

ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА КАЧЕСТВО ВОДЫ В ВОДОЕМАХ-ОХЛАДИТЕЛЯХ (НА ПРИМЕРЕ ОЗ. ГУСИНОЕ)

А.Н. Лукьянова¹, О.Н. Лукьянова², Л.Е. Ефимова¹, В.А. Ефимов¹

E-mail: lvs-lan@mail.ru

¹ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии», Москва, Россия

АННОТАЦИЯ: Материалы экспедиции географического факультета МГУ на оз. Гусиное в августе 2019 г. позволили оценить гидрологическую структуру водоема, проследить стонно-нагонные явления и апвеллинг, возникающие вследствие воздействия северо-восточного ветра, распространение стока основных притоков и сбросных вод Гусиноозерской ГРЭС.

Анализ распределения компонентов солевого состава и биогенных элементов показал, что динамическое перемешивание играет значительную роль в режиме озера. Увеличение содержания биогенных и солевых компонентов незначительно и определяется поступлением коммунальных стоков населенных пунктов, стоков с карьеров и шахт, минерализованных грунтовых вод.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водоем-охладитель, тепловой сток, гидрологическая структура, апвеллинг, минерализация, биогенные элементы, оз. Гусиное.

Для работы электростанций на ископаемом топливе требуется довольно много водных ресурсов [1]. В России станций, использующих озера в качестве водоемов-охладителей, не так много: Кольская и Калининская АЭС и некоторые ГРЭС, в т. ч. и Гусиноозерская. Водоемы-охладители являются природно-техногенными водоемами [2, 3], поскольку на их гидрологический, гидрохимический и гидробиологический режим оказывают влияние режим работы электростанции, ее мощность, системы охлаждения, коммунальное хозяйство станции, поселков и городов, для которых она зачастую является градообразующим предприятием.

При финансовой поддержке проекта РФФИ №17-29-05055\17 офи_м «Эколого-геохимическое состояние ландшафтов Байкальского региона в сфере воздействия городов и горнопромышленных центров»

© Лукьянова А.Н., Лукьянова О.Н., Ефимова Л.Е., Ефимов В.А., 2020

Озеро Гусиное – второе по величине озеро в Бурятии – расположено в бассейне р. Селенги. С 1976 г. оно используется как водоем-охладитель для Гусиноозерской ГРЭС – крупнейшей электростанции Бурятии. Система охлаждения станции – оборотная, т. е. отобранная для охлаждения вода возвращается в водоем и снова используется в производственном цикле. Озеро также является источником питьевого водоснабжения для г. Гусиноозерска и прибрежных поселков, поэтому вопросы качества воды оз. Гусиное являются жизненно важными для населения и обеспечения работы ГРЭС.

Морфометрия и биология оз. Гусиное впервые описаны Н.А. Бестужевым в 1852 г. В 1916 г. В.Б. Шостакович представил результаты промеров глубин и температуры озера по профилям, которые послужили основой для выполнения последующих съемок водоема. В 1930 г. А.А. Захваткиным опубликована статья с результатами первого химического анализа вод озера. Наиболее полное гидрохимическое исследование выполнено летом 1965–1967 гг. коллективом Иркутского университета. Эти данные могут считаться фоновыми при оценке последующего загрязнения водоема.

Специалистами Бурятского геологического института СО РАН в разные сезоны 1991–1992 гг. проведено комплексное исследование озера, в результате которого сделан вывод о трансформации химического состава его вод под воздействием загрязнения стоками с угольных шахт и ГРЭС. В те же годы экспедицией Иркутского лимнологического института определен химический состав воды притоков, отмечено повышение концентраций сульфатов и щелочных металлов, а также изменение температурного режима северо-восточной части озера в результате сброса теплых вод ГРЭС. В 2016–2017 гг. Байкальским институтом природопользования выполнена подробная зимняя съемка, включавшая определение большого количества химических компонентов. Регулярные наблюдения ЦГМС Бурятии ведутся с 1951 г. на водомерном посту в месте впадения основного притока р. Цаган-Гол и характеризуют химический состав зоны смешения озера и реки, не отражая процессов в озере.

Несмотря на охват всей акватории оз. Гусиное гидролого-гидрохимическими исследованиями, о распределении компонентов по глубине и площади водоема ни в одной из публикаций не сообщалось. При оценке загрязнения не учитывалось их возможное распространение под воздействием ветровых и плотностных течений, давались противоречивые оценки загрязненности вод. Цель данного исследования – выявление роли антропогенных и природных факторов в формировании современного качества вод оз. Гусиное. Антропогенные факторы определяют трансформацию гидрологических и гидрохимических характеристик, природные могут либо усугублять последствия загрязнения вод, либо улучшать экологическую ситуацию в водоеме, способствуя разбавлению загрязнений и самоочищению.

