



УДК 504.4.054:504.3.054 (571.5)
DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.124>

Динамика содержания минеральных форм азота в водотоках и атмосферных осадках поселка Листвянка (Южный Байкал)

Н. С. Чебунина, Н. А. Онищук, О. Г. Нецветаева, Т. В. Ходжер

Лимнологический институт СО РАН, Иркутск

Аннотация. Рассмотрена сезонная динамика содержания минеральных форм азота в водотоках и атмосферных осадках в районе пос. Листвянка (залив Лиственничный, Южный Байкал) за период 2015–2017 гг. Определены периоды максимального и минимального содержания исследуемых компонентов, а также рассчитаны соотношения минеральных форм азота в поверхностных водах и атмосферных осадках. Установлено, что в поверхностных водах пос. Листвянка преобладающей формой минерального азота являлся нитратный азот, среднегодовое процентное содержание которого составило 82–98 %. Процентное содержание аммонийного азота изменялось от 2 до 18 %. В атмосферных осадках основными формами минерального азота были аммонийный и нитратный азот. В теплый период возрастает доля аммонийного азота в атмосферных осадках (среднее содержание составило 64 %), в холодный период наблюдается увеличение доли нитратного азота (74 %).

Проведенные исследования показали, что повышенные концентрации минерального азота (0,25–2,29 мг/дм³), обнаруженные в устьевых участках водотоков пос. Листвянка, вероятнее всего, связаны с поступлением неочищенных коммунально-бытовых сточных вод, а также атмосферными выпадениями, содержащими значительные количества загрязняющих примесей, поступающих в атмосферу с местными и региональными промышленными выбросами, выхлопными газами автотранспорта в пос. Листвянка.

Ключевые слова: Лиственничный залив, минеральные формы азота, атмосферные осадки.

Для цитирования: Чебунина Н. С., Онищук Н. А., Нецветаева О. Г., Ходжер Т. В. Динамика содержания минеральных форм азота в водотоках и атмосферных осадках поселка Листвянка (Южный Байкал) // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 24. С. 124–139. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.124>

Введение

Озеро Байкал, являясь самым глубоким озером на Земле, относится к числу древнейших водоемов нашей планеты. Здесь сосредоточено около 20 % всех мировых запасов пресной воды. В настоящее время в связи с активно развивающимся туризмом и, как следствие, увеличением антропогенной нагрузки на уникальную экологическую систему Байкала, изменением климата остро стоит вопрос о необходимости слежения за происходящими изменениями, разработки и реализации природоохранных мероприятий по его защите. В частности, в последние годы повышенная антропогенная нагрузка наблюдается в прибрежных водах юго-западной части оз. Байкал, в заливе Лиственничный. Здесь расположен пос. Листвянка, который является административным центром Листвянского городского поселения с населе-

нием около 2 тыс. человек. В настоящее время поселок – популярный туристический центр, который ежегодно посещают сотни тысяч туристов из России и других стран. В районе исследования протекают р. Крестовка и несколько небольших ручьев, впадающих в оз. Байкал: Каменушка, Сеннушка, Малая Черемшанка и Большая Черемшанка, по берегам которых проживает значительная часть населения поселка. Вблизи водотоков поселка построены гостиницы, гостиничные дома и кафе. Большинство жилых домов и гостиниц не имеют центральной системы водоотведения, оборудованы, как правило, стационарными негерметичными септиками, в результате неочищенные хозяйственно-бытовые сточные воды поступают в грунтовые воды, с поверхностным стоком попадают в водотоки поселка и прибрежную зону озера. Кроме того, загрязняющие вещества поступают в водотоки поселка от местных локальных источников и от промышленных комплексов Прибайкалья с атмосферными осадками [Результаты многолетних исследований ... , 2013].

Летом 2011 г. на всем протяжении Лиственничного залива впервые обнаружено нарушение зональной поясности в распределении зеленых нитчатых водорослей. Было установлено, что в поровых водах пляжа концентрации фосфатов в десятки раз превышали их содержание в поверхностных водах открытого Байкала. В воде ручья Малая Черемшанка отмечены повышенные концентрации фосфатов ($0,111 \text{ мг/дм}^3$), аммония ($2,43 \text{ мг/дм}^3$) и нитратов ($2,43 \text{ мг/дм}^3$). В придонной воде озера на глубине 3 м также зафиксированы повышенные концентрации этих биогенных элементов (фосфатов – от $0,020$ до $1,295 \text{ мг/дм}^3$; нитратов – от $0,04$ до $0,69 \text{ мг/дм}^3$; нитритов – от $0,013$ до $0,246 \text{ мг/дм}^3$, аммония – от $0,02$ до $2,44 \text{ мг/дм}^3$). Кроме того, обнаружены высокие концентрации термотолерантных колиморфных бактерий – показателей фекальных вод [Нарушение вертикальной зональности ... , 2012]. Эти изменения стали первыми признаками процессов локального эвтрофирования в Лиственничном заливе озера. В последующих исследованиях процесс эвтрофирования прибрежной области Лиственничного залива был также подтвержден [Nearshore benthic blooms ... , 2014; Rapid ecological change... , 2016]. Эвтрофирование водных экосистем, обусловленное увеличением антропогенной нагрузки, в частности ростом биогенных элементов в водоемах, является одной из основных экологических проблем в современном мире [Eutrophication: causes, consequences ... , 2011; Khan, Ansari, 2005; Lake eutrophication and ... , 2013; Smith, Joye, Howarth, 2006; Smith, Schindler, 2009].

В настоящее время исследование качества водотоков, протекающих по поселку и поступающих в Байкал, становится актуальной задачей, так как эти водотоки, с одной стороны, используются населением в хозяйственно-бытовых целях, с другой – загрязняют прибрежную область озера. Впервые работы по оценке гидрохимических показателей воды водотоков поселка были проведены в 50-х гг. прошлого века [Вотинцев, Глазунов, Толмачева, 1965]. Эти исследования эпизодически продолжались [Загоруйко, Гребенщикова, Склярова, 2014; Качество подземных и поверхностных ... , 2016], и только с 2015 г. они стали выполняться в режиме ежемесячного мониторинга. Исследования химического состава атмосферных осадков на станции мониторинга атмосферы в пос. Листвянка начаты в 1999 г., с 2001 г. станция

работает в рамках международной программы EANET (сеть станций мониторинга кислотных выпадений в Восточной Азии).

В настоящей работе рассмотрена сезонная динамика содержания и соотношения минеральных форм азота в поверхностных водах пос. Листвянка, а также в атмосферных осадках, являющихся одним из источников их поступления в водотоки.

