
  6. *Перечень рыбохозяйственных нормативов: предельно допустимых концентраций (ПДК) и ориентировочно безопасных уровней воздействия (ОБУВ) вредных веществ для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение*. Москва: Изд-во ВНИРО, 2010. 304 с.
  7. Потемкин В. Л., Потемкина Т. Г., Гусева Е. А. Региональный перенос примесей как геоэкологическая проблема Прибайкалья // *Вестник ИрГТУ*, 2011, № 6, с.103-107.
  8. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши. Часть 1 / Под ред. Л. В. Боевой. Ростов-на-Дону: Издательство НОК, 2009. 1045 с.
  9. Слаута А. А., Афонина Т. Е. Анализ состояния загрязнения атмосферного воздуха южного побережья оз. Байкал (Слюдянский район) // *Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология*, 2018, № 2, с. 84-86. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2018.2/2216>
  10. Siudek P., Falkowska L., Urba A. Temporal variability of particulate mercury in the air over the urbanized zone of the southern Baltic // *Atmospheric Pollution Research*, no. 2, 2011, pp. 484-491.
- Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию 03.12.2020

Принята к публикации 03.09.2021

## Geocological Assessment of Snow and Ice on the Southern Coast of the Baikal Lake

M. S. Yanchuk ✉, I. B. Vorobyova, N. V. Vlasova

*Sochava Institute of geography SB RAS, Russian Federation  
(664033, Irkutsk, Ulan-Batorskaya str.)*

**Abstract:** The purpose is geocological assessment of the current chemical composition of the snow cover and ice of Listvyanka village, as well as the coastal part of the Baikal Lake area. **Materials and methods:** The studies were carried out on the basis of chemical analysis of meltwater samples of snow and ice. To assess the current composition of snow and ice in the study area, electrometric methods, titrimetry, argenometry, turbidimetry and photometry were used. The content of mobile forms of metals was carried out on the Optima 2000DV instrument – an optical emission spectrometer. The concentrations of suspended solids, sulfates, chlorides, nitrogen-containing substances, phosphates, as well as metals such as chromium, manganese, nickel, copper, zinc, strontium and lead were determined in the studied samples. **Results and discussion:** Based on the results obtained during the chemical analysis, a modern geocological assessment of the state of snow cover and ice in the territory under consideration was given. The excess of the MPC for some substances, as well as the territorial patterns of the distribution of pollutants, were revealed. Based on the obtained data, maps of the distribution of suspended substances, sulfates and chlorides were constructed.

**Key words:** geocological assessment, snow cover, Listvyanka village, Baikal Lake coastal area

**Funding:** The study was carried out with funds from the state assignment AAAA-A21-121012190055-7.

**For citation:** Yanchuk M. S., Vorobyova I. B., Vlasova N. V. Geocological Assessment of Snow and Ice on the Southern Coast of the Baikal Lake. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografija geokologiya*, 2021, no. 3, pp. 59-68 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2021.3/3602>

### REFERENCES

1. *Bajkal. Atlas* [Baikal Atlas]. Pod red. G. I. Galaziya. Moscow: Federal'naya sluzhba geodezii i kartografii Rossii, 1993. 160 p. (in Russ.)
2. Boyarkin V. M., Boyarkin I. V. *Geografiya Irkutskoj oblasti* [Geography of the Irkutsk region]. Irkutsk: Sarma, 2011. 256 p. (in Russ.)
3. Vasilenko V. N., Nazarov I. M., Fridman S. D. *Monitoring zagryazneniya snezhnogo pokrova* [Monitoring of snow cover pollution]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1985. 181 p. (in Russ.)
4. Gavrilova I. P., Kasimov N. S. *Praktikum po geohimii landshafta* [Workshop on landscape Geochemistry]. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 1988. 447 p. (in Russ.)
5. Grebenshchikova V. I., Lustenberg E. E., Kitaev N. A., Lomonosov I. S. *Geohimiya okruzhayushchej sredy Pribajkal'ya (Bajkal'skij ehkologicheskij poligon)* [Geochemistry of the environment of Baikal region (the Baikal ecological landfill)]. Novosibirsk: Akad. "Geo" Publ., 2008. 234 p. (in Russ.)
6. *Perechen' rybohozyajstvennykh normativov: predel'no dopustimyh koncentracij (PDK) i orientirovochno bezopasnyh urovnej vozdejstviya (OBUV) vrednykh veshchestv dlya vody vodnykh ob'ektov, imeyushchih rybohozyajstvennoe znachenie* [List of fishery standards: maximum permissible concentrations (MPC) and approximately safe levels of exposure (s) of harmful substances to water of bodies of fisheries significance]. Moscow: Izdatel'stvo VNIRO, 2010. 304 p. (in Russ.)
7. Potemkin V. L., Potemkina T. G., Guseva E. A. *Regional'nyj perenos primesej kak geokologicheskaya problema Pribajkal'ya* [Regional transfer of impurities as a geocological problem of the Baikal region]. *Vestnik IrGTU*, 2011, no. 6, pp. 103-107. (in Russ.)
8. *Rukovodstvo po himicheskomu analizu poverhnostnykh vod sushi. Chast' 1* [Guidance on chemical analysis of surface waters of the land. Chast' 1]. Pod red. I. V. Boevoj. Rostov-on-Don, 2009, 1045 p. (in Russ.)

© Yanchuk M. S., Vorobyova I. B., Vlasova N. V., 2021

✉ Maria S. Yanchuk, e-mail: [m\\_s\\_yanchuk@mail.ru](mailto:m_s_yanchuk@mail.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

9. Slauta A.A., Afonina T.E. *Analiz sostoyaniya zagryazneniya atmosfernogo vozduha yuzhnogo poberezh'ya oz. Bajkal (Slyudyanskij rajon)* [Analysis of the state of the lake air on the southern coast. Baikal (Slyudyansky District)]. *Vestnik Voronezskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologia*, 2018, no. 2, pp. 84-86. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo.2018.2/2216>. (in Russ.)

10. Siudek P., Falkowska L., Urba A. Temporal variability of particulate mercury in the air over the urbanized

zone of the southern Baltic. *Atmospheric Pollution Research*, 2011, no. 2, pp. 484-491.

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 03.12.2020

Accepted: 03.09.2021

Янчук Мария Сергеевна  
младший научный сотрудник Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-4970-2655, e-mail: [m\\_s\\_yanchuk@mail.ru](mailto:m_s_yanchuk@mail.ru)

Воробьева Ирина Борисовна  
кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-1353-7168, e-mail: [irene@irigs.irk.ru](mailto:irene@irigs.irk.ru)

Власова Наталия Валерьевна  
кандидат географических наук, старший научный сотрудник Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-4912-308X, e-mail: [vlasova@irigs.irk.ru](mailto:vlasova@irigs.irk.ru)

Maria S. Yanchuk  
Junior Researcher in V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-4970-2655, e-mail: [m\\_s\\_yanchuk@mail.ru](mailto:m_s_yanchuk@mail.ru)

Irina B. Vorobyova  
Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher in V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-1353-7168, e-mail: [irene@irigs.irk.ru](mailto:irene@irigs.irk.ru)

Natalia V. Vlasova  
Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher in V.B. Sochava Institute of Geography of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Irkutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-4912-308X, e-mail: [vlasova@irigs.irk.ru](mailto:vlasova@irigs.irk.ru)