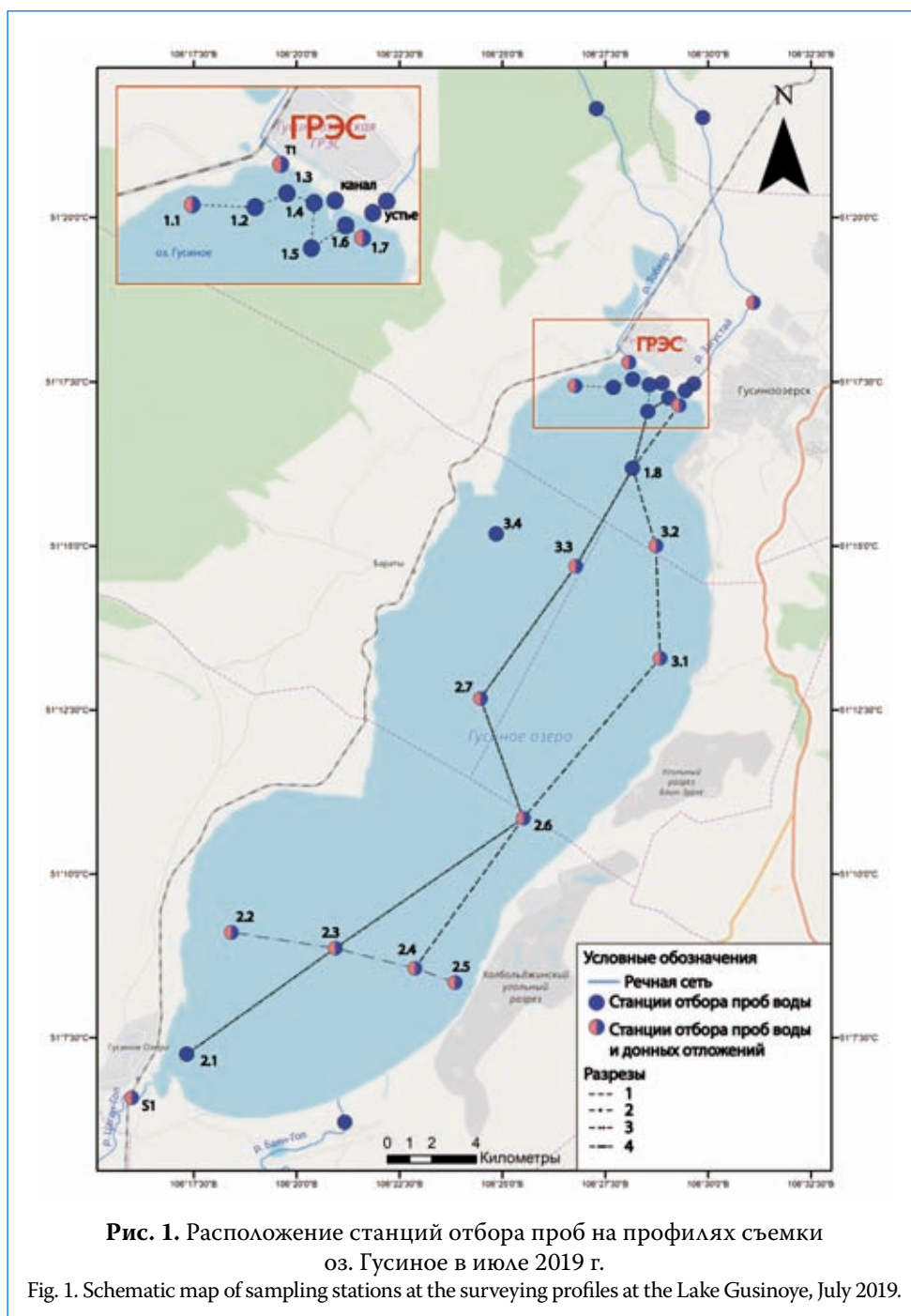
ОБЪЕКТ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Озеро Гусиное расположено в Бурятии, в тектонической впадине в центре Гусиноозерской котловины на высоте 550 м над уровнем моря. Центральная котловина водоема с глубинами до 22–24 м имеет округлую форму с резким свалом глубин. В 100 м от берега глубина составляет 15–19 м. Максимальные глубины южной котловины достигают 21 м, но южный берег более пологий, имеет пляж. С южной стороны в озеро впадает самый крупный по водности приток – р. Цаган-Гол, который отделяется от р. Темник в 46 км от его устья, а в 5 км восточнее находится исток р. Баян-гол, которая вытекает из озера и впадает снова в р. Темник. Вдоль юго-западного берега расположен пос. Гусиное Озеро с населением около 2,5 тыс. чел., коммунальные стоки которого сбрасываются в р. Цаган-Гол.

Северный плес меньше по площади и максимальные глубины в нем не превышают 10 м. На северо-восточном берегу находится г. Гусиноозерск с 25 тыс. жителей и Гусиноозерская ГРЭС мощностью 1190 Мвт. Оз. Гусиное является естественным водоемом-охладителем с проточной системой водообмена и рядом гидротехнических сооружений. Рядом с ГРЭС в озеро впадает р. Загустай – самый длинный приток (44 км), в которую сбрасываются очищенные хозяйственно-бытовые сточные воды со станции биологической очистки г. Гусиноозерска (рис. 1). Западнее ГРЭС в озеро впадает р. Тобхор, протекающая в непосредственной близости от карт золоотвалов станции [4].

Гидрологическая и гидрохимическая структура озера изучалась на основе съемки, проведенной экспедицией географического факультета МГУ в июле 2019 г. Определялись основные источники загрязнения вод и их распространение по объему озера. С этой целью проведено зондирование температуры, электропроводности и содержания кислорода оксиметром YSI Pro DO на 25 станциях, расположенных на двух поперечных и двух продольных профилях (рис. 1). Отбор проб воды на химический анализ растворенных и взвешенных форм макро- и микроэлементов осуществляли на трех глубинах – поверхность, под слоем скачка, дно, также отбирались донные отложения.

В день отбора проб в полевой лаборатории определяли: мутность и pH воды; спектрофотометрическим методом по стандартным методикам анализировали содержание биогенных элементов (растворенных и взвешенных фосфатов, азота аммонийного, азота нитритов и кремния). Пробы фильтровали через мембранные фильтры (0,45 мкм) и частично консервировали для последующего анализа в аналитической лаборатории МГУ. Главные ионы определяли в системе капиллярного электрофореза «Капель»; азот нитратов, валовый фосфор и валовый азот – спектрофотометрическими методами [5].



В июле 2019 г. в Бурятии стояла жаркая погода со среднесуточными температурами воздуха 25–34 °С, без осадков. При проведении исследований в третьей декаде июля пошли дожди, температура воздуха понизилась до 17–20 °С. Результаты съемки озера отражают сложившуюся синоптическую ситуацию.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Температура воды

Наиболее очевидным воздействием тепловых электростанций на водоем-охладитель является сброс нагретых вод. Поступающая из глубинного водозабора вода охлаждает турбогенераторы станции, конденсируя отработанный водяной пар, после чего нагретая примерно на 10 °С возвращается по открытому каналу в северо-восточную часть озера [6]. Анализ распределения температуры воды на вертикалях показал, что у выхода из сбросного канала она достигала 22,9 °С, в 300 м от выхода (ст. 1.7) понижалась до 20 °С, а в поверхностном горизонте северного плеса (ст. 1.1–1.5) до 18–19 °С. При этом в центральном (ст. 2.5, 2.6, 3.1–3.3) и южном плесах (ст. 2.1–2.4) температура воды на поверхности составляла 21–22 °С. Таким образом, отепляющее воздействие стоков с ГРЭС летом прослеживалось на расстоянии 300–500 м от сбросного канала в поверхностном слое воды.

