

УДК 574.51

НЕКОТОРЫЕ СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ СОЛЕННЫХ ОЗЕР

А. Н. Егоров^{1*}, Д. Д. Яскеляйнен², Е. С. Задереев^{2,3}

¹ Институт озераведения РАН, СПб ФИЦ РАН (ул. Севастьянова, 9, Санкт-Петербург, Россия, 196105), *alex6-1@mail.ru

² Сибирский федеральный университет (пр. Свободный, 79, Красноярск, Красноярский край, Россия, 660041)

³ Институт биофизики СО РАН, ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН» (Академгородок, 50/50, Красноярск, Красноярский край, Россия, 660036)

Представлены некоторые вопросы современного состояния и проблемы изучения соленых озер, которые широко распространены на Земле и при этом менее изучены, чем пресные водоемы. На основе анализа материалов Международного общества по исследованию соленых озер выявлены глобальные тенденции в изучении этих экосистем: рост публикационной активности исследователей из Китая и России при сохранении лидерства США и Австралии, а также преобладание описательных и региональных исследований. Определены ключевые современные исследовательские тренды: переход от концепции критической солености к изучению функциональной перестройки озерных экосистем, анализ каскадных эффектов при изменении солености, исследование альтернативных устойчивых состояний. Выделены перспективные направления, включая изучение влияния ионного состава, биогеохимии углерода, оценку экосистемных услуг и разработку прогнозных моделей. Особое внимание уделено ресурсному потенциалу соленых озер (минеральному, биологическому, бальнеологическому) и методологическим вызовам, связанным с проблемой вторичного засоления пресных вод. Подчеркнута необходимость междисциплинарного подхода для устойчивого управления этими уникальными экосистемами в условиях антропогенных изменений.

Ключевые слова: соленые озера; исследовательские тренды; критическая соленость; трофическая сеть; альтернативные состояния

Для цитирования: Егоров А. Н., Яскеляйнен Д. Д., Задереев Е. С. Некоторые современные проблемы изучения соленых озер // Труды Карельского научного центра РАН. 2025. № 6. С. 5–16. doi: 10.17076/lim1946

Финансирование. Исследования Е. С. Задереева выполнены в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № FWES-2024-0024).

A. N. Egorov^{1*}, D. D. Yaskelyaynen², E. S. Zadereev^{2,3}. CURRENT CHALLENGES IN THE STUDY OF SALT LAKES

¹ Institute of Limnology, Russian Academy of Sciences (9 Sevastyanova St., 196105 St. Petersburg, Russia), *alex6-1@mail.ru

² Siberian Federal University (79 Svobodnyi Ave., 660041 Krasnoyarsk, Russia)

³ Institute of Biophysics, Krasnoyarsk Research Center, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (50/50 Akademgorodok, 660036 Krasnoyarsk, Russia)

This paper addresses current issues and challenges in the study of saline lakes, which are widespread globally yet remain less studied than freshwater bodies. Based on an analysis of materials from the International Society for Salt Lake Research, global trends in the study of these ecosystems were identified: growing publication activity from researchers in China and Russia while the United States and Australia retain leadership, along with a predominance of descriptive and regional studies. Key latest research trends were determined: a shift from the concept of critical salinity towards studying functional ecosystem restructuring, analysis of cascade effects under changing salinity, and investigation of alternative stable states. Promising research directions are outlined, including the study of ion composition influence, carbon biogeochemistry, assessment of ecosystem services, and development of predictive models. Particular attention is given to the resource potential of saline lakes (mineral, biological, balneotherapeutic) and the methodological challenges associated with freshwater salinization issues. The necessity of an interdisciplinary approach for sustainable management of these unique ecosystems under anthropogenic changes is emphasized.

Keywords: saline lakes; research trends; critical salinity; food web; alternative states

For citation: Egorov A. N., Yaskelyaynen D. D., Zadereev E. S. Current challenges in the study of salt lakes. *Trudy Karelskogo nauchnogo tsentra RAN = Transactions of the Karelian Research Centre RAS*. 2025. No. 6. P. 5–16. doi: 10.17076/lim1946

Funding. Studies by E. Zadereev were carried out under state assignment from the Ministry of Science and Higher Education Russia (project #FWES-2024-0024).

Введение

Континентальные соленые озера, располагающиеся преимущественно в бессточных бассейнах аридных и семиаридных зон, являются широко распространенным глобальным явлением [Williams, 1996]. К числу наиболее крупных и изученных подобных природных объектов относятся Каспийское и Аральское моря, Мертвое море, озера Эльтон, Баскунчак, Иссык-Куль в Евразии; Большое Соленое озеро и озеро Моно в Северной Америке; озеро Мар-Чикита в Южной Америке; озеро Туркана в Африке; озеро Эри в Австралии. На долю соленых озер приходится до 45 % объема вод континентальных водоемов мира [Messenger et al., 2016]. В России они образуют обширные скопления в пределах евразийского степного пояса, простирающегося от Предкавказья до Забайкалья [Zadereev et al., 2020]. Важнейшей особенностью этих водоемов являются значительные многолетние и сезонные флуктуации уровня воды и солености, обусловленные их высокой чувствительностью к изменениям гидрологического режима и климатическим колебаниям [Wurtsbaugh et al., 2017].

Соленость озерных вод варьирует в широких пределах – от менее 0,1 до свыше 500 г/л [Williams, 1998]. Согласно одной из распространенных классификаций [Zheng, 1997], по общей солености озера подразделяются на пресные (< 1 г/л), солоноватоводные (1–35 г/л), соленые (> 35 г/л) и гиперсоленые (> 50 г/л). Принципиальное значение имеет разделение на талассные водоемы (с морской водой, имеющие связь с океаном, например лагуны) и аталассные (континентальные, расположенные в замкнутых бессточных бассейнах) [Oren, 2006]. Последние дополнительно классифицируются по степени солености, ионному составу (содовые, сульфатные, хлоридные), гидрологическому режиму (постоянные, временные) и генезису (тектонические, карстовые и др.) [Comin, Williams, 1994; Zadereev, 2018]. Существующие системы классификации отличаются сложностью и отсутствием единого подхода. В новой глобальной типологии экосистем Международного союза охраны природы (МСОП) (<https://global-ecosystems.org/>) континентальные соленые водоемы (соленость > 1 г/л) отнесены к типам «Постоянные соленые и содовые озера» (F2.6) и «Эфемерные соленые озера» (F2.7), а прибрежные – к «Периодически

закрытым и открытым озерам и лагунам» (FM1.3) [Keith et al., 2022]. В данной статье под солеными озерами понимаются континентальные водоемы с соленостью выше 1 г/л, расположенные в бессточных бассейнах [Coming, Williams, 1994; Егоров, Космаков, 2010; Zadereev, 2018].