Объекты и методы

Карта станций отбора проб поверхностной воды в районе пос. Листвянка представлена на рис. 1. В 2015–2017 гг. отбор проб поверхностных вод осуществлялся ежемесячно в местах, не подверженных антропогенному влиянию (выше пос. Листвянка), а также в устьях исследуемых водотоков, что позволило оценить качество вод, поступающих в оз. Байкал после прохождения ими жилого массива. Пробы, отобранные выше поселка, были контрольными, отражающими фоновое содержание различных компонентов в поверхностных водах. Отбор проб в устье ручья Малая Черемшанка в январе и феврале не проводился в связи с полным промерзанием ручья. Отбор проб атмосферных осадков осуществлялся на станции круглогодичного мониторинга атмосферы в пос. Листвянка ($51^{\circ}84'$ с. ш., $104^{\circ}89'$ в. д.) с использованием автоматического осадкоборника «US-320» в теплое время года и в пластиковые емкости – в холодный период в соответствии с руководством [Technical Document for ...].

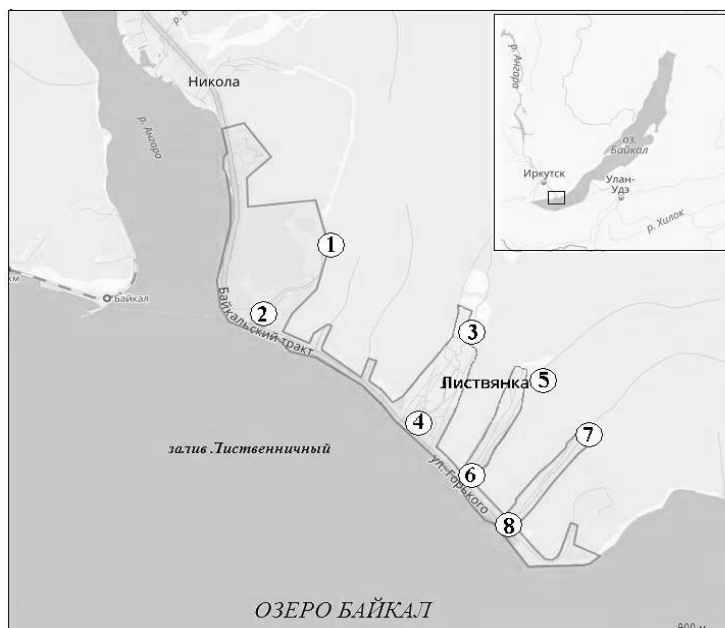


Рис. 1. Карта-схема района исследования (залив Лиственнический, оз. Байкал). Станции отбора проб поверхностных вод: 1 – руч. Каменушка (выше поселка); 2 – руч. Каменушка (устье); 3 – р. Крестовка (выше поселка); 4 – р. Крестовка (устье); 5 – руч.

Малая Черемшанка (выше поселка); 6 – руч. Малая Черемшанка (устье); 7 – руч. Большая Черемшанка (выше поселка); 8 – руч. Большая Черемшанка (устье)

Определение минеральных форм азота в поверхностных водах и атмосферных осадках осуществлялось в аккредитованной лаборатории гидрохимии и химии атмосферы Лимнологического института СО РАН (Иркутск) согласно [Руководство по химическому ... , 2009; Руководство по контролю ... , 1991] с использованием методов ГОСТ 33045-2014, РД 52.24.383–2005.

Результаты исследования

Минеральные формы азота в поверхностных водах и атмосферных осадках

Поверхностные воды. Как известно, азотсодержащие соединения имеют важное значение для водных экосистем. При их недостатке в воде наблюдается замедление роста и развития водной растительности, при избытке, наоборот, – развитие процессов эвтрофирования водных экосистем и снижение качества воды. В поверхностных водах азот представлен двумя основными группами – азот неорганических соединений (минеральный) и азот, входящий в состав органических веществ. Минеральные формы азота в водных экосистемах присутствуют преимущественно в растворенном виде и представлены нитритами, нитратами, аммиаком и ионами аммония [Никаноров, Иваник, 2014].

Нитраты. В природных водах нитратные ионы образуются в процессе минерализации органических азотсодержащих веществ под действием нитрифицирующих бактерий в аэробных условиях [Toxicological profile ... , 2017; Nitrates, nitrites ... , 1978]. В течение 2015–2017 гг. нами определены значительные внутригодовые колебания содержания нитратов в водотоках пос. Листвянка (рис. 2, *а–г*).

В устьях исследуемых водотоков в течение зимнего периода, а также в период вскрытия ледового покрова, содержание нитратов в воде максимально (см. рис. 2, *а–г*). Причинами повышенного содержания нитратов, вероятно, является разложение органических веществ и переход азота из органических форм в минеральные, а также отсутствие в воде потребителей азота (водной растительности, фитопланктона).

В весенний период, как правило, наблюдается снижение концентрации нитратов в воде за счет потребления их водной растительностью. Летний максимум (июль-август) четко выражен, но он значительно ниже зимнего (см. рис. 2, *а–г*). В конце летнего периода при интенсивном развитии фитопланктона содержание нитратов в воде резко падает и к сентябрю-октябрю опускается до годового минимума.

В таблице 1 приведены данные по среднегодовому содержанию минеральных форм азота в водотоках пос. Листвянка в 2015–2017 гг.

Как следует из данных табл. 1, содержание нитратов в поверхностной воде исследуемых водотоков существенно различается. В пробах воды, отобранных выше поселка, их концентрации минимальны и обусловлены естественными биохимическими процессами, протекающими в водных объектах.

Таблица 1

Среднегодовое содержание минеральных форм азота в водотоках пос. Листвянка в 2015–2017 гг. (мг/дм³)

Станции отбора проб воды	Показатель		
	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺
руч. Каменушка (выше поселка)	0,94±0,41	0,005±0,010	0,008±0,009
руч. Каменушка (устье)	6,25±3,49	0,048±0,047	0,244±0,217
р. Крестовка (выше поселка)	0,34±0,12	0,004±0,002	0,024±0,043
р. Крестовка (устье)	0,98±0,88	0,006±0,006	0,039±0,063
руч. Малая Черемшанка (выше поселка)	0,68±1,01	0,006±0,003	0,029±0,036
руч. Малая Черемшанка (устье)	8,43±5,66	0,031±0,029	0,098±0,106
руч. Большая Черемшанка (выше поселка)	2,13±0,80	0,003±0,002	0,020±0,022
руч. Большая Черемшанка (устье)	9,73±3,21	0,031±0,035	0,063±0,119

Примечание. В таблице приведены средние величины со стандартным отклонением.

В устьевых участках р. Крестовка, ручьев Каменушка, Малая Черемшанка и Большая Черемшанка среднегодовое содержание нитратов превысило фоновые значения в 2,9; 6,6; 12,4 и 4,6 раза соответственно. При сравнении уровня загрязнения нитратами устьевых участков водотоков минимальное содержание обнаружено для р. Крестовка (от 0,24 до 3,12 мг/дм³; при среднем значении 0,98 мг/дм³), максимальное – в руч. Большая Черемшанка (от 4,72 до 13,03 мг/дм³; среднее значение – 9,73 мг/дм³).