На станциях 1.2–1.5 северного плеса слой скачка температур наблюдался на глубине 1–3 м, в центральном плесе (ст. 2.6–3.4) он располагался на 11–12 м, в южном плесе (ст. 2.2–2.5) на 13–14 м (рис. 2), т. е. происходило значительное уменьшение глубины термоклина в северном плесе и заглубление его в южном. Причиной такого распределения стал северо-восточный ветер, который совпал по направлению с длинной продольной осью озера и вызвал сгон теплых водных масс к южному плесу и апвеллинг более холодных масс гипolimниона в эпилимнион. Подобное явление наблюдается на больших озерах, вытянутых в направлении преобладающих ветров [7].

Температура эпилимниона оз. Гусиное составляла 20–23 °С. Таким образом, большую часть объема водоема занимала масса воды одной температуры. Стабильная температура вод до довольно глубоких горизонтов и отсутствие градиента плотности в этом объеме способствуют перемешиванию всего эпилимниона при устойчивом ветре.

Заглубление слоя скачка до 20 м в водоемах-охладителях отмечалось в отдельных случаях летом [1], поскольку поступающие теплые воды имеют меньшую плотность и растекаются в поверхностном слое, увеличивая объем эпилимниона. Уменьшению объема гипolimниона может способствовать глубинный водозабор мощностью 15 м³/с для нужд электростанции. При

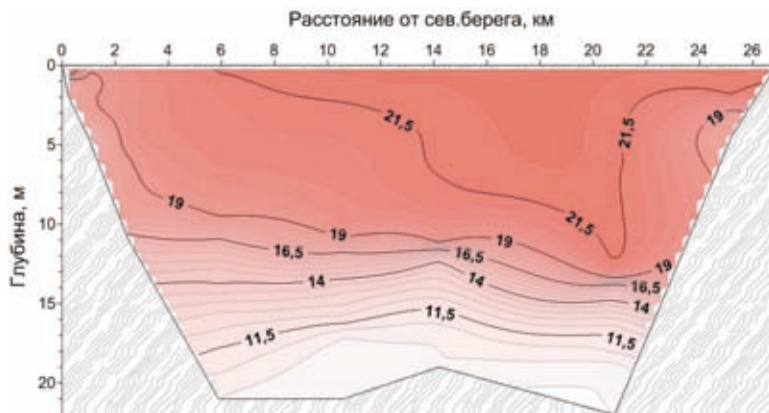


Рис. 2. Распределение температуры воды в оз. Гусиное по профилю 3
(ст. 1.6, 1.5, 1.8, 3.3, 2.7, 2.6, 2.3, 2.1), 25 июля 2019 г.

Fig. 2. The temperature distribution in the Lake Gusinoye water as in Section 3
(st. 1.6, 1.5, 1.8, 3.3, 2.7, 2.6, 2.3, 2.1), 25.07.2019.

этом большая глубина расположения слоя скачка может быть обусловлена несколькими причинами: длительным прогревом вод в июле, прозрачностью вод, поступлением теплых вод с электростанции и глубинным водозабором, а также преобладающими ветрами. Кроме северо-восточного ветра для Загустайской долины характерны ветры южного и юго-западного направлений, длительное воздействие которых проявляется в нагоне вод в северные части озера. Возникает эффект «запирания» теплых сбросных вод в северном плесе и перегревание толщи вод выше нормативов, т. е. выше 28 °С [8].

В зимний период в районе сброса теплых вод остается незамерзающая к февралю полынья от 0,04 до 0,9 км² с температурой вод 14 °С, к краям полыньи она постепенно понижается, но остается положительной [9]. Обратная стратификация в ней не образуется, температура в течение дня колеблется около 4 °С, в результате конвективная циркуляция охватывает весь объем вод в полынье до дна. Подобное распределение можно назвать зимней гомотермией. Для остальной части оз. Гусиное характерны все свойственные естественным водоемам периоды водного режима: зимой устанавливается обратная стратификация, летом – прямая, весной (в мае) и осенью (в октябре) наблюдается гомотермия, когда перемешивание водоема происходит до дна [10].

Распределение кислорода

Известно, что некоторым водоемам-охладителям свойственно так называемое термическое эвтрофирование [11], характеризующееся увеличе-

нием периода вегетации, продуктивности водоема и скорости деструкции органических веществ. Повышенная скорость круговорота биогенных элементов может негативно сказаться на содержании кислорода, особенно в придонных слоях.

Несмотря на длительный период высоких температур, предшествовавший наблюдениям, в оз. Гусиное содержание растворенного кислорода благоприятное. В верхнем, перемешанном до глубины 10–12 м слое, оно колебалось в пределах 89–93 % насыщения. Под слоем скачка, в гипolimнионе, количество кислорода уменьшалось до 60 % в придонных горизонтах. Лишь на трех станциях в южном плесе концентрация кислорода у дна опускалась ниже ПДК_{рх}: на ст. 2.1 вблизи устья р. Цаган-Гол уже на глубине 4 м содержание кислорода падало ниже 6 мг/л (62 % насыщения). В реку поступают воды очистных сооружений пос. Гусиное Озеро. Недостаточная очистка вызывает значительное уменьшение количества растворенного кислорода в водах реки и приустьевой области. Еще более низкое содержание кислорода (5,6 мг/дм³) зафиксировано на ст. 2.4 и 2.5 в придонном горизонте на глубинах 15 м и 12 м. Концентрации растворенного кислорода, наблюдаемые в зоне теплового влияния Гусиноозерской ГРЭС, во все гидрологические сезоны были выше по сравнению с фоновыми, что наиболее вероятно связано с увеличенной скоростью фотосинтеза [4, 9, 10].