Анализ исследовательских трендов на основе результатов работы Международного общества по исследованию соленых озер

Созданное в 2001 году Международное общество по исследованию соленых озер (International Society for Salt Lake Research, <http://isslr.org/>) объединяет несколько сотен ученых и практиков, заинтересованных в изучении, использовании и охране соленых озер. Несмотря на то что общество было создано в 2001 году, международные номерные конференции по соленым озерам проходят каждые три года. Всего с 1979 года по настоящее время состоялось пятнадцать таких конференций (2024 г. Турция, 2021 г. Испания (онлайн), 2017 г. Россия, 2014 г. Китай, 2011 г. Аргентина, 2008 г. США,

2005 г. Австралия, 2002 г. Россия, 1999 г. США, 1994 г. Китай, 1991 г. Боливия, 1988 г. Испания, 1985 г. Кения, 1982 г. Канада, 1979 г. Австралия). Подробная информация о проведенных конференциях и ссылки на опубликованные специальные выпуски рецензируемых журналов с избранными статьями, в которых представлены результаты исследований соленых озер, доступны на сайте общества (<http://isslr.org/conferences/>). Безусловно, эти научные мероприятия объединяют не всех мировых исследователей, ведущих работы на соленых озерах. Однако можно предположить, что представляемые на конференциях сведения формируют понимание мировой научной активности в этой области исследований.

Анализ динамики аффилиаций по странам среди авторов статей в специальных выпусках журналов по итогам этих конференций (рис. 1) показал, что более 90 % аффилиаций в 271 опубликованной в спецвыпусках статье принадлежат 10 странам: США – 29 %, Австралия – 19 %, Россия – 13 %, Китай – 9 %, Канада – 7 %, Мексика – 4 %, Испания – 4 %, Израиль – 4 %, Германия – 1 %, Индия – 1 %. Причем на долю

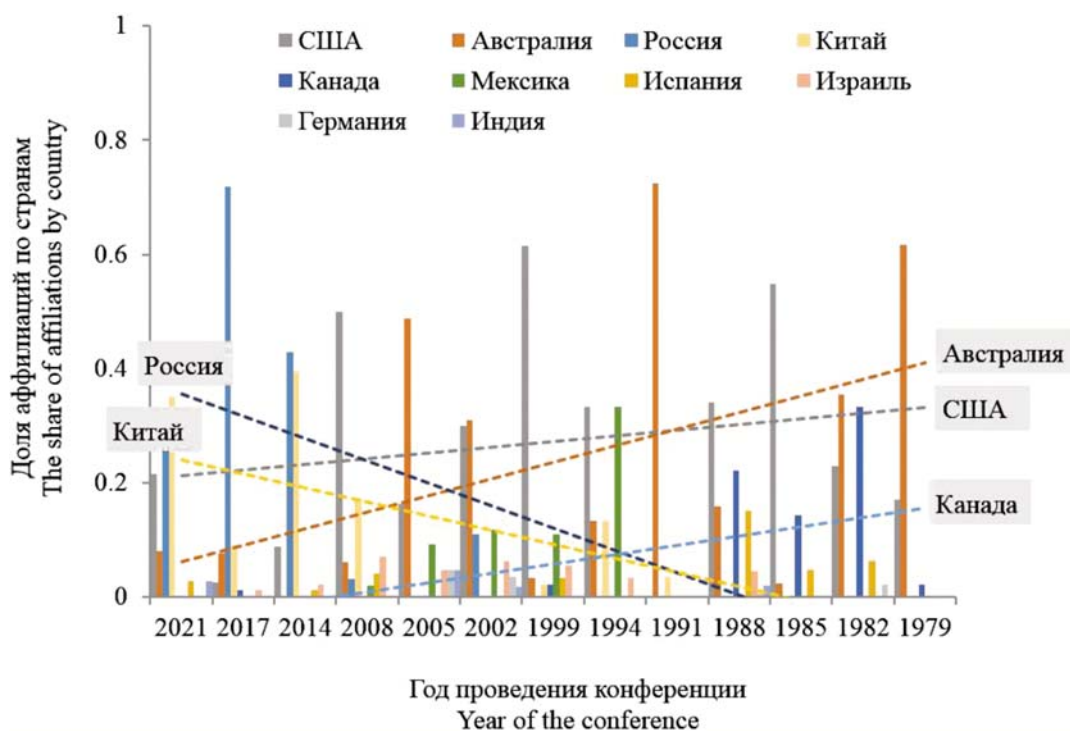


Рис. 1. Динамика доли аффилиаций по странам (10 наиболее часто встречающихся стран) авторов статей в специальных выпусках журналов по итогам международных конференций по исследованию соленых озер. Линейные тренды приведены для первых пяти стран (США, Австралия, Россия, Китай, Канада)

Fig. 1. Dynamics of the share of affiliations by country (10 most frequent countries) of authors of papers in special issues following the International Conferences on Salt Lake Research. Linear trends are given for the five most frequent countries (USA, Australia, Russia, China, and Canada)

первых пяти стран приходится практически 78 % всех аффилиаций. Временная динамика доли аффилиаций по странам авторов статей в спецвыпусках этих конференций демонстрирует смену лидеров. В первые годы доминировали исследователи из США, Австралии (стоит отметить, что идеологом и основателем общества можно считать известного австралийского лимнолога Билла Вильямса (Bill Williams, <http://isslr.org/about/bill-williams-award/>)) и Канады (до 90 % аффилиаций в отдельные годы). В последнее время (2014–2021 гг.) на ведущие роли по количеству аффилиаций в спецвыпусках журналов вышли исследователи из Китая и России. Период с 1994 по 2008 г. характеризовался наибольшим разнообразием, когда на прочие страны приходилось около 50 % аффилиаций. Как отмечено выше, спецвыпуски данной конференции не являются точным отражением текущего распределения научной активности в мире по исследованию соленых озер. Однако они характеризуют показательный тренд, в частности, увеличение роли научного сектора Китая, который достаточно универсален и для других областей науки [Xie et al., 2014].