В таблице 2 приведены результаты, полученные в разные периоды наблюдений по р. Крестовка. В 2015–2017 гг. отмечен рост содержания нитратов в 2,2–3,1 раза по сравнению с предыдущими годами.

Таблица 2

Содержание минеральных форм азота в поверхностных водах устья р. Крестовка (мг/дм³) в разные периоды наблюдений

Показатель			Период
NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	
0,11–1,00	< 0,001–0,030	0,008–0,155	2007–2012 гг. [Загорулько, Гребенщикова, Склярова, 2014;]
0,17	0,011	0,17	2011 г. [Нарушение вертикальной зональности ... , 2012]
(0,24–3,12)* 0,98**	(< 0,003–0,019) 0,006	(< 0,020–0,189) 0,039	2015–2017 гг.

Примечание: * – диапазон концентраций; ** – среднее значение.

Тем не менее в исследуемых водотоках в течение рассматриваемого периода случаев превышения предельно допустимой концентрации по нитратам (ПДК-45 мг/дм³) для водоемов, имеющих хозяйственно-питьевое и культурно-бытовое значение, не выявлено [ГН 2.1.5.1315-03].

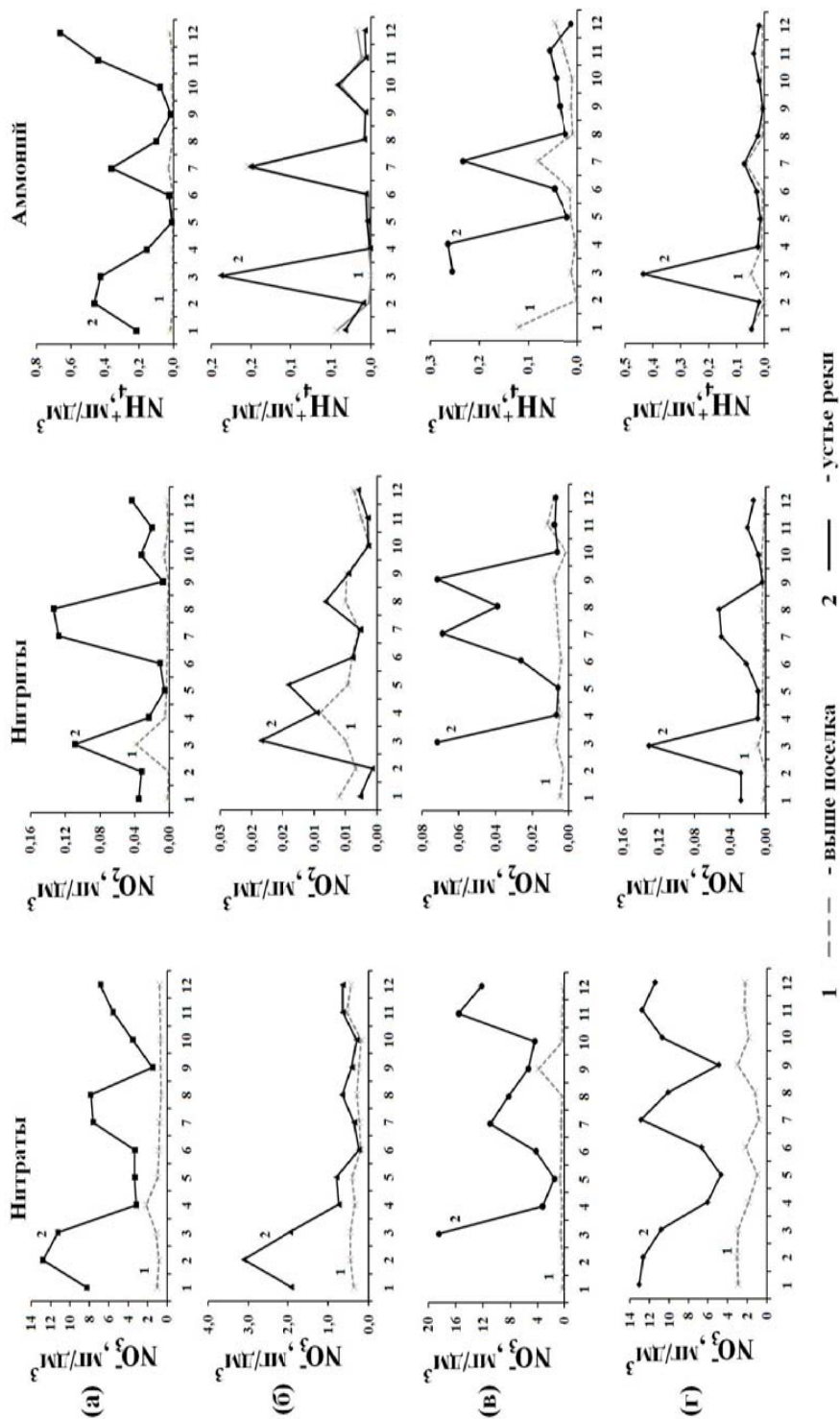


Рис. 2. Внутригодовая динамика содержания минеральных форм азота (нитратов, нитритов и аммония) в водотоках пос. Листвянка в течение 2015–2017 гг.: а) руч. Каменушка; б) руч. Малая Черемшанка; в) руч. Крестовка; г) руч. Большая Черемшанка.

Нитриты. Нитриты – неустойчивые соединения, образующиеся в поверхностных водах в результате биохимического окисления аммиака или при восстановлении нитратов. Их повышенное содержание свидетельствует о загрязнении водного объекта [Никаноров, Иваник, 2014]. Сезонная динамика нитритов в исследуемых водотоках характеризуется повышением их концентрации в период весеннего паводка. Содержание нитритов в воде повышается, как правило, и к концу лета, а в осенне-зимний период идет снижение до минимальных величин.

Содержание нитритов в пробах воды, отобранных выше поселка, минимально (см. рис. 2, *a–z*), в устьевых участках водотоков их концентрации значительно выше за счет поступления хозяйственно-бытовых сточных вод. В устьях р. Крестовки, ручьев Каменушка, Малая Черемшанка и Большая Черемшанка среднегодовое содержание нитритов превысило фоновые значения концентраций в 1,5; 9,6; 5,2 и 10,3 раза соответственно (см. табл. 1). Полученные результаты свидетельствуют о незначительном снижении уровня содержания нитритов в устье р. Крестовка по сравнению с их содержанием в 2007–2012 гг. (см. табл. 2). Максимальное содержание наблюдалось в устье руч. Каменушка. В течение рассматриваемого периода в исследуемых водотоках случаев превышения ПДК по содержанию нитритов ($3,3 \text{ мг/дм}^3$) для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения не выявлено [ГН 2.1.5.1315–03⁴].