Минерализация и солевой состав вод оз. Гусиное

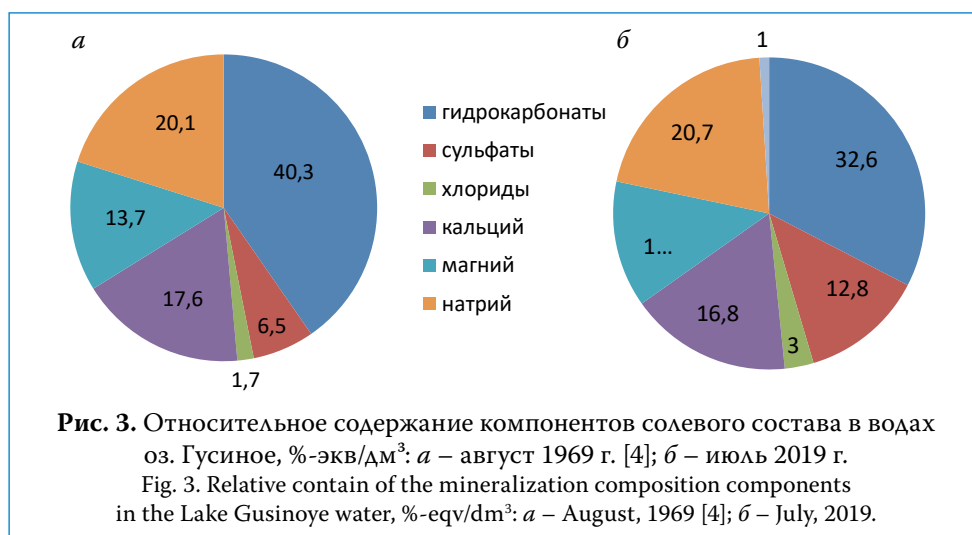
Для некоторых водоемов-охладителей характерно повышение минерализации в результате возросшего испарения и изменение солевого состава, в частности, увеличение содержания сульфатов [1, 12–14]. В оз. Гусиное также наблюдалось возрастание минерализации и сульфатов. В таблице представлены данные с 1967 г., когда еще не началось активное промышленное использование вод озера, до периода 1990-х годов, когда наблюдалось наибольшее загрязнение озера под влиянием неочищенных сбросов шахтных, промышленных и коммунальных вод, и данные до 2019 г. В настоящее время шахты и угольный разрез закрыты, на ГРЭС и в г. Гусиноозерске модифицированы станции водоочистки.

Ежегодно в зимний и летний меженные периоды наблюдаются максимальные концентрации солевых компонентов и минерализации воды. Весной и осенью, когда в озеро поступают талые, дождевые воды и воды притоков, абсолютные концентрации всех солевых компонентов понижаются. Преобладающим среди анионов является гидрокарбонат-ион, в катионном составе доминируют натрий и кальций. Это соотношение сохраняется и в настоящее время, но относительное содержание сульфатов увеличилось с 6,5 до почти 13 %-экв/дм³, хлоридов с 1,7 до 3 %-экв/дм³ (рис. 3).

Таблица. Изменение компонентов солевого состава вод оз. Гусиное в период с 1967 по 2019 гг.

Table. The Lake Gusinoye water mineralization composition components changes from 1967 to 2019

Компоненты солевого состава, мг/дм ³	Июль-август 1965–1967 гг. [4]	Усредненные данные за 1974 г. [4]	Усредненные данные 1990– 1992 гг. [4]	Март 2016 г. [9]	Июль 2019 г.
HCO ³⁻	155–167	114–183	158–213	198–214	179–190
Cl ⁻	3,6–4,1	1,6–8,1	8–12	–	7,3–9,4
SO ₄ ²⁻	15–21	8–22	18–53	66–73	50–55
NO ₃ ⁻	0,009–0,035	–	0,1–0,9	–	0,003–0,061
PO ₄ ³⁻	0,003–0,015	–	0,02–0,08	–	0,012–0,022
F ⁻	–	–	–	–	0,8–0,95
Ca ²⁺	20–24	21–35	24–32	30–33	29–31
Mg ²⁺	7,8–11,3	2,9–11,7	4–14	–	14–15
Na ⁺	25–37	до 30,4	36–43	49–54	43–46
K ⁺	–	–	–	–	3,6–4,0
Сумма ионов	232–256	175–280	232–338	380–400	335–346



За 25 лет наблюдений (1965–1990 гг.) минерализация воды озера увеличилась в основном за счет роста абсолютного содержания сульфатов, натрия и хлоридов. Значительный период водообмена озера (в среднем около 12 лет [10]) и уменьшение его проточности после частичного перекрытия в 1982 г. стока в р. Баян-Гол привели к увеличению концентрации солей. В период максимальной техногенной нагрузки (1970–1990 гг.) в воде озера произошел рост относительного содержания сульфатов и хлоридов. С 1990-х годов по настоящее время увеличение минерализации и концентрации сульфатов не наблюдается.

В водах озера зафиксировано повышенное содержание ионов фтора. Юго-Восточное Забайкалье и прилегающие районы образуют крупную фтороносную биогеохимическую провинцию. Фтор содержится во флюоритах и фторапатитах, в слюдах и амфиболах. Эти минералы неустойчивы и служат источником фтора в поверхностных и подземных водах [15]. Возникновение территорий с избытком химических элементов, как правило, связано с разработкой месторождений полезных ископаемых [16]. В водах притоков, имеющих дождевое и снеговое питание, концентрации фторидов не превышают 0,2–0,4 мг/дм³. В водах озера содержание фторидов составляет 0,8–0,95 мг/дм³, что, вероятно, связано с поступлением стоков с бывших карьеров и шахт, а также фильтрационных утечек с золоотвалов и их накоплением в связи с малой проточностью озера.

В общем антропогенном воздействии на химический состав вод озера не представляется возможным выделить собственно влияние стоков с ГРЭС, т. к. одновременно с ГРЭС начал работать угольный разрез Хольбоджинский. Подземная добыча угля в Гусиноозерском бассейне начата еще в 1940 г. Средний многолетний объем сброса шахтных вод в озеро составлял по разным оценкам 1–3 млн м³ в год. По химическому составу это были гидрокарбонатно-сульфатно-натриевые воды с минерализацией 1,3–1,6 г/дм³. Очистка шахтных вод не предполагала уменьшения содержания сульфатов, хлоридов и натрия, концентрация которых была в 10 раз выше по сравнению с озерными водами [4]. С 1984 г. воды из угольных карьеров закачиваются в выработанный пласт [10]. В редких случаях может происходить подпитка грунтовых вод минерализованными артезианскими водами, повышающими их минерализацию до 1–3 мг/л и меняющими состав на сульфатно-натриевый [4].

Аналогичная ситуация наблюдается в оз. Кенон, куда одновременно со стоком теплых вод с ТЭЦ поступают стоки из гидрозолоотвалов ТЭЦ [17]. Увеличение содержания сульфатов в оз. Имандра также вызвано добычей апатитов и в значительно меньшей степени стоками с Кольской АЭС [7]. В водоеме-охладителе Ростовской АЭС причиной увеличения сульфатов

является разгрузка через дно минерализированных сульфатных водоносных горизонтов [14]. В то же время накопления сульфатов в водоемах-охладителях Калининской АЭС не происходило [12], т. к. рядом нет добывающих предприятий, золоотвалов и крупных производств.

