

УДК 574.589 (571.54)

ОЦЕНКА ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА ГУСИНОЕ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МАКРОФИТОВ (РЕСПУБЛИКА БУРЯТИЯ)

Б. Б. Базарова

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН

E-mail: balgit@mail.ru

Озеро Гусиное – крупнейшее озеро на Байкальской природной территории после оз. Байкал, вокруг которого сформирован Гусноозерский промышленный комплекс. Во флоре макрофитов оз. Гусиное выявлено 27 видов, из 21 семейства. Пространственная структура растительности обусловлена морфометрическими характеристиками литорали озера. Наиболее заросшими являются северный и южный сектора озера. По сравнению с предыдущими годами исследования выявлен рост площади зарослей харовых водорослей и мхов. Прогрессирующее зарастание озера способствует поддержанию процессов самоочищения экосистемы, выводу из оборота загрязняющих и биогенных элементов и обеспечивает устойчивое развитие экосистемы. О способности экосистемы озера сохранять общий уровень продуктивности за счет перестройки структуры свидетельствуют и данные по другим сообществам гидробионтов (зоопланктону, зообентосу и ихтиоценозам). Результаты наших исследований химического состава макрофитов оз. Гусиное, показали, что по сравнению с данными 90-х годов, значения концентрации химических элементов в макрофитах уменьшились. Зафиксированное экологическое состояние озера обусловлено комплексом факторов как природного, так и антропогенного характера (уровень воды, повышение температуры, морфометрия литорали, химический состав воды).

Ключевые слова: макрофиты, оз. Гусиное, *E. canadensis*, химические элементы, загрязнение, экосистема

DOI: 10.31857/S0869607124030014, **EDN:** LLYAYR

ВВЕДЕНИЕ

Озеро Гусиное – крупнейшее озеро на Байкальской природной территории после оз. Байкал. В окрестностях оз. Гусиное и г. Гусиноозерска сформировался Гусиноозерский промышленный комплекс, являющийся одним из крупнейших в Республике Бурятия. Он включает энергопроизводящие, перерабатывающие и транспортные предприятия. Наиболее масштабными загрязнителями озера являются Гусиноозерская ГРЭС, нерекультивированные терриконы вскрышных пород Холбольджинского угольного разреза. Озеро является основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения; служит приемником очищенных хозяйственно-бытовых сточных вод станции биологической очистки г. Гусиноозерск и сточных вод без биологической очистки пос. Гусиное Озеро [15].

Пуск первого энергоблока Гусиноозерской ГРЭС был осуществлен в декабре 1976 г. С 2014 г. станция вышла на уровень мощности в 1100 МВт. В качестве топлива для ГРЭС используются бурые угли Хольбольтжинского угольного разреза. В настоящее время отмечается превышение ПДК по сульфатам, хлоридам, натрию, железу, аммонии, марганцу, свинцу. В районе золоотвала и полигона промышленных отходов наблюдается превышение допустимых концентраций железа до 14 ПДК (14.03 мг/л) и марганца до 1.75 ПДК (0.175 мг/л). На территории г. Гусиноозерска ареал загрязнения картируется на площади около 1380 км². В поверхностных водах обнаружены стойкие органические загрязнители (полихлорированные бифенилы, хлорорганические пестициды, полициклические ароматические углеводороды) в количестве 5.54–58.26 нг/л и наблюдается их аккумуляция гидробионтами [5, 21, 22]. В течение 2010–2014 годов удельный комбинаторный индекс загрязнения воды (УКИЗВ) изменялся от 2.06 до 3.14, что соответствует 3 «а» классу качества воды, т. е. вода озера, является устойчиво загрязненной [5]. Поскольку озеро Гусиное связано с р. Селенгой основным притоком Байкала, существует потенциальная угроза того, что оно может стать самым большим источником загрязнения бассейна Байкал.

Озеро является ценным рыбохозяйственным водоемом, давно вызывающим интерес краеведов, геологов и других исследователей. Существуют документы, описывающие особенности образования и этапы формирования озера. Исторический обзор публикаций по оз. Гусиное и результаты НИР, проведенных в 1947 г. Биолого-географическим факультетом Иркутского государственного института им. А. А. Жданова, приведены М. М. Кожовым [9]. Экологические последствия использования оз. Гусиное в качестве водоема-охладителя исследованы в основном в начальный период ввода в эксплуатацию энергоблоков первой очереди (1981–1991 гг.). Результаты гидрологических, гидрохимических, гидробиологических и ихтио-паразитологических исследований этого периода частично обобщены в монографии «Экология озера Гусиное» [7]. В последующие годы эпизодически проводятся работы отраслевыми рыбохозяйственными научно-исследовательскими учреждениями (Востсибрыбниипроект, Востсибрыбцентр и Байкальское отделение Госрыбцентра) для определения общего допустимого улова рыб (ОДУ).

В начале XXI в. возрос интерес к озеру в связи с ростом как техногенных факторов, так и с появлением новой угрозы в виде биологических инвазий, как преднамеренно вселенных человеком, так и случайно проникших и натурализовавшихся чужеродных видов гидробионтов. В настоящее время в озере зарегистрированы 7 инвазивных видов рыб, 2 вида амфипод и 1 водное растение: *Elodea canadensis* Mich. В 2013 г. благодаря инициативе д.б.н., проф. Н. М. Пронина был начат новый цикл исследований на оз. Гусиное. Появились работы, рассматривающие абиотические параметры среды [22, 17] и биоту. В биоте озера наиболее изученными являются вопросы экологии сообществ зоопланктона [20], зообентоса [14; 10], популяций рыб [3, 11], их паразитофауна [7, 8] и бактериопланктон [33]. Практически неизученным остается растительный блок. Информация о водных макрофитах имеется только по состоянию на 1927 г. [6] и 1947 г. [9]. По состоянию на 1990–1991 гг. приведены сведения о химическом составе *Potamogeton praelongus* Wulf [23]. В связи с выше сказанным, цель данной работы – оценка состояния экосистемы оз. Гусиное на основе анализа динамики макрофитов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Озеро Гусиное имеет овальную форму, вытянутую с юго-запада на северо-восток (рис. 1). Площадь водосборного бассейна озера равна 924 км², площадь водного зеркала составляет 164 км², средний многолетний объем воды – 2,4 км³, при средней глубине 15 м. Длина – 24,8 км, средняя ширина – 8 км, наименьшая – 5,1 м, преобладающая глубина – 15–20 м, а наибольшая – 26 м. Чаша озера имеет корытообразную форму с двумя неравновеликими котловинами. Основная часть мелководья озера приходится на северное и юго-западное побережья озера [4, 9].