Аммоний. Аммонийный азот является продуктом распада азотсодержащих органических веществ животного происхождения. В природной воде аммоний окисляется нитрифицирующими бактериями до нитритов и нитратов [Toxicological profile ... , 2004]. Повышенное содержание аммония в воде указывает на ухудшение санитарного состояния водного объекта. Предельно допустимая концентрация ионов аммония для объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения составляет $1,5 \text{ мг/дм}^3$ (в пересчете на азот) [ГН 2.1.5.1315-03⁴]. Источниками поступления аммония в водные экосистемы являются коммунально-бытовые сточные воды, содержащие значительные количества аммонийных соединений, которые могут проникать в грунтовые воды или смываться поверхностным стоком в водоемы. Кроме того, аммоний поступает в поверхностные воды с атмосферными осадками в результате процессов сухого и влажного осаждения [Asman, Sutton, Schjorring, 1998; Toxicological profile ... , 2004; Ammonia in the atmosphere ... , 2013; Brimblecombe, Dawson, 1984].

В водотоках выше поселка содержание аммония в течение года было низким, за исключением ручьев Малая Черемшанка и Большая Черемшанка. В устьевых участках водотоков максимумы концентраций зафиксированы в декабре, марте, апреле и июле (см. рис. 2, *a–z*).

В устьях р. Крестовка, ручьев Каменушка, Малая Черемшанка и Большая Черемшанка среднегодовое содержание ионов аммония превысило фоновые значения в 2,0; 24,0; 3,3 и 3,0 раза соответственно (см. табл. 1). Минимальное содержание аммония обнаружено в устье р. Крестовка. Уровень содержания аммония в устье р. Крестовка с 2007–2012 гг. практически не

изменился (см. табл. 2). Наиболее высокие концентрации аммония определены в устье руч. Каменушка, где регистрировалось превышение фоновых значений в течение всего периода исследования (среднегодовое значение – $0,244 \text{ мг/дм}^3$), при максимальных величинах в декабре ($0,660 \text{ мг/дм}^3$). Полученные результаты свидетельствуют о наличии стабильного источника загрязнения этого водотока в черте населенного пункта.

В целом в пробах воды, отобранных выше поселка в р. Крестовка, ручьях Каменушка, Малая Черемшанка и Большая Черемшанка, среднегодовое содержание минерального азота составило $0,09$; $0,22$; $0,18$ и $0,50 \text{ мг/дм}^3$ соответственно. Концентрации минерального азота в устьях рек увеличились и составили $0,25$; $1,61$; $1,99$ и $2,29 \text{ мг/дм}^3$ соответственно.

Атмосферные осадки. Известно, что атмосферные выпадения (сухие, мокрые) являются важными источниками поступления соединений азота на подстилающую поверхность [Nitrogen Oxides ... , 1999]. Многолетние исследования химического состава атмосферных выпадений на станции Листвянка показывают тенденцию к увеличению относительного содержания нитратов в снеге по сравнению с дождями [Особенности химии атмосферных ... , 2013]. В холодный период (ноябрь – апрель) 2015–2017 гг. среднемесячное содержание нитратов в атмосферных осадках оставалось повышенным и изменялось в пределах $1,99$ – $3,92 \text{ мг/дм}^3$ ($0,45$ – $0,89 \text{ мг/дм}^3$ в пересчете на азот), с максимальными значениями в феврале (рис. 3).

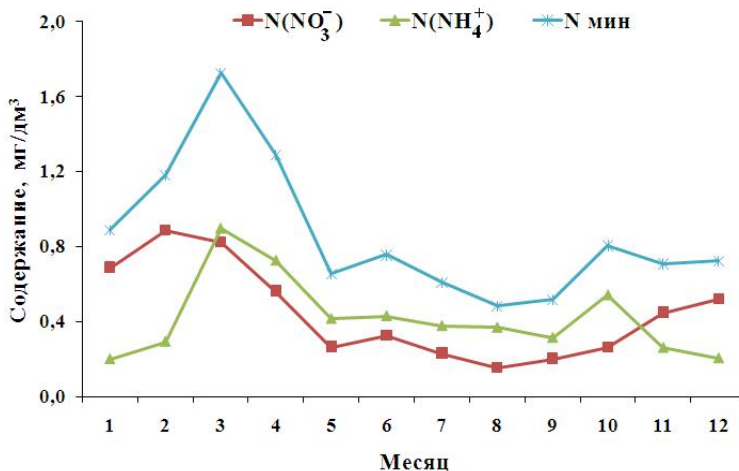


Рис. 3. Внутригодовая динамика содержания минеральных форм азота в атмосферных осадках в 2015–2017 гг.

Такие высокие значения нитратного азота в снеге обусловлены высоким уровнем загрязнения атмосферы поселка оксидами азота от локальных источников загрязнения в отопительный период, а также переносом от крупных ТЭЦ Иркутска и Ангарска при северо-западных ветрах. В зимний период это периодически фиксировалось на станции Листвянка при анализе

газовых примесей [Дальний перенос шлейфов ... , 2017]. Источниками оксидов азота являются и выхлопные газы автотранспорта, количество которого в поселке с каждым годом увеличивается [Вологжина, Новикова, Ясько, 2017]. Метеорологические условия в зимний период в Южном Прибайкалье также не способствуют рассеиванию примесей в атмосфере поселка. В теплый период содержание нитратов в атмосферных осадках снижалось и составило 0,69–1,44 мг/дм³ (0,16–0,33 мг/дм³ в пересчете на азот) с их минимальными значениями в августе.

Содержание нитритов в атмосферных осадках за весь период исследования оставалось низким (до 0,012 мг/дм³).

Содержание аммония изменялось от 0,26 до 1,16 мг/дм³ (0,20–0,90 мг/дм³ в пересчете на азот) при среднегодовой концентрации 0,54 мг/дм³ (0,42 мг/дм³ в пересчете на азот), что значительно превышает аналогичное значение в поверхностных водах (см. табл. 1). Максимум концентрации зафиксирован в марте-апреле – периоде интенсивного таяния снежного покрова и обогащения атмосферы аэрозольным веществом.

В атмосферных осадках содержание минерального азота изменялось от 0,49 до 1,72 мг/дм³ (при среднем значении 0,86 мг/дм³), что в 1,7–9,6 раза выше, чем среднегодовые его концентрации в речной воде, отобранной выше поселка.

Соотношение минеральных форм азота

Процентные соотношения минеральных форм азота в водотоках пос. Листвянка и в атмосферных осадках представлены на рис. 4 и 5. Нитратные ионы, являясь наиболее стабильной формой азота, преобладали во всех водотоках в течение периода исследования, при среднегодовом соотношении от 82 до 98 % (см. рис. 4). Исключение составили пробы воды, отобранные выше поселка в р. Крестовка в июле, а также руч. Малая Черемшанка в январе, где доля ионов аммония превысила процентное содержание нитратов и составила 75 и 57 % соответственно, что указывает на высокое содержание органических веществ в воде.

Среднегодовое относительное содержание аммония в водотоках изменялось от 2 до 18 %. Низкое относительное содержание нитритной формы азота в исследуемых водотоках (от 0 до 2 %) обусловлено ее неустойчивостью в водных экосистемах.