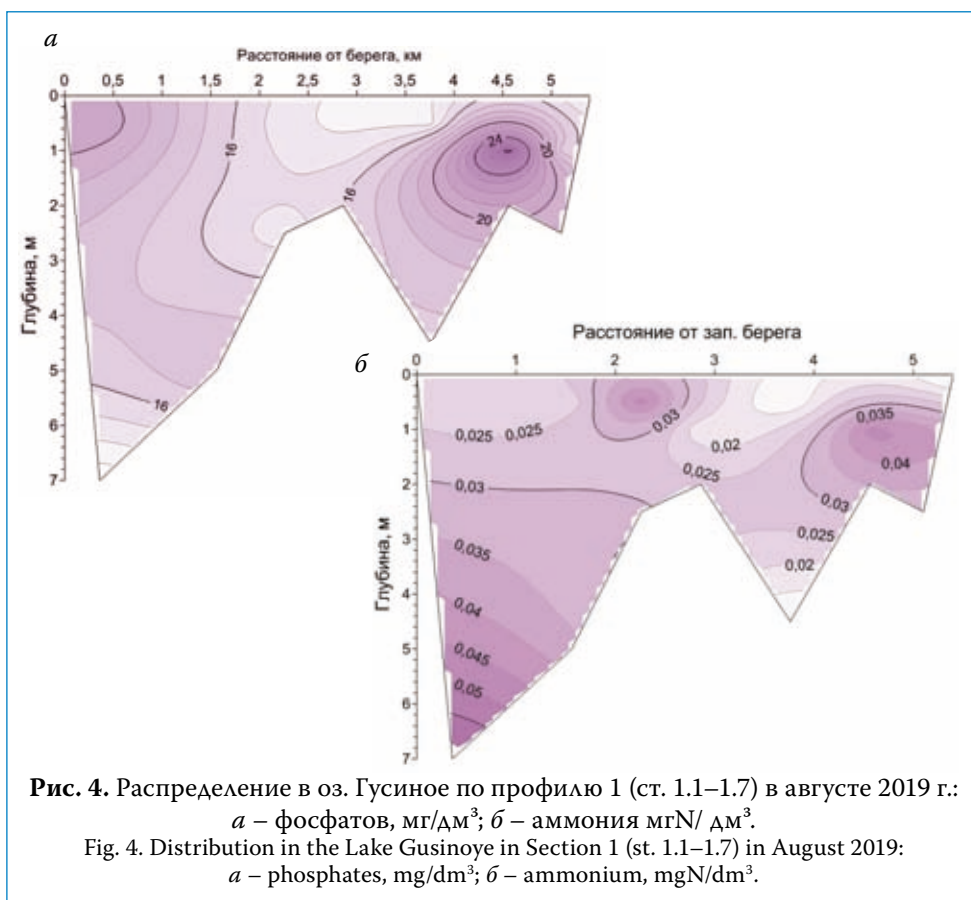
Содержание солевых компонентов практически одинаковое во всех плесах озера. Самые низкие значения компонентов солевого состава отмечены в оз. Гусиное в районе впадения р. Цаган-Гол. Причем на озерной вертикали в 300 м от устья р. Цаган-Гол минимальные концентрации ионов наблюдались в придонных горизонтах (4,5 м). Ионный состав соответствовал речным водам. На этих же глубинах отмечена наибольшая мутность и минимальное содержание кислорода. Поскольку температура речных вод ниже, то воды р. Цаган-Гол, имеющие бóльшую плотность, распространяются в придонных слоях озера, опускаясь под теплые воды эпилимниона.

Фоновые концентрации компонентов солевого состава соответствовали верховьям притоков, где минерализация вод в р. Тобхор составляла 55, а в р. Загустай – 81,1 мг/дм³, воды имели гидрокарбонатно-кальциевый состав. Но уже в их устьевых зонах концентрации главных ионов и минерализация возрастали: гидрокарбонаты и кальций в 3 раза, сульфаты и магний в 5 раз, хлориды и натрий в 12 раз.

Равномерное распределение компонентов ионного состава, а также большой объем эпилимниона с практически одинаковой температурой свидетельствуют о полном ветровом перемешивании водной массы оз. Гусиное. Апвеллинг, возникающий при сгонных явлениях, способствует переносу вод гиполимниона в поверхностные горизонты и выравниванию всех гидрохимических показателей по глубине.

Биогенные элементы

Озеро Гусиное по содержанию биогенных элементов можно отнести к олиготрофным. Концентрации кремния колеблются в пределах 1,2–2,7 мг/дм³. Хотя притоки несут кремний в концентрациях 4–7 мг/дм³ в поверхностном горизонте его содержание 1,3–1,7 мг/дм³, только в придонных горизонтах концентрация увеличивается почти в два раза, поскольку у дна происходит минерализация оседающего органического вещества. В летний период практически весь азот и фосфор находились в органической форме. В районе сброса теплых вод ГРЭС и впадения р. Загустай (ст. 1.6 и 1.7) содержание аммония и фосфатов увеличивалось (рис. 4), здесь может происходить накопление погибших организмов планктона, попавших в системы охлаждения станции, а в р. Загустай поступают стоки из очистных сооружений г. Гусиноозерска. Это приводит к росту содержа-