Озеро Гусиное относится к слабопроточным водоемам. Коэффициент условного водообмена равен 0,0125. В озеро впадает 9 рек, при высоком уровне воды вытекает р. Баин-Гол в юго-восточной части озера. Береговая линия имеет плавные очертания, изредка усложняясь песчаными косами и конусами выноса устьев рек и несколькими неглубокими заливами. С северо-запада в озеро вдается широкий мыс Чана, который сужает озеро и разделяет его на 2 котловины:

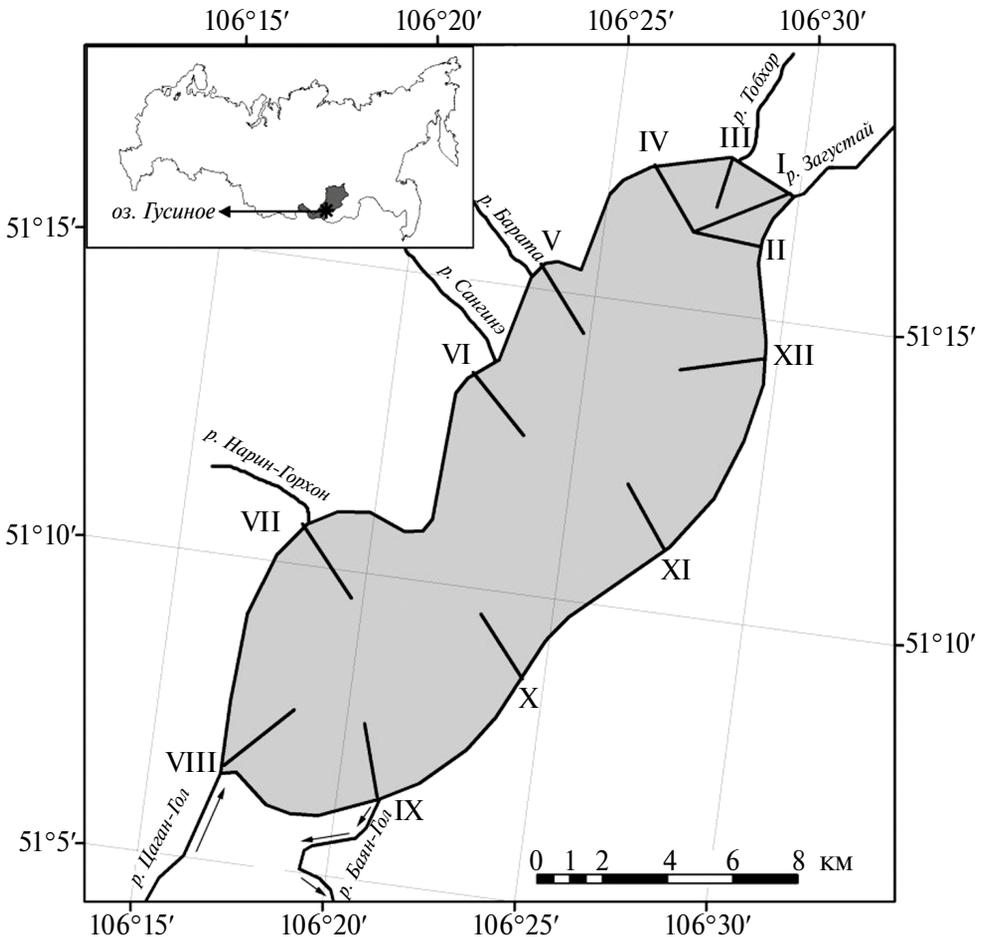


Рис. 1. Картограмма оз. Гусиное: I–XII – гидроботанические профили.

южную (меньшую по площади, но более глубокую) и северную, занимающую основную часть озера. Грунты в озере не отличаются большим разнообразием. Прибрежная часть занята песчаными и песчано-галечными грунтами. Вся глубинная, а также прибрежная полоса вдоль западного берега покрыты вязкими илами черного, изредка серого цвета [10, 23].

Гидробиотические работы на оз. Гусиное проведены в июле 2013–2014 гг. с использованием общепринятых методов. При изучении растительности заложено 12 профилей (Рис. 1), от уреза воды до максимальной глубины роста растений. При классификации растительности использован доминантный подход выделения сообществ. Отбор фитомассы растений проведен прибором Количественного учета гаммарид (КУГ) с площадью захвата 0.25 м². Всего описано 89 станций.

Определено содержание тяжелых металлов в химический состав четырех видов: *Lemna trisulca* L., *Elodea canadensis* Mich., *Potamogeton perfoliatus* L. (листья, стебли), *Myriophyllum* ssp. (листья, стебли, корни). Анализ проведен в Хабаровском инновационно-аналитическом центре Института тектоники и геофизики им. Ю. А. Косыгина с использованием прибора ICP-MS Elan DRC II PerkinElmer (США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Флора и растительность озера. Во флоре озера зарегистрировано 27 видов из 21 семейства. По сравнению с предыдущими исследованиями не отмечена *Nuphar* sp.