В атмосферных осадках из минеральных форм азота преобладали аммонийный и нитратный азот, относительное содержание которых в среднем за год было равным (50,3 и 50,7 % соответственно). Однако ярко выражены сезонные различия в уровне концентраций разных форм азота. Повышенный вклад нитратного азота отмечен в холодный период, с ноября по февраль (63–77 %) (рис. 5), что хорошо согласуется с нашими предыдущими исследованиями [Нецветаева, 2013]. С марта по октябрь в осадках преобладает аммонийный азот, и его доля возрастает до 52–76 %. Увеличение концентраций этого компонента в теплый период обусловлено жизнедеятельностью животных и растений (распад мочевины, реакции денитрификации), а

также лесными пожарами [Бримблкумб, 1988; An introduction ... , 2004]. Содержание нитритного азота в атмосферных осадках оставалось низким в течение всего периода исследования (менее 1 % от суммарного содержания азота в атмосферных осадках).

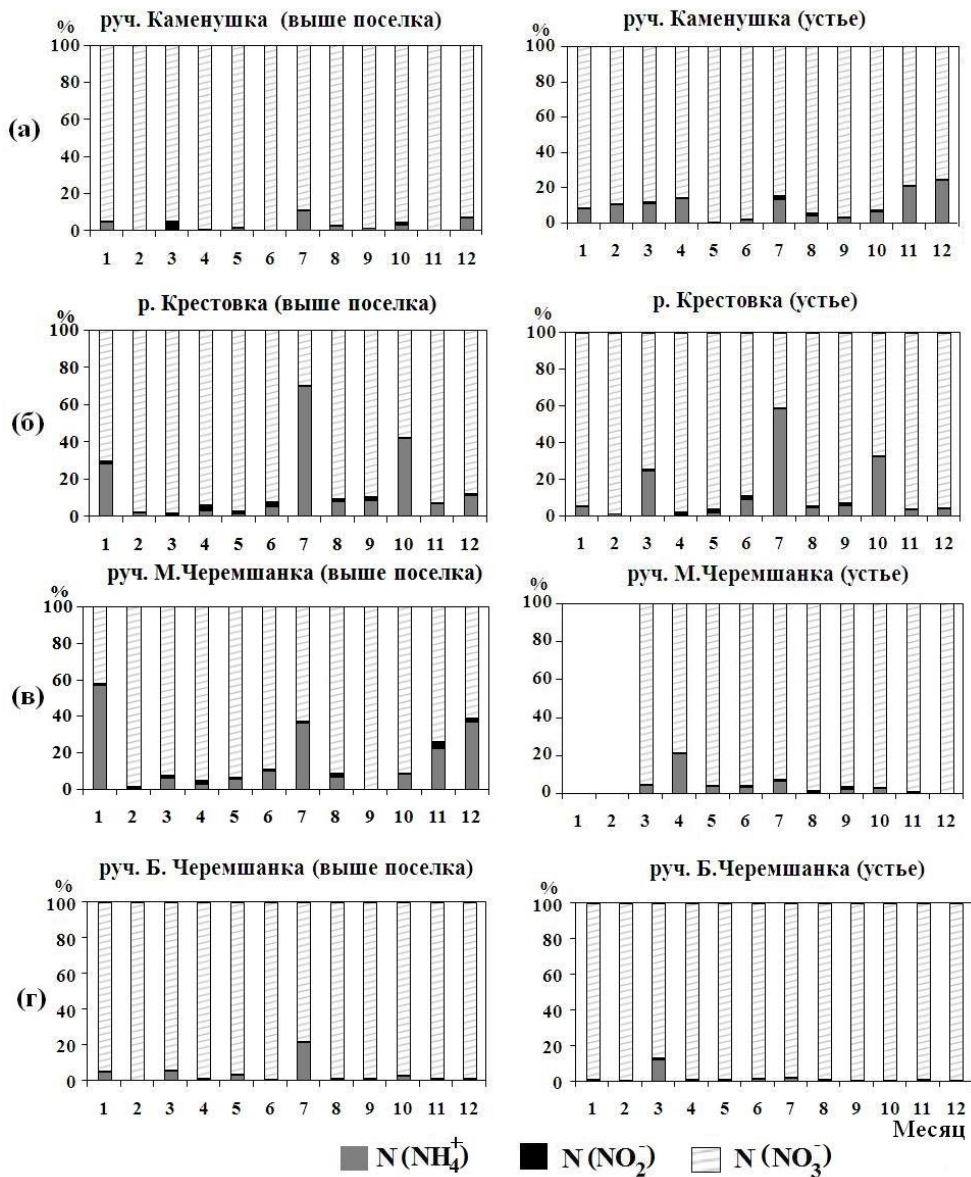


Рис. 4. Относительное содержание минеральных форм азота (%) в водотоках пос. Листвянка в 2015–2017 гг.

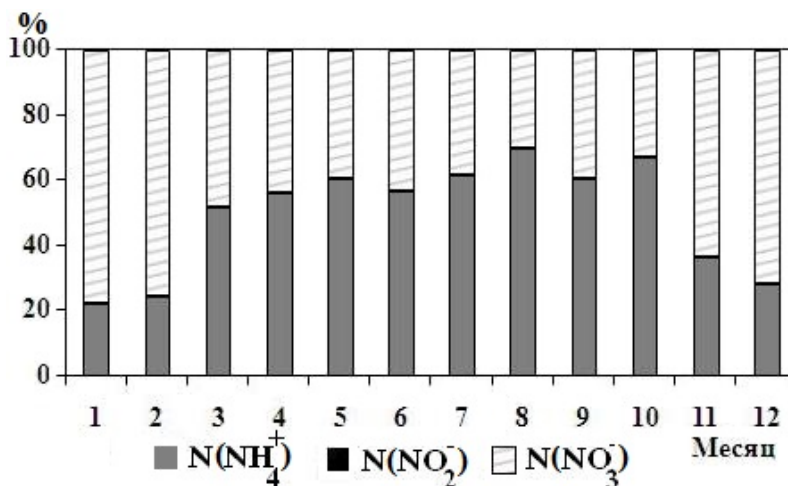


Рис. 5. Относительное содержание минеральных форм азота (%) в атмосферных осадках пос. Листвянка в 2015–2017 гг.

Заключение

В 2015–2017 гг. проведено исследование содержания минеральных форм азота в поверхностных водах и атмосферных осадках пос. Листвянка (Южный Байкал). Основными источниками поступления азотсодержащих соединений в водотоки поселка, вероятнее всего, стали коммунально-бытовые сточные воды, а также атмосферные выпадения. Соединения азота поступают в атмосферу с местными и региональными промышленными выбросами, выхлопными газами автотранспорта. Минеральный азот в поверхностных водах присутствует в основном в форме нитратного азота (среднегодовое процентное его содержание составило 82–98 %). Доля аммонийного азота в поверхностных водах намного меньше (от 2 до 18 %). В отличие от поверхностных вод, в атмосферных осадках в среднем за год соотношение аммонийного и нитратного азота сопоставимы, но вклад аммонийного азота выше в теплый период (64 %), нитратного – в холодный (74 %).