Контент-анализ заголовков статей в этих спецвыпусках (табл.) показал, что в заголовках 271 опубликованной статьи используется 1106 уникальных слов. Среднее количество уникальных слов на один заголовок со временем увеличивается (с 4 слов в статьях, опубликованных в 1979–1988 годах, до почти 6 слов в статьях 2008–2021 годов), что может свидетельствовать об усложнении исследований. Все уникальные слова в заголовках статей относятся к 4 категориям: «озеро», «солёность», «география», «экология». Частотность использования слов из разных категорий практически не меняется со временем: чаще всего в заголовках используются «географические», характеризующие местоположение исследуемого объекта (озера) слова. Доминирование слов, напрямую связанных с описанием озера, говорит о том, что чаще всего публикуемые в этих спецвыпусках статьи носят описательный, фаунистический или региональный характер.

Основные тенденции и перспективные направления исследований соленых озер

Солёность воды и видовое разнообразие гидробионтов в соленых озерах тесно взаимосвязаны, и в целом разнообразие уменьшается с ростом солёности [Williams et al., 1990]. Однако эта зависимость нелинейна и опосредована как комплексом стрессоров, связанных с солёностью (экстремальными температурами,

гипоксией, высокой инсоляцией и резкой изменчивостью гидрологического режима [Ануфриева, Шадрин, 2023]), так и с действием факторов, в равной степени важных для функционирования и пресноводных экосистем (био-генная нагрузка, особенности температурной стратификации, географические особенности).

Исторически для описания реакции водных организмов на солёность оперировали понятием критической солёности, обоснованным В. В. Хлебовичем на определенных таксономических группах [Хлебович, 1974, 2015]. Однако современные работы, в том числе российских исследователей, выявляют серьезные исключения из этих обобщений [Telesh et al., 2013; Скарлато, Телеш, 2017]. Более того, активно дискутируется важный вклад стохастичности в формирование альтернативных устойчивых состояний экосистем соленых озер, что делает их отклик на изменение солёности сложно предсказуемым [Shadrin, 2018]. Таким образом, акцент смещается с поиска универсальных критических солёностей, ориентированных на биоразнообразие, на изучение общих закономерностей функциональной и структурной перестройки всей экосистемы, включая потоки вещества и энергии в трофических сетях. Это предполагает количественную оценку изменения продуктивности, эффективности передачи энергии и метаболизма системы.

Поскольку уровень воды в бессточных озерах определяется балансом притока (поверхностного и подземного стока) и испарения, изменение интенсивности этих процессов (например, сокращение стока из-за засухи или забора воды на другие нужды в пределах водосборного бассейна или увеличение испарения из-за роста температуры) способно приводить к значительным колебаниям уровня воды и, как следствие, к резким скачкам солёности. Это сказывается на видовом составе и обилии биоты, поскольку большинство видов адаптировано к определенному диапазону солёности [например, Aladin, 1991]. Так, детальное изучение последствий усыхания Аральского моря позволило проследить конкретные этапы трансформации: исчезновение пресноводной и морской фауны, доминирование эвригаллиных видов (рачки *Moina*, *Halicyclops*, личинки хирономид), а при солёности выше 60–80 г/л – крайнее обеднение биоценоза с доминированием бактерий, одноклеточных водорослей и рачка *Artemia* [Aladin et al., 2019].

Качественный скачок в понимании механизмов функционирования соленых озер связан со сравнительными исследованиями озерных систем-градиентов, в частности в степных

Списки, количество (N) и частота использования уникальных слов по категориям (C) («озеро» (l), «соленость» (s), «география» (g), «экология» (e)) в заголовках статей в специальных выпусках журналов международных конференций по исследованию соленых озер

Lists, total use (N) and frequency of the use of unique words by category (C) (*lake* (l), *salinity* (s), *geography* (g), *ecology* (e)) in the titles of papers in special issues of International Conferences on Salt Lake Research

1979–2021			2008–2021			1991–2005			1979–1988		
Список слов List of words	N	C	Список слов List of words	N	C	Список слов List of words	N	C	Список слов List of words	N	C
Lake	116	l	Lake	44	l	Lake	28	l	Lake	44	l
Lakes	76	l	Salt	31	s	Salt	20	s	Lakes	36	l
Salt	66	s	Lakes	26	l	Australia	15	g	Saline	33	s
Saline	62	s	Saline	18	s	California	14	g	Salt	15	s
Salinity	27	s	Great	12	g	Lakes	14	l	Australia	9	g
Australia	25	g	Microbial	9	e	Salinity	13	s	Salinity	9	s
Sea	23	l	USA	9	g	Sea	12	g	Western	7	g
California	22	g	Diversity	8	e	Saline	11	s	Distribution	7	e
Hypersaline	21	s	Water	8	l	Salton	10	g	Chemistry	7	e
Western	19	g	Sea	8	g	Hypersaline	9	s	California	6	g
Microbial	17	e	Utah	8	g	Western	7	g	Nevada	6	g
Water	17	l	Hypersaline	7	s	Water	7	l	Mono	6	g
Great	17	g	China	6	g	Inland	6	g	Benthic	6	e
Communities	15	e	Russia	5	g	Zooplankton	5	e	Australian	6	g
Distribution	14	e	Brine	5	s	Study	5	e	Ecology	5	e
USA	13	g	Salinity	5	s	Fish	5	e	Meromictic	5	l
Waters	12	l	Communities	5	e	Microbial	5	e	Pyramid	5	g
Brine	12	s	Western	5	g	Communities	5	e	Abundance	5	e
Inland	11	g				South	5	g	Waters	5	l
Utah	11	g							Hypersaline	5	s
Chemistry	11	e							South	5	g
Diversity	11	e							Brine	5	s
South	11	g							communities	5	e
Study	10	e									
Mono	10	g									
Production	10	e									
Meromictic	10	l									
Salton	10	g									
dynamics	10	e									

Частота (%) использования уникальных слов по категориям (l/s/g/e)
The frequency (%) of the use of unique words of different categories l/s/g/e)

28 (e)	17	26	26
34 (g)	39	27	37
17 (s)	28	21	22
21 (l)	17	16	17
Всего заголовков статей Total number of paper titles			
271	100	76	95
Число уникальных слов на заголовки Number of unique words per title			
4,1	5,9	5,7	4,0