Макрофиты занимают литораль до глубины 13.0 м в юго-западном секторе озера. В остальной части озера растения встречаются до глубин 8.5–11.0 м. Площадь зарастания составляет 50.7 % от общей площади озера [2]. В озере доминируют 10 формаций: *Phragmiteta australis*, *Persicarieta amphibia*, *Nymphoides peltatae*, *Chareta fragilis*, *Chareta globularis*, *Nitellata*, *Fontinalis antipyretica*, *Potamogetoneta perfoliatus*, *Potamogetoneta praelongus*, *Potamogetoneta crispus*, *Stuckenieta pectinata*.

Пространственная структура растительности озера во многом обусловлена морфометрическими особенностями его литорали. Литораль северного и южного секторов озера (профили I, III и VIII), характеризуется протяженным и пологим дном, грунт ил. В данных секторах макрофиты формируют плотные заросли, характеризующиеся следующей последовательностью распределения сообществ по мере роста глубины: *Phragmiteta australis* (до глубин 0.5 м) → *Polygoneta amphibii* → *Nymphoides peltatae* (глубины 0.5–1.0 м) → *Potamogetoneta perfoliatus* → *Potamogetoneta crispus* → *Myriophylleta sibirici* → *Stuckenieta pectinatus* (глубины 0.5–3.5 м) → Charophyta → Bryophyta (3,5–10,0 м). В литорали северо-западного и западного секторов (профили IV, V) озера до глубины 1,0 м грунт песок, на глубинах более 1,0 м – ил. Растительность характеризуется следующей последовательностью: *Potamogetoneta perfoliatus* → *Stuckenieta pectinatus* → *Elodea canadensis* (от уреза до 1.5 м) → *Fontinalis antipyreticae* → *Nitellata opaca* → Charophyta (с глубины 1.5–2.0 до 8.5 м). Литораль восточного (профили II, IX, X, XI, XII) и юго-западного (профили VI, VII) секторов озера характеризуется резким уклоном дна, грунт песок. В этих секторах озерах растут только харовые водоросли и мхи.

Содержание химических элементов в водных макрофитах оз. Гусиное. Результаты анализа химического состава макрофитов оз. Гусиное представлены в таблице 1.

Табл. 1. Содержание химических элементов (мг/кг) в водных растениях оз. Гусиное

	2013 г. Наши данные				90-е годы [23]	
	<i>E. canadensis</i>	<i>L. trisulca</i>	<i>M. sibiricum</i>	<i>P. perfoliatus</i>	<i>P. praelongus</i> повт. 1	<i>P. praelongus</i> повт. 2
Ca	10336.49	31323.74	17681.28	9124.21	70000	30000
Na	10021.50	3550.12	9993.46	2676.87	35000	9 000
Mg	3581.78	5340.44	3655.24	3971.69	4200	7500
Fe	670.77	1106.17	431.33	1052.09	14000	7500
Sr	697.89	924.03	657.87	198.3	700	900
Al	190.85	449.69	133.44	467.43	21000	—
Ti	9.33	28.51	9.98	18.69	210	285
Cr	—	—	0.72	0.28	21	12
Co	0.58	1.76	0.31	2.36	14	6.8
Ni	0.06	6.98	0.09	2.72	14	6.8
Cu	1.29	10.54	3.38	2.27	21	37.5
Zn	97.56	114.60	55.05	19.59	140	225
Mo	0.87	2.,91	3.54	1.27	3.5	1.9
Ba	48.20	130,13	56.06	53.99	2100	600
Pb	0.42	1,48	2.76	0.77	21	7.5
P	8418.69	1836.57	1075.40	2392.31	3500	7500
Sn	—	—	0.37	0.08	3.5	2.25
Mn	1884.60	4606.56	352.50	1305.34	210	285
As	2.02	3.63	2.14	1.88	—	—
Se	—	0.02	0.01	0.05	—	—
Cd	0.08	0.28	0.06	0.16	—	—
Sb	0.03	0.59	0.07	0.03	—	—
W	0.33	1.59	0.62	0.18	—	—
Hg	0.01	0.05	0.02	0.01	—	—
Bi	—	—	—	0.14	—	—
K	35285.65	22091.40	12891.45	17372.1	—	—
B	33.60	1587.99	59.14	31.65	—	—
V	0.83	4.02	3.42	1.55	—	—

Примечание: «—» — нет данных;

На основе полученных данных построены ряды содержания элементов:

P. praelongus в 1990–1991 гг. Ca > Na > Fe > Al > Mg > Ba > Sr > Mn > Ti > Zn > Cu > Pb > Cr > Cu > Ni > Sn > Mo

2014 г.

E. canadensis: Ca > Na > K > Mg > Mn > Sr > Al > Fe > Zn > Ba > B > Ti > As > Cu > Mo > V > Co > Pb > W > Cd > Ni > Sb > Cu > Ni > Sb > Hg

L. trisulca: Ca > K > Mg > Na > Mn > B > Fe > Sr > Al > Ba > Zn > Ti > Cu > Ni > V > As > Mo > Co > W > Pb > Sb > Cd > Hg > Se

M. sibiricum: Ca > K > Na > Mg > Sr > Fe > Mn > Al > B > Ba > Zn > Ti > Mo > Cu > V > Pb > As > Cr > Sn > Co > W > Ni > Cd > Hg > Se > Sb

P. perfoliatus: Ca > K > Mg > Na > Mn > Fe > Al > Sr > B > Zn > Ti > Ni > Co > Cu > As > Mo > Cr > Pb > W > Cd > Bi > Sn > Se > Sb > Hg

Значения концентрации элементов в исследованных видах водных растений можно объединить в 4 группы: элементы с повышенной (Ca, Na, Mg, K, Fe, Sr, Mn и Al), довольно высокой (Ti, Ba, Zn, B), средней (Cu, Cr, Co, Ni, Mo, Pb, As, V), низкой (Se, Cd, Sn, Sb, W, Hg, Bi) концентрацией. При этом в первую группу в основном вошли физиологически необходимые элементы. В настоящее время, по сравнению с данными 90-х годов, значения концентрации химических элементов в макрофитах уменьшились. Возможно, это связано с прекращением сброса сточных вод с Холбольджинского угольного разреза и улучшения экологической ситуации на ГРЭС в середине 80-х годов прошлого столетия [23].