За рассматриваемый период случаев превышения предельно допустимых концентраций минеральных форм азота для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения в поверхностных водах, отобранных в районе пос. Листвянка, не выявлено. Тем не менее не исключено, что повышенные концентрации соединений азота в устьевых участках этих водотоков являются одной из главных причин инициирования процессов эвтрофирования, ведущих к изменению структуры фитоценоза прибрежной зоны Байкала в районе залива Лиственничный.

Работа выполнена в рамках проекта № 0345–2016–0008 «Оценка и прогноз экологического состояния озера Байкал и сопряженных территорий в условиях антропогенного воздействия и изменения климата».

Список литературы

- Бримблкомб П.* Состав и химия атмосферы / пер. с англ. А. Г. Рябошапка. М.: Мир, 1988. 351 с.
- Вологжина С. Ж., Новикова С. А., Ясько Ф. М.* Загрязнение атмосферного воздуха выбросами автомобильного транспорта на территории туристско-рекреационной зоны побережья озера Байкал // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. Науки о Земле. 2017. Т. 22. С. 15–29. DOI: http://izvestia_geo.isu.ru/ru/index.html.
- Вотинцев К. К., Глазунов И. В., Толмачева А. П.* Гидрохимия рек бассейна озера Байкал. М.: Наука, 1965. 494 с.
- Дальний перенос шлейфов атмосферных выбросов региональных угольных ТЭЦ на акваторию Южного Байкала / В. А. Оболкин, В. Л. Потемкин, В. Л. Макухин, Т. В. Ходжер, Е. В. Чипанина // Оптика атмосферы и океана. 2017. Т. 30, № 1. С. 60–65. DOI: 10.15372/AOO20170108.
- Загорулько Н. А., Гребенищикова В. И., Складорова О. А.* Многолетняя динамика химического состава вод реки Крестовки (приток озера Байкал) // География и природные ресурсы. 2014. № 3. С. 76–82.
- Качество подземных и поверхностных вод пади Крестовая (пос. Листвянка) / Л. П. Алексеева, С. В. Алексеев, П. А. Шолохов, А. И. Оргильянов, А. М. Кононов // География и природные ресурсы. 2016. № 6. С. 37–42.
- Нарушение вертикальной зональности зеленых водорослей в прибрежной части залива Лиственничного озера Байкал / Л. С. Кравцова, Л. А. Ижболдина, И. В. Ханаев, Г. В. Помазкина, В. М. Домышева, О. С. Кравченко, М. А. Грачев // Докл. Акад. наук. 2012. Т. 447, № 2. С. 227–229.
- Никаноров А. М., Иваник В. М.* Словарь-справочник по гидрохимии и качеству вод суши (понятия и определения). Ростов н/Д, 2014. 548 с.
- Особенности химии атмосферных осадков станций Листвянка (Иркутская область) и Приморская (Приморский край) в 2005–2011 гг. / О. Г. Нецветаева, Е. В. Чипанина, В. А. Оболкин, Е. А. Зимник, Н. П. Сезько, И. Н. Лопатина, Т. В. Ходжер // Оптика атмосферы и океана. 2013. Т. 26, № 6. С. 466–471.
- Результаты многолетних исследований кислотных выпадений в районе Южного Байкала / В. А. Оболкин, О. Г. Нецветаева, Л. П. Голобокова, В. Л. Потемкин, Е. А. Зимник, У. Г. Филлипова, Т. В. Ходжер // География и природ. ресурсы. 2013. № 2. С. 66–73.
- Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186–89 / Гос. комитет СССР по гидрометеорологии; М-во здравоохранения СССР. М., 1991. 615 с.
- Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / под ред. Л. В. Боевой. Ростов н/Д: Изд-во НОК, 2009. Ч. 1. 1032 с.
- An introduction to environmental chemistry / J. E. Andrews, P. Brimblecombe, T. D. Jickells, P. S. Liss, B. Reid. 2nd Edition. Blackwell Publishing. 2004. 296 p.
- Asman W. A. H., Sutton M. A., Schjorring J. K.* Ammonia: Emission, atmospheric transport and deposition // New Phytologist. 1998. Vol. 139. P. 27–48.
- Ammonia in the atmosphere: a review on emission sources, atmospheric chemistry and deposition on terrestrial bodies / S. N. Behera, M. Sharma, V. P. Aneja, R. Balasubramanian // Environmental Science and Pollution Research. 2013. Vol. 20. P. 8092–8131. DOI 10.1007/s11356-013-2051-9.
- Brimblecombe P., Dawson G. A.* Wet removal of highly soluble gases // Journal of Atmospheric Chemistry. 1984. Vol. 2. P. 95–107.
- Eutrophication: causes, consequences and control / A. A. Ansari, S. S. Gill, G. R. Lanza, W. Rast. Springer, Dordrecht. 2011. 402 p.
- Khan F. A., Ansari A. A.* Eutrophication: an ecological vision // The Botanical Review. 2005. Vol. 71(4). P. 449–482.
- Lake eutrophication and its ecosystem response / B. Q. Qin, G. Gao, G. W. Zhu, Y. L. Zhang, Y. Z. Song, X. M. Tang, H. Xu, J. M. Deng // Chinese Science Bulletin. 2013. Vol. 58, N 9. P. 961–970. DOI: 10.1007/s11434-012-5560-x.
- Nearshore benthic blooms of filamentous green algae in Lake Baikal / L. S. Kravtsova, L. A. Izhboldina, I. V. Khanaev, G. V. Pomazkina, E. V. Rodionova, V. M. Domysheva, M. V. Sakirko,

I. V. Tomberg, T. Ya. Kostornova, O. S. Kravchenko, A. B. Kupchinsky // Great Lakes Research. 2014. N 40. P. 441–448.

Nitrates, nitrites and N-nitroso compounds. World Health Organization (WHO). International programme on chemical safety, Environmental Health Criteria 5. Geneva, 1978 [Electronic resource]. URL: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc005.htm> (date of access: 16.03.2018).

Nitrogen Oxides (NOx), Why and How They Are Controlled. US EPA. November 1999 [Electronic resource]. URL: <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/fnoxdoc.pdf> (date of access: 17.04.2018).

Rapid ecological change in the coastal zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the site of the world's greatest fresh water biodiversity in danger? / O. A. Timoshkin, D. P. Samsonov, M. Yamamuro, M. V. Moore, O. I. Belykh, V. V. Malnik, M. V. Sakirko, A. A. Shirokaya, N. A. Bondarenko, V. M. Domyшева, G. A. Fedorova, A. I. Kochetkov, A. V. Kuzmin, A. G. Lukhnev, O. V. Medvezhonkova, A. V. Nepokrytkh, E. M. Pasyukova, A. E. Poberezhnaya, N. V. Potap-skaya, N. A. Rozhkova, N. G. Sheveleva, I. V. Tikhonova, E. M. Timoshkina, I. V. Tomberg, E. A. Volkova, E. P. Zaitseva, Yu. M. Zvereva, A. B. Kupchinsky, N. A. Bukshuk // Journal of Great Lakes Research. 2016. N 42. P. 487–497.