озерах Забайкалья, Северной Америки, юга Сибири, Крыма, на Тибете и в Средней Азии [Cooper, Wissel, 2012; Lin et al., 2017; Golubkov et al., 2018; Afonina, Tashlykova, 2020; Zsuga et al., 2021; Zadereev et al., 2022a]. В целом изменение солёности вызывает каскадные перестройки в трофической сети. При превышении пределов устойчивости происходит замещение чувствительных видов (например, многих рыб и ветвистоусых ракообразных) более эвригалными формами (веслоногие ракообразные, личинки насекомых, беспозвоночные хищники). Это напрямую влияет на характер трофических связей: смена доминантов-фильтраторов (с неселективных Cladocera на селективных Copepoda) меняет давление выедания на фитопланктон [Ger et al., 2019], а исчезновение рыбы и замещение ее беспозвоночными хищниками может усиливать каскадные эффекты, нисходящим путем регулируя численность нижестоящих трофических уровней [Shadrin et al., 2021]. В результате структурная перестройка сообщества приводит к изменению эффективности переноса вещества и энергии в экосистеме, часто влияя на общую продуктивность [Golubkov et al., 2018; Moffett et al., 2020].

В отличие от пресноводной лимнологии, где разработаны концептуальные (например, PEG-модель сезонной сукцессии планктона [Sommer et al., 1986], авторы которой сами в качестве ее недостатков отмечают излишний универсализм и неспособность адекватно предсказать поведение конкретной экосистемы [Sommer et al., 2012]) и обладающие большей предсказательной силой математические [Меншуткин, 2010; Mooij et al., 2010] модели, для солёных озёр аналогичные обобщения только начинают формироваться (рис. 2). При этом предложенные концептуальные схемы трансформации трофической сети с ростом солёности пока остаются неполными. В частности, слабо изучено, как под действием солёности модифицируется сила каскадных эффектов. На их выраженность, с одной стороны, влияет изменение видового состава зоопланктона, а с другой – исчезновение рыб и их замещение беспозвоночными хищниками, причем оба процесса носят пороговый характер. Также активно обсуждается концепция альтернативных устойчивых состояний. Если для пресных озёр альтернативные устойчивые состояния определяются дихотомией «прозрачная вода с доминированием макрофитов» / «мутная вода с доминированием фитопланктона» [Janssen et al., 2014], то в солёных озёрах их спектр шире и включает состояния с доминированием микробных

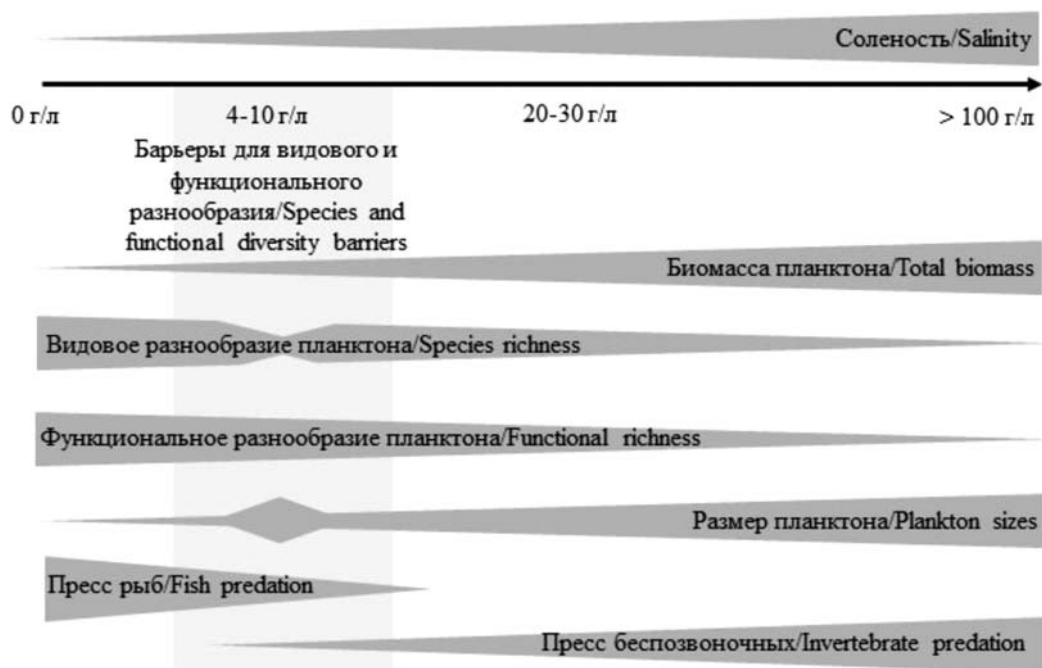
петель или макробеспозвоночных, полное понимание которых еще не достигнуто.

К числу перспективных направлений относится изучение эффектов солёности на функциональные характеристики организмов, такие как скорости и селективность питания зоопланктона [Zadereev et al., 2022b], что напрямую сказывается на размерной структуре фитопланктона, которая также зависит от плотности и вязкости воды, изменяющихся с солёностью [Zohary et al., 2017; Naselli-Flores et al., 2021]. Отдельной темой является изучение влияния не просто солёности, моделируемой NaCl, а специфического ионного состава [Cunillera-Montcusí et al., 2022], где натурные исследования на близкорасположенных озёрах с различным ионным составом и концентрацией растворённых солей (например, содовые озёра Забайкалья, сульфатно-магниевого озёра юга Сибири и другие) являются перспективным объектом для получения новых знаний.

Существенный пробел присутствует в понимании роли химического состава и pH, связанного с карбонатной системой, в биогеохимическом цикле углерода. Это требует изучения взаимодействия геохимии и живого вещества для получения количественной оценки роли этих процессов. Ярким примером является противоречие в оценках роли озёр как источников или стоков углекислого газа: тогда как расчетные методы указывают на удвоение эмиссии CO₂ из солёных озёр по сравнению с пресными [Duarte et al., 2008], натурные измерения фиксируют и их способность к значительной секвестрации углерода [Li et al., 2022].

Важным прикладным аспектом является оценка экосистемных услуг солёных озёр. За последние годы выполнены оценки количества и относительной важности экосистемных услуг, предоставляемых пресными озёрами [Reynaud, Lanzanova, 2017; Steinman et al., 2017; Sterner et al., 2020]. В отличие от пресных озёр солёные озёра предоставляют иной набор услуг: они критически важны как места остановок мигрирующих птиц, используются для добычи различных солей, все активнее вовлекаются в аквакультуру, являются основой для курортов и туризма [Saccò et al., 2021]. Таким образом, для них характерен отличный от пресных озёр набор услуг, количественная оценка зависимости которого от солёности и экологического состояния практически не проводилась, хотя именно она может стать мостиком к управлению этими водоемами.