Динамика. Сравнительный анализ современной пространственной структуры растительности озера с литературных данных за 1947 г. [23] показывают:

– уменьшение зарослей *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., ранее он рос вдоль северного и западного берегов. В период наших исследований наиболее плотные заросли расположены на северной оконечности озера, характеризующейся болотистым берегом, и где расположена ГРЭС и идет интенсивная тепловая и биогенная нагрузка.

– на западном побережье озера ранее были хорошо выражены полосы *Potamogeton crispus* L., *Stuckenia pectinata* (L.) Börner, в настоящее время они встречаются небольшими группировками на глубинах до 1,5 м. Ранее *Potamogeton praelongus* L. занимал большие площади и формировал плотные заросли, сейчас сообщества формируются только в литорали напротив ручья Загустайка (профиль III).

– основным и наиболее значимым изменением в растительном покрове озера является массовое развитие харовых водорослей и мхов. По данным предыдущих лет они появлялись с глубины 6,0 м. В настоящее время харовые растут с метровых глубин, иногда покрывая дно сплошным ковром до глубин 8,5–11,0 м. На западном побережье массовое развитие получили сообщества мха *Fontinalis*. В целом наблюдается смещение сообществ харовых и мха на меньшие глубины, при сохранении их на больших глубинах. Фитомасса мхов и харофитов достигает 4 кг/м².

ОБСУЖДЕНИЕ

В результате наших исследований выявлен рост площади фитомассы харовых водорослей и мхов. Увеличение площади произошло за счёт смещение границ произрастания харофитов. Если в 40-х годах харовые водоросли произрастали с глубины 6,0 м и до 13 м, то в период наших работ – с метровых глубин до 11 м. Согласно «Водной рамочной директиве 2000/60/ЕС» массовое развитие харофитов свидетельствует о «хорошем» состоянии экосистемы в целом [32]. Харофиты, образуя плотный ковер на дне озера, уменьшают взмучивание донных отложений, трансформируя биогенные и загрязняющие вещества, улучшают качество и органолептические показатели воды в водоеме [31]. Увеличение вклада макрофитов в первичную продукцию в целом ведет к росту устойчивости экосистемы водоема и ее способности к самоочищению [19]. О способности харовых водорослей адаптироваться к высоким концентрациям тяжёлых металлов [28] и, наоборот, их низкую устойчивость к повышению содержания биогенных элементов, известно из ряда исследований [27, 28].

Мхи рода *Fontinalis* являются стрессоустойчивой группой, и многие виды имеют широкий трофический диапазон. Водные мхи используются в качестве индикаторов по наличию или отсутствию загрязняющих веществ, служат биомониторами (аккумуляторами) тяжелых металлов. Они являются эталонными видами, и их массовое

развитие свидетельствуют о «хорошем» экологическом статусе водоема [25]. Увеличение концентрации фосфора также негативно влияет на них [24].

Предполагаем, что наблюдаемые изменения связаны со снижением уровня воды озера, в результате природного циклического снижения увлажненности рассматриваемой территории [13] и роста объема скачиваемых вод для технологических нужд ГРЭС.

Возможно, и тепловая нагрузка стала благоприятным фактором для развития харовых водорослей. Согласно [29, 26] интенсивный рост харофитов начинается, когда температура воды достигает 8–10°C. Оптимальными условиями для развития *Fontinalis* является диапазон температуры 5–15°C. При достижении 10°C наблюдается максимальный рост их ризоидов. Длительное воздействие температур более 20°C негативно влияет на мхи [24]. Увеличение объема теплых вод, сбрасываемых электростанцией непосредственно в озеро, привело к изменению его температурного режима. В период до строительства ГРЭС озеро вскрывалось в мае, с мая по июнь устанавливается весенняя гомотермия, с прогревом воды в столбе до 8,5°C. В июле–августе вода прогревается до 15,0–21,5°C. В октябре наблюдалась осенняя гомотермия [4]. В настоящее время разрушение ледового покрова наблюдается в апреле – мае. В северной части водоема, вблизи электростанции, ледовый покров отсутствует весь зимний период. Площадь полыньи изменяется от 0,336 до 157,584 км² [18]. В зимнее время температура воды в сбросном канале и акватории озера различается на 14–16°C, а в летнее на 11–14°C [17]. Распределение температуры в толще воды озера достаточно равномерное: в зоне максимальных глубин различия между значениями поверхностного и придонного слоёв были в пределах 1,9–3,8°C. В мае 2013 г. прозрачность воды по диску Секки составила 7,5 м. Концентрации кислорода в воде (как в поверхностном, так и в придонном слоях) были высокими вплоть до полного насыщения [10]. Рост сульфатов в гидрохимическом составе воды [23], также благоприятно влияют на харофитов.

В целом, анализ макрофитной растительности оз. Гусиное показывает, что в настоящее время, несмотря на значительную антропогенную нагрузку, экосистема озера способна сохранять общий уровень продуктивности за счет перестройки структуры сообществ гидробионтов. О способности экосистемы озера сохранять общий уровень продуктивности за счет перестройки структуры свидетельствуют и данные по другим блокам. Так, общая численность зоопланктона в 2014 г. сравнима с данными за 1990–1991 гг. В то же время наблюдаются изменения в структуре зоопланктона: уменьшение абсолютной и относительной доли численности и биомассы коловраток на фоне увеличивающейся роли ветвистоусых [20]. Уровень развития зоопланктона и зообентоса оз. Гусиное в 2009 г. соответствовал, как и в предыдущие годы, мезотрофному типу озер низшей градации [3]. За более чем полувековой период исследований ихтиофауны оз. Гусиное были отмечены 23 вида рыб из 11 семейств, обитавшие в озере в различные периоды его существования. За более чем пятидесятилетний период из состава ихтиофауны озера исчезли 5 видов: ленок, черный байкальский хариус, сиг, сибирский голец и налим. Вместе с тем в результате рыбоводно-акклиматизационных работ и инвазий состав ихтиофауны пополнился 7 видами: омуль, пелядь, амурский сазан, лещ, верховка, амурский сом и ротан. В современный период наиболее высокой численностью среди чужеродных видов характеризуются лишь сорные непромысловые: ротан и верховка [11]. В целом, о благополучной ситуации в озере свидетельствуют размерные показатели плотвы, соотношение мелких и средних рыб относительно крупных. Показатель роста окуня

в оз. Гусиное был на 11 % выше средних для водоемов Забайкалья значений и находился на уровне предыдущих лет [12]. Увеличение вклада макрофитов в первичную продукцию в целом ведет к росту устойчивости экосистемы водоема и способности к самоочищению [19].