Smith V. H., Joye S. B., Howarth R. W. Eutrophication of freshwater and marine ecosystems // Limnology and Oceanography. 2006. Vol. 51 (1, part 2). P. 351–355.

Smith V. H., Schindler D. W. Eutrophication science: where do we go from here? // Trends in Ecology and Evolution. 2009. Vol. 24, N 4. P. 201–207.

Technical Document for Wet Deposition Monitoring in East Asia. March 2000 [Electronic resource]. URL: <http://www.eanet.asia/product/manual/prev/techwet.pdf> (date of access: 12.03.2018).

Toxicological profile for ammonia. U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Atlanta, GA, 2004 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp126.pdf> date of access (date of access: 15.03.2018).

Toxicological profile for nitrate and nitrite. U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service. Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR). Atlanta, GA, 2017 [Electronic resource]. URL: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp204.pdf> (date of access: 15.03.2018).

Dynamics of the Content of Mineral Forms of Nitrogen in Watercourses and Atmospheric Precipitation Listvyanka Settlement (South Baikal)

N. S. Chebunina, N. A. Onishchuk, O. G. Netsvetaeva, T. V. Khodzher

Limnology Institute SB RAS, Irkutsk

Abstract. In recent years, in the nearshore zone of Lake Baikal (Listvennichny Bay), the first signs of the local eutrophication process manifested in changes in the structure of phytocenosis were found. One of the possible reasons for the changes is the increased content of biogenic elements in water. In this article, is considered the annual change in the content and ratio of mineral nitrogen forms in surface waters, selected in the area of Listvyanka settlement, as well as in precipitation at Listvyanka monitoring station being a part of South-Eastern Asia atmospheric precipitations monitoring network (EANET) for the period 2015–2017. The analysis of selected samples was carried out in the accredited laboratory of hydrochemistry and atmospheric chemistry of Limnological Institute SB RAS using standard methods. It was found that the content of mineral nitrogen increases significantly in the mouths of the studied watercourses (up to 0,25–2,29 mg L⁻¹). Mineral nitrogen dissolved in the surface water was represented mainly by nitrate nitrogen (average annual percentage content is 82–98 %). It is established that during the warm season, the average content of ammonium nitrogen in precipitation is 64 %. Nitrate nitrogen dominated in the cold season, the average content of which is 74 %.

The main sources of mineral nitrogen in the studied watercourses are likely to be untreated wastewater of the settlement and the numerous tourist infrastructure facilities, as well as atmospheric precipitation containing significant amounts of contaminants.

Keywords: Listvennichnyi Bay, mineral nitrogen forms, atmospheric precipitation.

For citation: Chebunina N. S., Onishchuk N. A., Netsvetaeva, O. G., Khodzher T. V. Dynamics of the Content of Mineral Forms of Nitrogen in Watercourses and Atmospheric Precipitation Listvyanka Settlement (South Baikal). *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2018, vol. 24, pp. 124-139. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.124>. (in Russian)

References

- Brimblkumb P. *Sostav i khimiya atmosfery* [Composition and chemistry of the atmosphere]. Moscow, Mir Publ., 1988, 351 p. (in Russian)
- Vologzhina S.Zh., Novikova S.A., Yas'ko F.M. Zagryaznenie atmosfernogo vozdukhа vybrosami avtomobil'nogo transporta na territorii turistsko-rekreatsionnoi zony poberezh'ya ozera Baikal [Air Pollution by Auto Transport Emissions on the Territory of Tourism-Recreation Coastal Zone of Lake Baikal]. *Izvestiya Irkutskogo Gosudarstvennogo Universiteta. Seriya Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2017, vol. 22, pp. 15-29. DOI: http://izvestia_geo.isu.ru/ru/index.html. (in Russian)
- Votintsev K.K., Glazunov I.V., Tolmacheva A.P. *Gidrokimiya rek basseina ozera Baikal* [Hydrochemistry of the river of the Lake Baikal basin]. Moscow, Nauka Publ., 1965. 494 p. (in Russian)
- Obolkin V.A., Potemkin V.L., Makukhin V.L., Khodzher T.V., Chipanina E. V. Dalnii perenos shleifov atmosferykh vybrosov regionalnykh ugolnykh TETs na akvatoriyu Yuzhnogo Baikala [Far transfer of trails, ejected by regional electric power stations to the South Baikal water area]. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics], 2017, vol. 30, no. 1, pp. 60-65. DOI: 10.15372/AOO20170108. (in Russian)
- Zagorull'ko N.A., Grebenshchikova V.I., Sklyarova O.A. Mnogoletnyaya dinamika khimicheskogo sostava vod reki Krestovki (pritok ozera Baikal) [The long-term dynamics of the chemical composition of the water of the Krestovka River (the tributary of Lake Baikal)]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 2014, no. 3, pp. 76-82. (in Russian)
- Alekseeva L.P., Alekseev S.V., Sholokhov P.A., Orgil'yanov A.I., Kononov A.M. Kachestvo podzemnykh i poverkhnostnykh vod padi Krestovaya (pos. Listvyanka) [Ground and surface waters quality in the Krestovaya Valley (Listvyanka settlement)]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 2016, no. 6, pp. 37-42. (in Russian)
- Kravtsova L.S., Izhboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G.V., Domysheva V.M., Kravchenko O.S., Grachev M.A. Narushenie vertikalnoi zonalnosti zelenykh vodoroslei v pribrezhnoi chasti zaliva Listvennichnyi ozera Baikal [Disturbance of green algae vertical zonation in coastal water zone of Listvennichnyi bay of Baikal lake]. *Doklady Akademii Nauk* [Dokl. Biol. Sci.], 2012, vol. 447, no. 2, pp. 227-229. (in Russian)
- Nikanorov A.M., Ivanik V.M. Slovar-spravochnik po gidrokhimii i kachestvu vod sushi (ponyatiya i opredeleniya) [Dictionary-reference to the pernicious chemistry and quality of land water (concept and definitions)]. Rostov-na-Donu, 2014. 548 p. (in Russian)
- Netsvetaeva O.G., Chipanina E.V., Obolkin V.A., Zimnik E.A., Sez'ko N.P., Lopatina I.N., Khodzher T.V. Osobennosti khimii atmosferykh osadkov stantsii Listvyanka (Irkutskaya oblast') i Primorskaya (Primorskii krai) v 2005–2011 gg. [Peculiarities of chemistry of atmospheric precipitations at stations Listvyanka (Irkutsk region) and Primorskaya (Primoryeterritory)]. *Optika atmosfery i okeana* [Atmospheric and Oceanic Optics], 2013, vol. 26, no. 6, pp. 466-471. (in Russian)
- Obolkin V.A., Netsvetaeva O.G., Golobokova L.P., Potemkin V.L., Zimnik E.A., Filippova U.G., Khodzher T.V. Rezultaty mnogoletnikh issledovaniy kislotnykh vypadeniy v raione Yuzhnogo Baikala [Results of long-term studies of acid deposition in the area of South Baikal]. *Geografiya i prirodnye resursy* [Geography and Natural Resources], 2013, no. 2, pp. 66-73. (in Russian)
- Rukovodstvo po kontrolyu zagryazneniya atmosfery*. RD 52.04.186-89 [Manual on the control of atmospheric pollution. RD 52.04.186-89]. Moscow, 1991, 615 p. (in Russian)
- Boevaya L.V. (ed.) *Rukovodstvo po khimicheskoy analizu poverkhnostnykh vod sushi* [Manual for surface water chemical analysis]. Rostov-na-Donu, NOK Publ., 2009, vol. 1, 1032 p. (in Russian)