Помимо сравнительного подхода (изучение цепочек озёр) в последние годы широко используется мезокосменный подход, позволяющий в контролируемых условиях манипулировать



Важные модифицирующие факторы:

Глубина (голомиктные vs. стратифицированные озера)
 Биогенная нагрузка (олиготрофные vs. эвтрофные озера)
 Ионный состав (содовые, сульфатные, хлоридные озера)
 Географические факторы (например, высокогорные озера, озера в разных климатических зонах)

Important modifying factors:

Depth (polymictic vs. stratified lakes)
 Nutrient load (oligotrophic vs. eutrophic lakes)
 Ionic composition (soda, sulfate, chloride lakes)
 Geographical factors (e.g., high-altitude lakes, lakes in different climatic zones)

Рис. 2. Концептуальная схема реакции озерного планктона и трофической сети на увеличение солености. Схема составлена на основе концептуальных схем, представленных в работах [Cooper, Wissel, 2012; Lin et al., 2017; Gutierrez et al., 2018; Afonina, Tashlykova, 2020, 2024; Zadereev et al., 2020]

Fig. 2. Conceptual scheme of the response of lake plankton and food web to increasing salinity. The scheme is based on the conceptual frameworks presented in [Cooper, Wissel, 2012; Lin et al., 2017; Gutierrez et al., 2018; Afonina, Tashlykova, 2020, 2024; Zadereev et al., 2020]

соленостью [Hébert et al., 2023]. Стимулом для его развития стал интерес к проблеме вторичного засоления пресных вод из-за хозяйственной деятельности и изменения климата [Cunillera-Montcusí et al., 2022]. Однако прогноз последствий засоления для пресных водоемов затруднен, так как уровни солености, при которых наблюдаются изменения, часто ниже тех, что традиционно изучаются в соленых озерах. Кроме того, поведение системы в мезокосмах объемом в несколько кубометров фундаментально отличается от озерной из-за гидродинамических ограничений.

Соленые озера являются и уникальными объектами для палеоолиминологических реконструкций вследствие мощной и выраженной стратиграфии донных отложений, фиксирующих климатические изменения [Last, Ginn, 2005]. Два важных направления остаются за рамками данного анализа, но заслуживают упоминания: исследования уникальных экстремофильных микроорганизмов, имеющие значение для биотехнологий и астробиологии [Oren, 2014], и разработка высокотехнологичных методов промышленного извлечения ценных элементов (литий, уран) из рассолов [Kong et al., 2017].

Таким образом, современные исследования соленых озер переходят от этапа описания к прогностическому. Достижение этой цели требует комплексного подхода, объединяющего гидрологию, биологию и геохимию для количественной оценки функциональных характеристик экосистем и их услуг, что позволит не только расширить фундаментальные знания, но и решить прикладные задачи устойчивого управления этими уникальными водоемами.

Заключение

Соленые озера представляют собой не только уникальные природные объекты, но и критически важные ресурсные системы. Особенности физико-химической и биологической структуры этих водоемов, высокая динамика их эволюции формируют природные ресурсы, потенциал которых чрезвычайно высок и обладает широким спектром: минеральные ресурсы включают различные соли, цеолиты, уран, литий, бром, йод; биологические ресурсы представлены культивацией и добычей ценных водорослей (*Spirulina*, *Dunaliella*) и важнейшей кормовой аквакультуры (представители рода *Artemia*); бальнеологические ресурсы включают целебные грязи; рекреационные ресурсы имеют растущий потенциал. Недостаточная изученность закономерностей формирования взаимообусловленных природных и антропогенных процессов в соленых озерах и их бассейнах, особенностей функционирования их экосистем и формирования природных ресурсов в различных географических зонах привела к значительному отставанию в изученности геоэкологии и природопользования соленых озер по сравнению с масштабами и результатами исследований этих проблем для пресных вод. Набирающая остроту проблема засоления пресных вод в определенной степени стирает существовавшее до последнего времени разделение между исследованиями пресных и соленых водоемов. С одной стороны, соленость может рассматриваться как непрерывная переменная и перед исследователями стоит задача понимания физических, химических, биологических и экологических трансформаций, наблюдаемых в озерах вдоль непрерывного градиента солености. С другой стороны, исследователями выделяются различные пороговые значения солености, связанные как с консервативными механизмами осморегуляции у обитателей водных экосистем, так и с физико-химическими свойствами воды (плотность, вязкость, теплоемкость, растворимость газов в воде, температура замерзания и другие), зависящими от солености. Поиск таких критических значений солености,

понимание роли стохастических процессов и возможностей существования альтернативных состояний у экосистем соленых озер, установление связей между гидрохимическими, гидрофизическими и экологическими характеристиками в градиенте солености и их влияния на социально-экономический и ресурсный потенциал соленых озер составляют актуальную задачу исследователей на ближайшие годы. Решение этих фундаментальных и прикладных задач требует консолидации усилий исследователей разных профилей и является залогом устойчивого управления этими уязвимыми и ценными экосистемами в условиях меняющегося климата и растущего антропогенного давления.