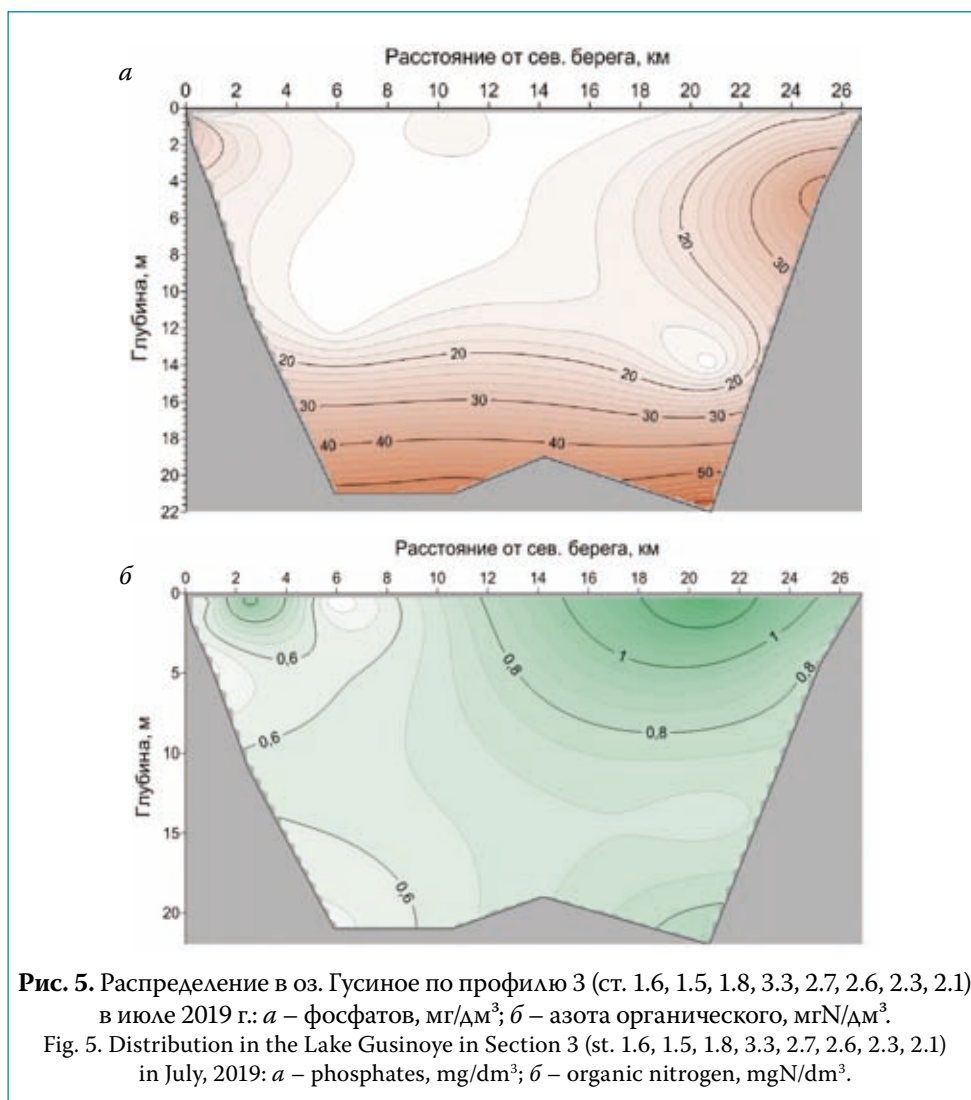


ния органических форм биогенных элементов, поступающих из реки и из агрегатов электростанции, а повышенная температура воды способствует их быстрой минерализации.

Распределение фосфатов, нитратов и кремния по профилю 3 практически идентично и показывает, что хотя в районе ГРЭС и существует участок локального увеличения количества биогенных элементов, гораздо большее их количество поступает со стоком р. Цаган-Гол в южном плесе (рис. 5*а*).

Распределение органического азота соответствовало распределению температуры: наибольшее количество наблюдалось в местах с теплой водой в центре южного плеса и в северном плесе в районе сброса теплых вод (рис. 5*б*).

В зимний период, когда динамическая циркуляция вод прекращается, подо льдом в мелководном северном плесе и поблизости от устья р. Цаган-Гол в южном плесе происходит увеличение концентраций органического



вещества и биогенных элементов [9, 10]. Благодаря наличию полыньи с непрерывающейся циркуляцией в северном плесе, вызванной теплыми водами ГРЭС, воды насыщаются кислородом, и поступающее в этот район озера со стоками органическое вещество полностью минерализуется, что положительно сказывается на экологическом состоянии озера. Наличие осенней и весенней гомотермии, когда весь объем озера перемешивается до дна, предотвращает накопление биогенных и органических веществ в придонных горизонтах.

ВЫВОДЫ

Озеро Гусиное – типичный димиктический водоем умеренного пояса, расположенный в горной долине. Продольная ось озера совпадает с направлением преобладающих ветров, которые вызывают стгон вод и поверхностные дрейфовые течения. Компенсационные придонные течения и апвеллинг из гипolimниона способствуют перемешиванию вод даже в период прямой стратификации. Благодаря этому однородный перемешанный слой эпимлиниона распространяется до глубин 10–13 м, компоненты солевого состава распределены равномерно, в водах озера не наблюдается дефицита кислорода даже в придонных слоях.

Теплые воды Гусиноозерской ГРЭС сбрасываются в северной части озера и прослеживаются в поверхностном слое на расстоянии 300–500 м в зависимости от направления ветра. Зимой в районе сброса формируется полынья с температурами, близкими к 4 °С – наблюдается зимняя гомотермия. Озеро Гусиное – малопроточное, что в период интенсивного антропогенного воздействия вызывало увеличение минерализации воды, содержания сульфатов, натрия и фторидов. Источниками поступления этих компонентов были сброс шахтных вод, фильтрация из золоотвалов и отвалов вскрышных пород.

По содержанию биогенных веществ оз. Гусиное близко к олиготрофному. В районе сброса теплых вод наблюдается увеличение их концентраций, т. к. повышенная температура способствует возрастанию скорости деструкции органических веществ, поступающих со стоком очистных сооружений г. Гусиноозерска. Наибольшее количество биогенных веществ поступает в озеро с речными водами и коммунально-бытовыми стоками из рек Загустай и Цаган-Гол.

Озеро Гусиное является редким примером, когда сочетание природных факторов уравнивает антропогенное воздействие, а изменения в гидрологическом и гидрохимическом режимах невелики и обратимы. Анализ изменения химического состава вод за 50 лет показал его относительную стабильность: ни один из солевых и биогенных компонентов не превышал ПДК_{рх}. При современном уровне хозяйственного использования водоема химический состав его вод, вероятно, останется неизменным. Увеличение антропогенной нагрузки, несомненно, будет сказываться на формировании гидрохимического режима и потребует дополнительных водоохраных мер при использовании озера в качестве источника питьевого водоснабжения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Generic Environmental Impact Statement for License Renewal of Nuclear Plants. Main Report. Division of Safety Issue Resolution Office of Nuclear Regulatory Research US. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC 20555, 1991.