Как известно, максимальные пики загрязнения вод Гусиного озера приходится на период 1975–1985 гг., т. е. на начало эксплуатации ГРЭС и Холбольджинского угольного разреза. После прекращения сброса сточных вод с углеразреза и улучшения экологической ситуации на ГРЭС в середине 80-х годов степень загрязнения вод озера несколько уменьшилась [21, 22]. Результаты наших исследований химического состава макрофитов оз. Гусиное показали, что по сравнению с данными 90-х годов, значения концентрации химических элементов в макрофитах уменьшились. Сравнительный анализ ряда элементов оз. Гусиное с данными из других водоемов показывает их сходство [1].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наблюдаемый рост зарастания оз. Гусиное, особенно сообществами харовых водорослей и мхов, свидетельствует, что экосистема развивается по макрофитному типу. Экосистема озера сохраняет свой уровень продуктивности за счет перестройки структуры гидробиоценозов, в том числе макрофитов. Это подтверждается снижением концентрации элементов в растениях. Растения способны аккумулировать загрязняющие вещества, захоранивая их в донных отложениях, перерабатывая, изменяя формы нахождения, связанные ионы металлов опасны в меньшей мере или почти безвредны. На данном этапе развития экосистема озера Гусиное сохраняет способность к самоочищению и саморегуляции. В то же время рост антропогенной нагрузки, уничтожение макрофитов может вызвать дисбаланс в системе и привести к негативным последствиям для озера.

Благодарности. Работа выполнена в рамках государственного задания ИПРЭК СО РАН, проект FUFР-2021-0006

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базарова Б. Б. Содержание химических элементов в харовых водорослях оз. Кенон // Вода: химия и экология. 2013. № 11. С. 54–60.
2. Базарова Б. Б., Куклин А. П. О современном состоянии и многолетней динамике флоры и растительности озера Гусиное (Республика Бурятия) // Экосистемы. 2021. № 25. С. 72–81. <https://doi.org/10.18411/2414-4738-2021-25-72-81>
3. Бобкова Е. А., Иметхенов А. Б. Влияние сточных вод г. Гусиноозерск на ихтиофауну оз. Гусиное // Вестник НГУ. 2011. N 3(34). С.176–181.
4. Богданов В. Т. Гидрохимическое состояние вод озера Гусиное // Гидрохимия рек и озер в условиях резко континентального климата. Владивосток: ДВНЦ АН СССР. 1977. С. 113-123.
5. Государственный доклад «О состоянии озера Байкал и мерах по его охране в 2022 году». – Иркутск: ФГБУН Институт географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2023. – 372 с.
6. Гусиноозерская экспедиция П.С. Михно 1927 г. (Динамика природных комплексов Гусиноозерской котловины и аспекты культурного наследия Селенгинского среднего-рья) / под ред. Э.А. Батоцыренова. Улан-Удэ: ЭКОС, 2016. 168 с.
7. Дугаров Ж. Н., Бурдуковская Г., Батуева М. Д., Балданова Д. Р., Сондуева Л. Д., Жеполова О. Б., Мазур О. Е. Изменения видового состава паразитов окуня *Perca fluviatilis* оз. Гусиное (бассейн оз. Байкал) вследствие депрессии и последующего восстановле-