Литература

- Ануфриева Е., Шадрин Н. Жизнь в экстремальной среде. Животные в экосистемах гиперсоленых вод. М.: Т-во науч. изд. КМК, 2023. 185 с.
- Егоров А. Н., Космаков И. В. География и природопользование соленых озер / Отв. ред. Д. А. Бураков, В. С. Кусковский. Новосибирск: Наука, 2010. 179 с.
- Меншуткин В. В. Искусство моделирования (экология, физиология, эволюция). Петрозаводск-СПб.: КарНЦ РАН, 2010. 416 с.
- Скарлато С. О., Телеш И. В. Развитие концепции максимального разнообразия протистов в зоне критической солености воды // Биология моря. 2017. Т. 43, № 1. Р. 3–14.
- Хлебович В. В. Критическая соленость биологических процессов. Л.: Наука, 1974. 236 с.
- Хлебович В. В. Критическая соленость как маркер смены калиевой эпохи развития жизни на натриевую // Успехи современной биологии. 2015. Т. 135, № 1. С. 18–20.
- Afonina E. Y., Tashlykova N. A. Fluctuations in plankton community structure of endorheic soda lakes of southeastern Transbaikalia (Russia) // Hydrobiologia. 2020. Vol. 847, no. 6. P. 1383–1398. doi: 10.1007/s10750-020-04207-z
- Afonina E. Yu., Tashlykova N. A. Structural and functional diversity of plankton communities along lake salinity gradients // Aquat. Ecol. 2024. Vol. 58. P. 717–740. doi: 10.1007/s10452-024-10101-w
- Aladin N. V. Salinity tolerance and morphology of the osmoregulation organs in Cladocera with special reference to Cladocera from the Aral Sea // Hydrobiologia. 1991. Vol. 225, no. 1. P. 291–299. doi: 10.1007/BF00028407
- Aladin N. V., Gontar V. I., Zhakova L. V., Plotnikov I. S., Smurov A. O., Rzymiski P., Klimaszuk P. The zoocenosis of the Aral Sea: six decades of fast-paced change // Environ. Sci. Pollut. Res. 2019. Vol. 326, no. 3. P. 2228–2237. doi: 10.1007/s11356-018-3807-z
- Comin F., Williams W. D. Parched continents: our common future? // Ed. R. Margelef. Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems. Amsterdam: Elsevier, 1994. P. 473–527.

- Cooper R. N., Wissel B. Interactive effects of chemical and biological controls on food-web composition in saline prairie lakes // *Aquat. Biosyst.* 2012. Vol. 8. Art. 29. doi: 10.1186/2046-9063-8-29
- Cunillera-Montcusí D., Beklioğlu M., Cañedo-Argüelles M., Jeppesen E., Ptacnik R., Amorim C., Arnott S., Berger S., Brucet S., Dugan H., Gerhard M., Horváth Z., Langenheder S., Nejtgaard J., Reinikainen M., Striebel M., Urrutia-Cordero P., Vad C., Zadereev E., Matias M. Freshwater salinisation: a research agenda for a saltier world // *Trends Ecol. Evol.* 2022. Vol. 37, no. 5. P. 440–453. doi: 10.1016/j.tree.2021.12.005
- Duarte C. M., Prairie Y. T., Montes C., Cole J. J., Striegl R., Melack J., Downing J. A. CO₂ emissions from saline lakes: A global estimate of a surprisingly large flux // *J. Geophys. Res. Atmos.* 2008. Vol. 113. G04041. doi: 10.1029/2007JG000637
- Ger K. A., Naus-Wiezer S., De Meester L., Lüring M. Zooplankton grazing selectivity regulates herbivory and dominance of toxic phytoplankton over multiple prey generations // *Limnol. Oceanogr.* 2019. Vol. 64. P. 1214–1227. doi: 10.1002/lno.11108
- Golubkov S. M., Shadrin N. V., Golubkov M. S., Balushkina E. V., Litvinchuk L. F. Food chains and their dynamics in ecosystems of shallow lakes with different water salinities // *Russian Journal of Ecology.* 2018. Vol. 49, no. 5. P. 442–448. doi: 10.1134/S1067413618050053
- Gutierrez M. F., Tavşanoğlu Ü. N., Vidal N., Yu J., Teixeira-de Mello F., Çakiroğlu A. I., He H., Liu Z., Jeppesen E. Salinity shapes zooplankton communities and functional diversity and has complex effects on size structure in lakes // *Hydrobiologia.* 2018. Vol. 813. P. 237–255. doi: 10.1007/s10750-018-3529-8
- Hébert M. P., Symons C. C., Cañedo-Argüelles M. et al. Lake salinization drives consistent losses of zooplankton abundance and diversity across coordinated mesocosm experiments // *Limnol. Oceanogr. Lett.* 2023. Vol. 8, no. 1. P. 19–29. doi: 10.1002/lol2.10239
- Janssen A. B., Teurlincx S., An S., Janse J. H., Paerl H. W., Mooij W. M. Alternative stable states in large shallow lakes? // *J. Great Lakes Res.* 2014. Vol. 40, no. 4. P. 813–826. doi: 10.1016/j.jglr.2014.09.019
- Keith D. A., Ferrer-Paris J. R., Nicholson E., Bishop M. J., Polidoro B. A., Ramirez-Llodra E., Tozer M. G., Nel J. L., Mac Nally R., Gregr E. J., Watermeyer K. E. A function-based typology for Earth's ecosystems // *Nature.* 2022. Vol. 610, no. 7932. P. 513–518. doi: 10.1038/s41586-022-05318-4
- Kong R., Xue F., Wang J., Zhai H., Zhao L. Research on mineral resources and environment of salt lakes in Qinghai Province based on system dynamics theory // *Resour. Policy.* 2017. Vol. 52. P. 19–28. doi: 10.1016/j.resourpol.2017.01.006
- Last W. M., Ginn F. M. Saline systems of the Great Plains of western Canada: an overview of the limnology and paleolimnology // *Saline Syst.* 2005. Vol. 1. P. 1–38. doi: 10.1186/1746-1448-1-10
- Li X. Y., Shi F. Z., Ma Y. J., Zhao S. J., Wei J. Q. Significant winter CO₂ uptake by saline lakes on the Qinghai-Tibet Plateau // *Glob. Change Biol.* 2022. Vol. 28, no. 6. P. 2041–2052. doi: 10.1111/gcb.16054
- Liu Q., Xu L., Liu Z., Jeppesen E., Han B. P. Responses of trophic structure and zooplankton community to salinity and temperature in Tibetan Lakes: Implication for the effect of climate warming // *Water Res.* 2017. Vol. 124. P. 618–629. doi: 10.1016/j.watres.2017.07.078
- Messager M. L., Lehner B., Grill G., Nedeva I., Schmitt O. Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach // *Nat. Commun.* 2016. Vol. 7, no. 1. P. 13603. doi: 10.1038/ncomms13603
- Moffett E. R., Baker H. K., Bonadonna C. C., Shurin J. B., Symons C. C. Cascading effects of freshwater salinization on plankton communities in the Sierra Nevada // *Limnol. Oceanogr. Lett.* 2020. Vol. 8(1). P. 30–37. doi: 10.1002/lol2.10177
- Mooij W. M., Trolle D., Jeppesen E., Arhonditsis G., Belolipetsky P. V., Chitamwebwa D. B., Degermendzhy A. G., De Angelis D. L., De Senerpont Domis L. N., Downing A. S., Elliott J. A. Challenges and opportunities for integrating lake ecosystem modelling approaches // *Aquat. Ecol.* 2010. Vol. 44, no. 3. P. 633–667. doi: 10.1007/s10452-010-9339-3
- Naselli-Flores L., Zohary T., Padisák J. Life in suspension and its impact on phytoplankton morphology: an homage to Colin S. Reynolds // *Hydrobiologia.* 2021. Vol. 848, no. 1. P. 7–30. doi: 10.1007/s10750-020-04217-x
- Oren A. Halophilic archaea on Earth and in space: growth and survival under extreme conditions // *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.* 2014. Vol. 372, no. 2030. Art. 20140194. doi: 10.1098/rsta.2014.0194
- Oren A. Life at high salt concentrations // *The Prokaryotes.* New York: Springer, 2006. P. 263–282.
- Reynaud A., Lazzanova D. A global meta-analysis of the value of ecosystem services provided by lakes // *Ecol. Econ.* 2017. Vol. 137. P. 184–194. doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.03.001
- Saccò M., Whit N. E., Harrod C., Salazar G., Aguilar P., Cubillos C. F., Meredith K., Baxter B. K., Oren A., Anufrieva E., Shadrin N. Salt to conserve: A review on the ecology and preservation of hypersaline ecosystems // *Biol. Rev.* 2021. Vol. 96, no. 6. P. 2828–2850.
- Shadrin N. V. The alternative saline lake ecosystem states and adaptive environmental management // *J. Oceanol. Limnol.* 2018. Vol. 36, no. 6. P. 2010–2017. doi: 10.1007/s00343-018-7307-2
- Shadrin N., Yakovenko V., Anufrieva E. Can *Gammarus aequicauda* (Amphipoda) suppress a population of *Baeotendipes noctivagus* (Chironomidae) in a hypersaline lake? A case of Lake Moynaki (Crimea) // *Aquac. Res.* 2021. Vol. 52. P. 1705–1714. doi: 10.1111/are.15024
- Sommer U., Adrian R., De Senerpont Domis L., Elser J. J., Gaedke U., Ibelings B., Jeppesen E., Lüring M., Molinero J. C., Mooij W. M., Van Donk E. Beyond the Plankton Ecology Group (PEG) model: Mechanisms driving plankton succession // *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 2012. Vol. 43. P. 429–448. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-110411-160251
- Sommer U., Gliwicz Z. M., Lampert W., Duncan A. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters // *Archiv für Hydrobiologie.* 1986. Vol. 106, no. 4. P. 433–471.
- Steinman A. D., Cardinale B. J., Munns Jr W. R., Ogdahl M. E., Allan J. D., Angadi T., Bartlett S.,