2. Безносков В.Н., Суздалева А.А. Сукцессионное развитие экосистем техногенных водоемов // Сб. ст. Антропогенные влияния на водные экосистемы. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. С. 120–129.
3. Суздалева. А.А. Об организации экологического мониторинга на водоемах-охладителях атомных электростанций // Мониторинг и оптимизация природопользования. Тез. докл. межд. симп. Москва-Селигер, 1996. С. 105–107.
4. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / под ред. В.В. Сапожникова. М.: ВНИРО, 2003. 202 с.
5. Борисенко И.Н., Пронин Н.М. и др. Экология озера Гусиное. Улан-Удэ: Геологический институт СО РАН, 1994. 199 с.
6. Цибудеева Д.Ц. Геоэкологические условия водопользования в речных бассейнах Республики Бурятия: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Барнаул. 2014. 29 с.
7. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А. и др. Антропогенные модификации экосистемы оз. Имандра. М.: Наука, 2002. 403 с.
8. СанПиН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод». Утв. Гл. гос. санитарным врачом РФ 22 июня 2000 г.
9. Цыдыпов Б.З., Андреев С.Г., Аюржанаев А.А. и др. Влияние сбросов Гусиноозерской ГРЭС на термический и гидрохимический режим озера Гусиное // Известия Иркутского государственного ун-та. Сер. Науки о Земле. 2017. Т. 22. С. 135–150.
10. Домышева В.М., Синюкович В.Н., Ходжер Т.В. Водный режим и гидрохимия Гусино озера в современный период // География и природные ресурсы. 1995. № 2. С. 73–80.
11. Безносков В.Н., Горюнова С.В. и др. Особенности эвтрофирования водоема-охладителя АЭС // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Вып. 5. Ч. 2. Экологические исследования природно-техногенных систем. М.: Изд-во РУДН, 2004. С. 176–186.
12. Суздалева А.А., Безносков В.Н. Изменение гидрологической структуры водоемов и сукцессия водных биоценозов при их превращении в водоемы-охладители атомной (тепловой) электростанции // Инженерная экология. 2000. № 2. С. 47–55.
13. Цыбекмитова Г.Ц. Содержание биогенных элементов (азот и фосфор) в воде озера Кенон – водоема-охладителя ТЭЦ-1 // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014. № 7. С. 39–43.
14. Бубликова И.А., Цуверкалова О.Ф., Баклыкова М.Г. Анализ влияния Волгодонской АЭС на концентрацию сульфатов в водоеме-охладителе / Известия вузов. Спецвыпуск. 2010. С. 146–150.
15. Савенко А.В., Савенко В.С., Ткаченко О.В. Фтор в поверхностных водах бассейнов Селенги и Аргуни // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод: мат-лы научн. конф., Ростов-на-Дону, 2015. Ч. 1. С. 258–262.
16. Михайлова Л.А., Солoduхина М.А. Природные и антропогенные геохимические аномалии Забайкальского края // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 5.

17. Базарова Б.Б. Многолетние изменения растительности озера Кенон (Забайкальский край) // Известия Иркутского государственного ун-та. Сер. Биология. Экология. 2012. Т. 5. № 4. С. 18–23.

Для цитирования: Лукьянова А.Н., Лукьянова О.Н., Ефимова Л.Е., Ефимов В.А. Влияние природных и антропогенных факторов на качество воды в водоемах охладителях (на примере оз. Гусиное) // Водное хозяйство России. 2020. № 2. С. 146–162.

Сведения об авторах:

Лукьянова Анна Николаевна, инженер, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1; e-mail: lvs-lan@mail.ru

Лукьянова Ольга Николаевна, канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ВНИРО)», Россия, 107140, Москва, В. Красносельская, 17; e-mail: olukian@mail.ru

Ефимова Людмила Евгеньевна, канд. геогр. наук; старший научный сотрудник, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1; e-mail: ef_river@mail.ru

Ефимов Василий Антонович, аспирант, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, 1; e-mail: roxifixat@yandex.ru

**THE NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS' IMPACT ON WATER QUALITY
IN COOLING POOLS (THE LAKE GUSINOYE AS A STUDY CASE)**

Anna N. Lukyanova¹, Olga N. Lukyanova², Ludmila Y. Yefimova¹, Vasilii A. Yefimov¹

E-mail: lvs-lan@mail.ru

¹ *M.V. Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

² *All-Russian Research Institute of Fishery and Oceanography, Moscow, Russia*

Abstract: The materials of the expedition of the Faculty of Geography of Moscow State University on Lake Gusinoye in August 2019 made it possible to assess the hydrological structure of the lake, the distribution of the flow of the main tributaries and wastewater from the Gusinozerskaya state district power station. An analysis of the distribution of the chemical components and nutrients showed that dynamic mixing plays a significant role in the lake regime. The increase in the content of nutrients and mineralization components is insignificant and is determined by the flow of municipal sewage from settlements, from former quarries and mines, and mineralized groundwater.

Key words: cooling pool, heat flow, hydrological structure, oxygen, mineralization, sulfates, fluorides, nutrients, municipal drains.

About the authors:

Anna N. Lukyanova, Engineer, M.V. Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia; e-mail: lvs-lan@mail.ru

Olga N. Lukyanova, Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, All-Russian Research Institute of Fishery and Oceanography, 17 V. Krasnoselskaya, 17, Moscow, 107140, Russia; +7(499) 264-93-87; e-mail: olukian@mail.ru

Ludmila Y. Yefimova, Candidate of Geographical Sciences, Senior Researcher, M.V. Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia. e-mail: ef_river@mail.ru

Vasily A. Yefimov, Post-graduate Student, M.V. Lomonosov Moscow State University, Leninskie Gory, 1, Moscow, 119991, Russia; e-mail: roxifixat@yandex.ru

For citation: *Lukyanova A.N., Lukyanova O.N., Yefimova L.Y., Yefimov V.A. The Natural and Anthropogenic Factors' Impact on Water Quality in Cooling Pools (the Lake Gusinoe as a Study Case)// Water Sector of Russia. 2020. No. 2. P. 146–162.*