- ния численности хозяина // Экология. 2018. № 3. С. 220–224. <https://doi.org/10.1134/S1067413618030037>
8. *Дугаров Ж. Н., Пронин Н. М.* Разнообразие фауны и динамика видового богатства и доминирования в сообществах паразитов в возрастном ряду речного окуня *Perca fluviatilis* // Экология. 2017. № 1. С. 20–27. <https://doi.org/10.7868/S0367059716060044>
 9. *Кожов М. М.* Пресные воды Восточной Сибири: (бассейн Байкала, Ангары, Витима, верхнего течения Лены и Нижней Тунгуски). Иркутск: Иркут. обл. гос. изд-во, 1950. 368 с.
 10. *Матафонов Д. В., Базова Н. В.* Новый подход к организации сети станций для мониторинга озёрных водоёмов Бурятии по организмам макрозообентоса: первые результаты применения и анализ пространственного распределения амфипод в озёрах Еравнинской системы как пример его реализации // Известия ИГУ. Серия «Биология. Экология». 2018. Т. 24. С. 86–109. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.86>
 11. *Матвеев А. Н., Юрьев А. Л., Самусенок В. П., Вокин А. И., Самусенок И. В.* Изменение состава ихтиофауны оз. Гусиное (водоема-охладителя Гусиноозерской ГРЭС) и роли в ней чужеродных видов // Экология водоемов-охладителей энергетических станций: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Чита: ЗаБГУ. 2017. С. 340–345.
 12. *Морузи И. В., Пищенко Е. В., Некрасов А. С.* Биологические ресурсы озера Гусиное Селенгинского района Республики Бурятия // Вестник НГАУ. 2016. № 4. С. 48–55.
 13. *Обязов В. А.* Изменения современного климата и оценка их последствий для природных и природно-антропогенных систем Забайкалья. Казань: автореферат на соиск. уч. ст. д.г.н., 2014. 38 с.
 14. *Семерной В. П., Матафонов Д. В., Базова Н. В.* Фауна и пространственное распределение малощетинковых червей (Annelida: Oligochaeta) в озере Гусиное (бассейн озера Байкал) // Известия ИГУ. Сер.: Биология. Экология. 2014. Т. 10. С. 92–107.
 15. *Ульзетуева И. Д., Хахинов В. В., Намсараев Б. Б., Звонцов И. В.* Гусиное озеро как индикатор загрязнения акватории Байкала // Экология и промышленность России. 2001. № 9. С. 30–31.
 16. *Утюжникова Н. С., Ширапова Г. С., Черняк Е. И., Вялков А. И., Морозов С. В., Батоев В. Б.* Двустворчатый моллюск (*Colletopterum ponderosum sedakovi*) универсальный биоиндикатор загрязнения бассейна озера Байкал стойкими органическими загрязнителями // Инженерная экология. 2011. N 1. С. 55–63.
 17. *Цыдыпов Б. З., Андреев С. Г., Аюржанаев А. А., Содномов Б. В., Гуржапов Б. О., Батоцыренов Э. А., Павлов И. А., Ширеторова В. Г., Ульзетуева И. Д., Габеева Д. А., Раднаева Л. Д., Гармаев Е. Ж.* Влияние сбросов Гусиноозерской ГРЭС на термический и гидрохимический режим озера Гусиное // Известия Иркутского государственного университета. 2017. Т.22. С. 135–150.
 18. *Чебунина Н. С., Пахахинова З. З., Бешенцев А. Н., Батоев В. Б.* Оценка влияния сброса теплых вод Гусиноозерской ГрЭС на динамику ледового режима озера Гусино (Западное Забайкалье) // Научный журнал КубГАУ, 2016. № 116 (02). С. 1–8.
 19. *Шашуловский В. А., Мосияш С. С.* Формирование биологических ресурсов Волгоградского водохранилища в ходе сукцессии его экосистемы. М.: Т-во научных изданий КМК. 2010. 250 с.
 20. *Шевелева Н. Г., Зайцева Е. П.* Зоопланктон озера Гусиное в зоне влияния Гусиноозерской ГРЭС // Вода: химия и экология. 2015. № 5. С. 41–46.
 21. *Ширеторова В. Г., Раднаева Л. Д., Базаржапов Ц. Ж., Тулохонов А. К., Ли Ц., Донг С.* Химический состав вод озера Гусиное – водоема-охладителя Гусиноозерской ГРЭС//

- Актуальные проблемы экологии и природопользования. Сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции: в 2 томах. Москва: Российский университет дружбы народов. 2019. С. 359-364.
22. *Ширапова Г. С., Устюжина Н. С., Рабина О. А., Вялкова А. И., Морозов С. В., Батоев В. Б.* Загрязнение хлорорганическими пестицидами и полихлорированными бифеналами бассейна озера Байкал: озеро Гусиное // *Химия в интересах устойчивого развития*. 2013. № 21. С. 197–205.
 23. *Экология озера Гусиное* / под ред. Борисенко И. М., Пронин Н. М. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН. 1994. 199 с.
 24. *Debén S., Aboal J. R., Giráldez P., Varela Z., Fernández J. A.* Developing a Biotechnological Tool for Monitoring Water Quality: In Vitro Clone Culture of the Aquatic Moss *Fontinalis anti-pyretica* // *Water*. 2019. Vol. 11(1). P. 145. <https://doi.org/10.3390/w11010145>
 25. *Gecheva, G., Yurukova, L.* Water pollutant monitoring with aquatic bryophytes: a review // *Environ Chem Lett*. 2014. Vol. 12. P. 49–61. <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0429-z>
 26. *Grinberga L., Springe. G.* Potential impact of climate change on aquatic vegetation of river Salaca, Latvia // *Proc. of the Latvian Academy of Sciences*. 2008. Vol. 62. P. 34–39. <https://doi.org/10.2478/v10046-008-0011-4>
 27. *Kufel L., Kufel I.* Chara beds acting as nutrient sinks in shallow lakes – a review // *Aquatic Botany*. 2002. Vol. 72, № 3–4. P. 249–260. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(01\)00204-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00204-2)
 28. *Lambert S. J. Davy A. J.* Water quality as a threat to aquatic plants: discriminating between the effects of nitrate, phosphate, boron and heavy metals on charophytes // *New Phytologist*. 2011. N 189. С. 1051–1059. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03543.x>
 29. *Madsen D. J., Wersal M. R., Tyler M., Gerard P.* The distribution and abundance of aquatic macrophytes in Swan lake and Middle lake, Minnesota // *J. Fresh. Ecol*. 2006. Vol. 21. P. 421–429. <https://doi.org/10.1080/02705060.2006.9665019>
 30. *Pukacz A, Pełechaty M, Pełechata A.* The relation between charophytes and habitat differentiation in temperate lowland lakes // *Polish journal of ecology*. 2013. Vol. 61 (1). P. 105–118.
 31. *Rip W. J., Ouboter M. R. L., Los H. J.* Impact of climatic fluctuations on Characeae biomass in a shallow, restored lake in The Netherlands // *Hydrobiologia*. 2007. Vol. 584 (1). P. 415–424. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6399-2_37
 32. *Schneidera S. C., Garcíab A., Martín-Closasc C, Chivash A. R.* The role of charophytes (Charales) in past and present environments: An overview // *Aquatic Botany*. 2015 .Vol.120. P. 2–6. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.10.001>
 33. *Tsydenova B. V., Dagurova O. P., Garankina V. P., Dambaev V. B., Matafonov D. V., Baturina O. A.* Abundance and taxonomic composition of bacterioplankton in freshwater Lake Gusi-noye (Buryatia) in the warm water zone of the Gusinoozerskaya thermal power plant. // *J. Sib. Fed. Univ. Biol*. 2018. N 11 (4). P. 356–366. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0078>

**Assessment of Lake Gusinoe Ecosystem
Based on Macrophyte Analysis
(Republic of Buryatia)**

B. B. Bazarova

*Institute of Natural Resources Ecology and Cryology SB RAS
E-mail: balgit@mail.ru*