Brauman K., Byappanahalli M., Doss M., Dupont D. Ecosystem services in the Great Lakes // *J. Great Lakes Res.* 2017. Vol. 43, no. 3. P. 161–168. doi: 10.1016/j.jglr.2017.02.004

Sterner R. W., Keeler B., Polasky S., Poudel R., Rhude K., Rogers M. Ecosystem services of Earth's largest freshwater lakes // *Ecosyst. Serv.* 2020. No. 41. Art. 101046. doi: 10.1016/j.ecoser.2019.101046

Telesh I., Schubert H., Skarlato S. Life in the salinity gradient: discovering mechanisms behind a new biodiversity pattern // *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2013. No. 135. P. 317–327. doi: 10.1016/j.ecss.2013.10.013

Williams W. D. Guidelines of lake management // *Management of inland saline waters.* 1998. Vol. 6, no. 108.

Williams W. D. What future for saline lakes? // *Environment: Science and Policy for Sustainable Development.* 1996. Vol. 38, no. 9. P. 12–39. doi: 10.1080/00139157.1996.9930999

Williams W. D., Boulton A. J., Taaffe R. G. Salinity as a determinant of salt lake fauna: a question of scale // *Hydrobiologia.* 1990. Vol. 197, no. 1. P. 257–266. doi: 10.1007/bf00026955

Wurtsbaugh W. A., Miller C., Null S. E., DeRose R. J., Wilcock P., Hahnenberger M., Howe F., Moore J. Decline of the world's saline lakes // *Nat. Geosci.* 2017. Vol. 10, no. 11. P. 816–821. doi: 10.1038/NGEO3052

Xie Y., Zhang C., Lai Q. China's rise as a major contributor to science and technology // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* 2014. Vol. 111, no. 26. P. 9437–9442. doi: 10.1073/pnas.1407709111

Zadereev E. Salt lakes, surrounding environments and environmental management / Eds. M. Zheng, T. Deng, A. Oren. Introduction to salt lake sciences. Beijing: Science Press, 2018. P. 172–179.

Zadereev E., Drobotov A., Anishchenko O., Kolmakova A., Lopatina T., Oskina N., Tolomeev A. The structuring effects of salinity and nutrient status on zooplankton communities and trophic structure in Siberian lakes // *Water.* 2022a. Vol. 14, no. 9. P. 1468. doi: 10.3390/w14091468

Zadereev E., Lipka O., Karimov B., Krylenko M., Elias V., Pinto I. S., Alizade V., Anker Y., Feest A., Kuznetsova D., Mader A. Overview of past, current, and future ecosystem and biodiversity trends of inland saline lakes of Europe and Central Asia // *Inland Waters.* 2020. Vol. 10, no. 4. P. 438–452. doi: 10.1080/20442041.2020.1772034

Zadereev E. S., Lopatina T. S., Ovchinnikov S. D., Oskina N. A., Drobotov A. V., Tolomeev A. P. The effect of salinity on the grazing rate and survival of *Daphnia magna* females adapted to different salinities // *Aquat. Ecol.* 2022b. Vol. 56. P. 639–652. doi: 10.1007/s10452-021-09941-7

Zheng M. P. Classification of saline lakes and types of mineral deposit // *An introduction to saline lakes on the Qinghai – Tibet Plateau.* New York: Springer, 1997. P. 79–84. doi: 10.1007/978-94-011-5458-1_5

Zohary T., Fishbein T., Shlichter M., Naselli-Flores L. Larger cell or colony size in winter, smaller in summer – a pattern shared by many species of Lake Kinneret phytoplankton // *Inland Waters.* 2017. Vol. 7, no. 2. P. 200–209. doi: 10.1080/20442041.2017.1320505