- Andrews J.E., Brimblecombe P., Jickells T.D., Liss P.S., Reid B. *An Introduction to Environmental Chemistry*. Blackwell Publishing, 2004, 296 p.
- Ansari A.A., Gill S.S., Lanza G.R., Rast W. *Eutrophication: Causes, Consequences and Control*. Springer, Dordrecht, 2011, 402 p.
- Asman W.A. H., Sutton M.A., Schjorring J.K. Ammonia: Emission, Atmospheric Transport and Deposition. *New Phytologist*, 1998, vol. 139, pp. 27-48.
- Behera S.N., Sharma M., Aneja V.P., Balasubramanian R. Ammonia in the Atmosphere: a Review on Emission Sources, Atmospheric Chemistry and Deposition on Terrestrial Bodies. *Environmental Science and Pollution Research*, 2013, vol. 20, pp. 8092-8131. DOI: 10.1007/s11356-013-2051-9.
- Brimblecombe P., Dawson G.A. Wet Removal of Highly Soluble Gases. *Journal of Atmospheric Chemistry*, 1984, vol. 2, pp. 95-107.
- Khan F.A., Ansari A.A. Eutrophication: an ecological vision. *The Botanical Review*, 2005, vol. 71(4), pp. 449-482.
- Kravtsova L.S., Izhboldina L.A., Khanaev I.V., Pomazkina G.V., Rodionova E.V., Domysheva V.M., Sakirko M.V., Tomberg I.V., Kostornova T.Ya., Kravchenko O.S., Kupchinsky A.B. Nearshore Benthic Blooms of Filamentous Green Algae in Lake Baikal. *Great Lakes Research*, 2014, no. 40, pp. 441-448.
- Nitrates, Nitrites and N-nitroso Compounds. *World Health Organization (WHO). International programme on chemical safety, Environmental Health Criteria 5*. Geneva, 1978. Available at: <http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc005.htm>. (date of access: 16.03.2018).
- Nitrogen Oxides (NOx), Why and How they are Controlled. US EPA. November 1999. Available at: <https://www3.epa.gov/ttn/catc/dir1/fnoxdoc.pdf>. (date of access: 15.04.2018).
- Qin B.Q., Gao G., Zhu G.W., Zhang Y.L., Song Y.Z., Tang X.M., Xu H., Deng J.M. Lake Eutrophication and its Ecosystem Response. *Chinese Science Bulletin*, 2013, vol. 58, no. 9, pp. 961-970. DOI: 10.1007/s11434-012-5560-x.
- Smith V.H., Joye S.B., Howarth R.W. Eutrophication of Freshwater and Marine Ecosystems. *Limnology and Oceanography*, 2006, vol. 51 (1, part 2), pp. 351-355.
- Smith V.H., Schindler D.W. Eutrophication Science: Where do We go From Here? *Trends in Ecology and Evolution*, 2009, vol. 24, no. 4, pp. 201-207.
- Technical Document for Wet Deposition Monitoring in East Asia. March 2000. Available at: <http://www.eanet.asia/product/manual/prev/techwet.pdf>. (date of access: 12.03.2018).
- Timoshkin O.A., Samsonov D.P., Yamamuro M., Moore M.V., Belykh O.I., Malnik V.V., Sakirko M.V., Shirokaya A.A., Bondarenko N.A., Domysheva V.M., Fedorova G.A., Kochetkov A.I., Kuzmin A.V., Lukhnev A.G., Medvezhonkova O.V., Nepokrytykh A.V., Pasyukova E.M., Poberezhnaya A.E., Potapskaya N.V., Rozhkova N.A., Sheveleva N.G., Tikhonova I.V., Timoshkina E.M., Tomberg I.V., Volkova E.A., Zaitseva E.P., Zvereva Yu.M., Kupchinsky A.B., Bukshuk N.A. Rapid Ecological Change in the Coastal Zone of Lake Baikal (East Siberia): Is the Site of the World's Greatest Freshwater Biodiversity in Danger? *Journal of Great Lakes Research*, 2016, no. 42, pp. 487-497.
- Toxicological Profile for Ammonia. *U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)*. Atlanta, GA, 2004. [Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp126.pdf>. (date of access: 15.03.2018).
- Toxicological Profile for Nitrate and Nitrite. *U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR)*. Atlanta, GA, 2017. Available at: <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp204.pdf>. (date of access: 15.03.2018).

Чебунина Надежда Сергеевна
кандидат географических наук,
научный сотрудник
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952)42-65-02
e-mail: nchebun@lin.irk.ru

Chebunina Nadezhda Sergeevna
Candidate of Sciences (Geography)
Researcher
Limnology Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952)42-65-02
e-mail: nchebun@lin.irk.ru

Онищук Наталья Анатольевна
кандидат географических наук,
научный сотрудник
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952)42-65-02
e-mail: onischuk@lin.irk.ru

Нецветаева Ольга Григорьевна
кандидат географических наук,
научный сотрудник
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952)42-65-02
e-mail: r431@lin.irk.ru

Ходжер Тамара Викторовна
доктор географических наук, профессор
заведующий лаборатории гидрохимии и хи-
мии атмосферы
Лимнологический институт СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 3
тел.: (3952)42-65-02
e-mail: khodzher@lin.irk.ru

Onishchuk Natalia Anatolievna
Candidate of Sciences (Geography)
Researcher
Limnology Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952)42-65-02
e-mail: onischuk@lin.irk.ru

Netsvetaeva Olga Grigorievna
Candidate of Sciences (Geography)
Researcher
Limnology Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952)42-65-02
e-mail: r431@lin.irk.ru

Khodzher Tamara Victorovna
Doctor of Sciences (Geography), Professor,
Head of Laboratory of Hydrochemistry and
Atmospheric Chemistry
Limnology Institute SB RAS
3, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
tel.: (3952)42-65-02
e-mail: khodzher@lin.irk.ru