Lake Gusinoe is the largest lake in the Baikal natural territory after Lake. Baikal, around which the Gusnoozersky industrial complex is formed. In the macrophyte flora of the lake. 27 species from 21 families have been identified. The spatial structure of vegetation is determined by the morphometric characteristics of the lake's littoral zone. The northern and southern sectors of the lake are the most overgrown. Compared to previous years of research, an increase in the area of charophyte and moss thickets was revealed. The progressive overgrowing of the lake helps to maintain the processes of self-purification of the ecosystem, removes pollutants and nutrients from circulation and ensures the sustainable development of the ecosystem. The ability of the lake ecosystem to maintain the overall level of productivity due to restructuring of the structure is also evidenced by data on other communities of hydrobionts (zooplankton, zoobenthos and ichthyocenoses). The results of our studies of the chemical composition of macrophytes of Lake. Gusinoe showed, in comparison with the data of the 90s, the concentrations of chemical elements in macrophytes decreased. The recorded ecological state of the lake is determined by a complex of factors, both natural and natural (water level, temperature rise, littoral morphometry, chemical composition of water).

Keywords: macrophytes, Gusinoe Lake, chemical elements, technogenic, chemical pollution.

REFERENCES

1. Bazarova B. B. Soderzhaniye khimicheskikh elementov v kharovykh vodoroslyakh oz. Kenon // Voda: khimiya i ekologiya. 2013. № 11. S. 54–60.
2. Bazarova B. B., Kuklin A. P. O sovremennom sostoyanii i mnogoletney dinamike flory i rastitel'nosti ozera Gusinoe (Respublika Buryatiya) // Ekosistemy. 2021. № 25. S. 72–81 <https://doi.org/10.18411/2414-4738-2021-25-72-81>
3. Bobkova Ye. A., Imetkhenov A. B. Vliyaniye stochnykh vod g. Gusinoozersk na ikhtiofaunu oz. Gusinoe // Vestnik NG U. 2011. № 3(34). S.176–181.
4. Bogdanov V. T. Gidrokhimicheskoye sostoyaniye vod ozera Gusinoe // Gidrokhimiya rek i ozer v usloviyakh rezko kontinental'nogo klimata. Vladivostok: DVNTS AN SSS R. 1977. S. 113-123.
5. Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii ozera Baykal i merakh po yego okhrane v 2022 godu». – Irkutsk: FGBUN Institut geografii im. V. B. Sochavy SO RAN, 2023. 372 s.
6. Gusinoozerskaya ekspeditsiya P. S. Mikhno 1927 g. (Dinamika prirodnykh kompleksov Gusinoozerskoy kotloviny i aspekty kul'turnogo naslediya Selenginskogo srednegor'ya) / pod red. E. A. Batotsyrenova. Ulan-Ude: EKOS, 2016. 168 s.
7. Dugaro ZH. N., Burdukovskaya T. G., Batuyeva M. D., Baldanova D. R., Sonduyeva L. D., Zhepkholova O. B., Mazur O.Ye. Izmeneniya vidovogo sostava parazitov okunya Perca fluviatilis oz. Gusinoe (basseyn oz. Baykal) vsledstviye depressii i posleduyushchego vosstanovleniya chislennosti khozyaina // Ekologiya. 2018. № 3. S. 220–224. <https://doi.org/10.1134/S1067413618030037>

8. Dugarov ZH. N., Pronin N. M. Raznoobraziye fauny i dinamika vidovogo bogatstva i dominirovaniya v soobshchestvakh parazitov v vozrastnom ryadu rechnogo okunya Perca fluviatilis // *Ekologiya*. 2017. № 1. S. 20–27. <https://doi.org/10.7868/S0367059716060044>
9. Kozhov M. M. Presnyye vody Vostochnoy Sibiri: (basseyn Baykala, Angary, Vitima, verkhnego techeniya Leny i Nizhney Tunguski). Irkutsk: Irkut. obl. gos. izd-vo, 1950. 368 s.
10. Matafonov D. V., Bazova N. V. Novyy podkhod k organizatsii seti stantsiy dlya monitoringa ozornykh vodoyemov Buryatii po organizmam makrozoobentosa: pervyye rezul'taty primeneniya i analiz prostranstvennogo raspredeleniya amfipod v ozorakh Yeravninskoy sistemy kak primer yego realizatsii // *Izvestiya IG U. Seriya «Biologiya. Ekologiya»*. 2018. T. 24. S. 86–10. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.86>
11. Matveyev A. N., Yur'yev A. L., Samusenok V. P., Vokin A. I., Samusenok I. V. Izmeneniye sostava ikhtiofauny oz. Gusinoye (vodoyema-okhladitelya Gusinoozerskoy GRES) i roli v ney chuzherodnykh vidov // *Ekologiya vodoyemov-okhladiteley energeticheskikh stantsiy: sb. materialov Vseros. nauch.-prakt. konf. s mezhdunar. uchastiyem*. Chita: ZaBG U. 2017. S. 340–345.
12. Moruzi I. V., Pishchenko Ye. V., Nekrasov A. S. Biologicheskkiye resursy ozera Gusinoye Selenginskogo rayona Respubliki Buryatiya // *Vestnik NGA U*. 2016. № 4. S. 48–55.
13. Obyazov V. A. Izmeneniya sovremennogo klimata i otsenka ikh posledstviy dlya prirodnykh i prirodno-antropogennykh sistem Zabaykal'ya. Kazan': avtoreferat na soisk. uch. st. d.g.n., 2014. 38 s.
14. Semernoy V. P., Matafonov D. V., Bazova N. V. Fauna i prostranstvennoye raspredeleniye maloshchetinkovykh chervey (Annelida: Oligochaeta) v ozere Gusinoye (basseyn ozera Baykal) // *Izvestiya IG U. Ser.: Biologiya. Ekologiya*. 2014. T. 10. S. 92–107.
15. Ul'zetuyeva I. D., Khakhinov V. V., Namsarayev B. B., Zvontsov I. V. Gusinoye ozero kak indikator zagryazneniya akvatorii Baykala // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2001. № 9. S. 30–31.
16. Utyuzhnikova N. S., Shirapova G. S., Chernyak Ye. I., Vyalkov A. I., Morozov S. V., Batoyev V. B. Dvustvorchatyy mollyusk (Collepteron ponderosum sedakovi) universal'nyy bioindikator zagryazneniya basseyna ozera Baykal stoykimi organicheskimi zagryaznitelyami // *Inzhenernaya ekologiya*. 2011. № 1. S. 55–63.
17. Tsydyypov B. Z., Andreyev S. G., Ayurzhanayev A. A., Sodnomov B. V., Gurzhapov B. O., Batotsyrenov E. A., Pavlov I. A., Shiretorova V. G., Ul'zetuyeva I. D., Gabeyeva D. A., Radnayeve L. D., Garmayev Ye. ZH. Vliyaniye sbrosov Gusinoozerskoy GRES na termicheskyy i gidrokhimicheskyy rezhim ozera Gusinoye // *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2017. T. 22. S. 135–150.
18. Chebunina N. S., Pakhakhinova Z. Z., Beshentsev A. N., Batoyev V. B. Otsenka vliyaniya sbrosa teplykh vod Gusinoozerskoy GRES na dinamiku ledovogo rezhima ozera Gusinogo (Zapadnoye Zabaykal'ye) // *Nauchnyy zhurnal KubGAU*, 2016. № 116 (02). S.1–8.
19. Shashulovskiy V. A., Mosiyash S. S. Formirovaniye biologicheskikh resursov Volgogradskogo vodokhranilishcha v khode suksessii yego ekosistemy. M.: T-vo nauchnykh izdaniy KM K. 2010. 250 s.
20. Sheveleva N. G., Zaytseva Ye. P. Zooplankton ozera Gusinoye v zone vliyaniya Gusinoozerskoy GRES // *Voda: khimiya i ekologiya*. 2015. № 5. S. 41–46.
21. Shiretorova V. G., Radnayeve L. D., Bazarzhapov T. S., Tulokhonov A. K., Li T. S., Dong S. Khimicheskyy sostav vod ozera Gusinoye - vodoyema-okhladitelya Gusinoozerskoy GRES // *Aktual'nyye problemy ekologii i prirodopol'zovaniya. Sbornik nauchnykh trudov XX Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 2 tomakh*. Moskva: Rossiyskiy universitet druzhby narodov. 2019. S.