REFERENCES

1. Generic Environmental Impact Statement for License Renewal of Nuclear Plants. Main Report. Division of Safety Issue Resolution Office of Nuclear Regulatory Research US. Nuclear Regulatory Commission, Washington, DC 20555, August 1991.
2. *Beznosov V.N., Suzdaleva A.L. Suktsessionnoe razvitie ekosistem tekhnogennykh vodoev* [Successive development of the technogenic water bodies ecosystems]// *Antropogennyye vliianiia na vodnye ekosistemy. Sb statei, posviashch. 100-letiiu so dnia rozhdeniia N.S. Stroganova. M.: Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2005. S. 120-129.*
3. *Suzdaleva. A.L. Ob organizatsiyi ekologicheskogo monitoringa na vodoemakh-okhladiteliakh atomnykh elektrostantsiyi* [About organization of ecological monitoring at cooling pools of nuclear power plants]// *Monitoring i optimizatsiia prirodopol'zovaniia. Tez. dokl. mezhdunar. simp. Moskva-Seliger, 1996. p. 105-107.*
4. *Borisenko I.N., Pronin N.M., i dr. Ekologiya ozera Gusinoe* [The Lake Gusinoe ecology]. Buriatskii nauchnyi tsentr Geologicheskii institut SO RAN, Ulan-Ude, 1994, 199 p.
5. *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu morskikh i presnykh vod pri ekologicheskom monitoringe rybokhozyaystvennykh vodoyomov i perspektivnykh dlya promysla raionov Mirovogo okeana* [Instruction on chemical analysis of sea and fresh water during ecological monitoring of fishery water bodies and areas of the World Ocean prospective in terms of fishing]// *pod redaktsiei V.V.Sapozhnikova. M.: Izd-vo VNIRO, 2003. 202 s.*
6. *Tsibudeeva D. Ts. Geoekologicheskie usloviya vodopol'zovaniya v rechnykh basseynakh Respubliki Buryatiya* [Geo/ecological conditions of water use in river basins of the Republic of Buryatia]: avtoref. ... kand. geogr. nauk / D. Ts. Tsibudeeva. Barnaul, 2014. 29 p.
7. *Moiseyenko T.I., Dauval'ter V.A. i dr. Antropogennyye modifikatsii ekosistemy oz. Imandra* [The Lake Imandra ecosystem anthropogenic modifications]; *otv.red.T.I.Moiseenko. – M.: Nauka, 2002. 403 s.*
8. SanPiN 2.1.5.980-00 «Vodootvedenie naseleennykh mest, sanitarnaia okhrana vodnykh ob'ektov. Gigienicheskie trebovaniia k okhrane poverkhnostnykh vod» [SanPiN 2.1.5.980-00 “Water disposal of the inhabited locations, sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements to the surface waters protection”] (utv. Glavnym gosudarstvennym sanitarnym vrachom RF 22 iyunya 2000 g.) Soglasno pis'mu Miniusta RF ot 1 noiabria 2000 g. № 9295-IuD nastoiashchie pravila v gosudarstvennoi registratsii ne nuzhdaiutsia.
9. *Tsydyppov B. Z., Andreev S. G. i dr. Vliianie sbrosov Gusinoozerskoi GRES na termicheskii i gidrokhimicheskii rezhim ozera Gusinoe* [The Gusinoozersk HPP discharges impact on the thermal and hydro/chemical regime of the Lake Gusinoe]// *Izvestiia Irkutskogo Gosudarstvennogo Universiteta, Seriya «Nauki o Zemle» 2017. Vol. 22. P. 135–150.*

10. *Domysheva V.M., Siniukovich V.N., Khodzher T.V.* Vodnyi rezhim i gidrokhimii Gusinogo ozera v sovremennyyi period [The Lake Gusinoye contemporary water regime and hydro/chemistry]/ *Geografiya i prirodnye resursy*. 1995. № 2. P. 73–80.
11. *Beznosov V.N., Goriunova S.V. i dr.* Osobennosti evtrofirovaniia vodoema-okhladitelia AES // Aktual'nye problemy ekologii i prirodopol'zovaniia. Sbornik nauchnykh trudov Rossiiskogo universiteta druzhby narodov. Vyp. 5. Ch. 2. Ekologicheskoe issledovaniia prirodno-tekhnogennykh sistem. M.: Izd. RUDN, 2004. S. 176–186.
12. *Suzdaleva A.L., Beznosov V.N.* Izmenenie gidrologicheskoi struktury vodoemov i suktsessiya vodnykh biotsenozov pri ikh prevrashchenii v vodoemy-okhladiteli atomnoy (teplovoi) elektrostantsii [Changes of the water bodies hydrological structure in the aquatic bioceonosis succession in their transforming into cooling pools of nuclear (thermal) power plant]// *Inzhenernaya ekologiya*. 2000. № 2. P. 47–55.
13. *Tsybekmitova G.T.* Soderzhanie biogennykh elementov (azot i fosfor) v vode ozera Kenon – vodoema-okhladitelia TETS-1 [The biogenic elements (nitrogen and phosphorus) content in the Lake Kenon as a cooling pool for TETS–1]// *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2014. № 7. P. 39–43.
14. *Bublikova I.A., Tsuverkalova O.F., Baklykova M.G.* Analiz vliyaniia Volgodonskoy AES na kontsentratsiyu sul'fatov v vodoeme-okhladitele [Analysis of the Volgodonsk NPP impact on the sulfates concentration in the cooling pool]./ *Izvestiia vuzov. severo-kavkazskii region.tekhnicheskie nauki. Spetsvypusk*, 2010. 146–150 p.
15. *Savenko.A.V., Savenko V.S. i dr.* Ftor v poverkhnostnykh vodakh basseinov Selengi i Arguni [Fluorine in surface waters of the Selenga and Argun river basins] // *Sovremennyye problemy gidrokhimii i monitoringa kachestva poverkhnostnykh vod. – Materialy nauchnoi konferentsii*, Rostov-na-Donu, 2015. P. 258–262.
16. *Mikhaylova L.A., Solodukhina M.A.* Prirodnye i antropogennyye geokhimicheskie anomalii Zabaikal'skogo kraya [Natural and anthropogenic geo/chemical abnormalities of Transbaikal Kray] // *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniia*. 2016. № 5.
17. *Bazarova B. B.* Mnogoletnie izmeneniia rastitel'nosti ozera Kenon (Zabaikal'skii krai) [Many-year changes of vegetation of the Lake Kenon (Transbaikal Kray)] *Izvestiia Irkutskogo Gosudarstvennogo Universiteta, seriia «Biologiya. Ekologiya.»*, 2012, Vol. 5. № 4. P. 18–23.