22. Shirapova G. S., Ustyuzhina N. S., Rabina O.A., Vyalkova A. I., Morozov S. V., Batoyev V. B. Zagryazneniye khlorganicheskimy pestitsidami i polikhlorirovannymi bifenalami basseyna ozera Baykal: ozero Gusinoe // *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2013. № 21. S. 197–205.
23. *Ekologiya ozera Gusinoe / pod red. Borisenko I. M., Pronin N. M. Ulan-Ude: Izd-vo BNTS SO RA № 1994*. 199 s.
24. Debén S., Aboal J. R., Giráldez P., Varela Z., Fernández J. A. Developing a Biotechnological Tool for Monitoring Water Quality: In Vitro Clone Culture of the Aquatic Moss *Fontinalis anti-pyretica* // *Water*. 2019. Vol. 11(1). P. 145. <https://doi.org/10.3390/w11010145>
25. Gecheva, G., Yurukova, L. Water pollutant monitoring with aquatic bryophytes: a review // *Environ Chem Lett*. 2014. Vol. 12. P. 49–61. <https://doi.org/10.1007/s10311-013-0429-z>
26. Grinberga L., Springe. G. Potential impact of climate change on aquatic vegetation of river Salaca, Latvia // *Proc. of the Latvian Academy of Sciences*. 2008. Vol. 62. P. 34–39. <https://doi.org/10.2478/v10046-008-0011-4>
27. Kufel L., Kufel I. Chara beds acting as nutrient sinks in shallow lakes – a review // *Aquatic Botany*. 2002. Vol. 72, № 3–4. P. 249–260. [https://doi.org/10.1016/S0304-3770\(01\)00204-2](https://doi.org/10.1016/S0304-3770(01)00204-2)
28. Lambert S. J. Davy A. J. Water quality as a threat to aquatic plants: discriminating between the effects of nitrate, phosphate, boron and heavy metals on charophytes // *New Phytologist*. 2011. № 189. C. 1051–1059. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2010.03543.x>
29. Madsen D. J., Wersal M. R., Tyler M., Gerard P. The distribution and abundance of aquatic macrophytes in Swan lake and Middle lake, Minnesota // *J. Fresh. Ecol*. 2006. Vol. 21. P. 421–429. <https://doi.org/10.1080/02705060.2006.9665019>
30. Pukacz A, Pełechaty M, Pełechata A. The relation between charophytes and habitat differentiation in temperate lowland lakes // *Polish journal of ecology*. 2013. Vol. 61 (1). P. 105–118.
31. Rip W. J., Ouboter M. R. L., Los H. J. Impact of climatic fluctuations on Characeae biomass in a shallow, restored lake in The Netherlands // *Hydrobiologia*. 2007. Vol. 584 (1). P. 415–424. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-6399-2_37
32. Schneidera S. C., Garcíab A., Martín-Closasc C, Chivasb A. R. The role of charophytes (Charales) in past and present environments: An overview // *Aquatic Botany*. 2015 .Vol. 120. P. 2–6. <https://doi.org/10.1016/j.aquabot.2014.10.001>
33. Tsydenova B. V., Dagurova O. P., Garankina V. P., Dambaev V. B., Matafonov D. V., Baturina O. A. Abundance and taxonomic composition of bacterioplankton in freshwater Lake Gusinoe (Buryatia) in the warm water zone of the Gusinoozerskaya thermal power plant. // *J. Sib. Fed. Univ. Biol*. 2018. № 11 (4). P. 356–366. <https://doi.org/10.17516/1997-1389-0078>