Zsuga K., Inelova Z., Boros E. Zooplankton community structure in shallow saline steppe inland waters // *Water.* 2021. No. 13. Art. 1164. doi: 10.3390/w13091164

References

Afonina E. Y., Tashlykova N. A. Fluctuations in plankton community structure of endorheic soda lakes of southeastern Transbaikalia (Russia). *Hydrobiologia.* 2020;847(6):1383–1398. doi: 10.1007/s10750-020-04207-z

Afonina E. Yu., Tashlykova N. A. Structural and functional diversity of plankton communities along lake salinity gradients. *Aquat. Ecol.* 2024;58:717–740. doi: 10.1007/s10452-024-10101-w

Aladin N. V. Salinity tolerance and morphology of the osmoregulation organs in Cladocera with special reference to Cladocera from the Aral Sea. *Hydrobiologia.* 1991;225(1):291–299. doi: 10.1007/BF00028407

Aladin N. V., Gontar V. I., Zhakova L. V., Plotnikov I. S., Smurov A. O., Rzymyski P., Klimaszuk P. The zoocenosis of the Aral Sea: six decades of fast-paced change. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2019;326(3):2228–2237. doi: 10.1007/s11356-018-3807-z

Anufrieva E., Shadrin N. Life in extreme environments. Animals in hypersaline ecosystems. Moscow: KMK; 2023. 185 p. (In Russ.)

Comin F., Williams W. D. Parched continents: our common future? R. Margelef (ed.). *Limnology Now: A Paradigm of Planetary Problems.* Amsterdam: Elsevier; 1994. P. 473–527.

Cooper R. N., Wissel B. Interactive effects of chemical and biological controls on food-web composition in saline prairie lakes. *Aquat. Biosyst.* 2012;8:29. doi: 10.1186/2046-9063-8-29

Cunillera-Montcusí D., Beklioğlu M., Cañedo-Argüelles M., Jeppesen E., Ptacnik R., Amorim C., Arnott S., Berger S., Brucet S., Dugan H., Gerhard M., Horváth Z., Langenheder S., Nejstgaard J., Reinikainen M., Striebel M., Urrutia-Cordero P., Vad C., Zadereev E., Matias M. Freshwater salinisation: a research agenda for a saltier world. *Trends Ecol. Evol.* 2022;37(5):440–453. doi: 10.1016/j.tree.2021.12.005

Duarte C. M., Prairie Y. T., Montes C., Cole J. J., Striegl R., Melack J., Downing J. A. CO₂ emissions from saline lakes: A global estimate of a surprisingly large flux. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2008;113:G04041. doi: 10.1029/2007JG000637

Egorov A. N., Kosmakov I. V. Geography and nature management of salt lakes. Novosibirsk: Nauka; 2010. 179 p. (In Russ.)

Ger K. A., Naus-Wiezer S., De Meester L., Lüring M. Zooplankton grazing selectivity regulates herbivory and dominance of toxic phytoplankton over multiple prey generations. *Limnol. Oceanogr.* 2019;64:1214–1227. doi: 10.1002/lno.11108

Golubkov S. M., Shadrin N. V., Golubkov M. S., Balushkina E. V., Litvinchuk L. F. Food chains and their dynamics in ecosystems of shallow lakes with different water salinities. *Russian Journal of Ecology.* 2018;49(5):442–448. doi: 10.1134/S1067413618050053

Gutierrez M. F., Tavşanoğlu Ü. N., Vidal N., Yu J., Teixeira-de Mello F., Çakiroğlu A. I., He H., Liu Z.,

- Jeppesen E. Salinity shapes zooplankton communities and functional diversity and has complex effects on size structure in lakes. *Hydrobiologia*. 2018;813:237–255. doi: 10.1007/s10750-018-3529-8
- Hébert M. P., Symons C. C., Cañedo-Argüelles M. et al. Lake salinization drives consistent losses of zooplankton abundance and diversity across coordinated mesocosm experiments. *Limnol. Oceanogr. Lett.* 2023; 8(1):19–29. doi: 10.1002/lol2.10239
- Janssen A. B., Teurlincx S., An S., Janse J. H., Paerl H. W., Mooij W. M. Alternative stable states in large shallow lakes? *J. Great Lakes Res.* 2014;40(4): 813–826. doi: 10.1016/j.jglr.2014.09.019
- Keith D. A., Ferrer-Paris J. R., Nicholson E., Bishop M. J., Polidoro B. A., Ramirez-Llodra E., Tozer M. G., Nel J. L., Mac Nally R., Gregr E. J., Watermeyer K. E. A function-based typology for Earth's ecosystems. *Nature*. 2022;610(7932):513–518. doi: 10.1038/s41586-022-05318-4
- Khlebovich V. V. Critical salinity of biological processes. Leningrad: Nauka; 1974. 236 p. (In Russ.)
- Khlebovich V. V. Critical salinity as a marker of the transition from the potassium era of life development to the sodium era. *Uspekhi sovremennoi biologii = Advances in Modern Biology*. 2015;135(1):18–20. (In Russ.)
- Kong R., Xue F., Wang J., Zhai H., Zhao L. Research on mineral resources and environment of salt lakes in Qinghai Province based on system dynamics theory. *Resour. Policy*. 2017;52:19–28. doi: 10.1016/j.resourpol.2017.01.006
- Last W. M., Ginn F. M. Saline systems of the Great Plains of western Canada: an overview of the limnogeology and paleolimnology. *Saline Syst.* 2005;1:1–38. doi: 10.1186/1746-1448-1-10
- Li X. Y., Shi F. Z., Ma Y. J., Zhao S. J., Wei J. Q. Significant winter CO₂ uptake by saline lakes on the Qinghai-Tibet Plateau. *Glob. Change Biol.* 2022;28(6): 2041–2052. doi: 10.1111/gcb.16054
- Lin Q., Xu L., Liu Z., Jeppesen E., Han B. P. Responses of trophic structure and zooplankton community to salinity and temperature in Tibetan Lakes: Implication for the effect of climate warming. *Water Res.* 2017;124: 618–629. doi: 10.1016/j.watres.2017.07.078
- Menshutkin V.V. The art of modeling (ecology, physiology, evolution). Petrozavodsk-St. Petersburg: KarRC RAS; 2010. 416 p. (In Russ.)
- Message M. L., Lehner B., Grill G., Nedeva I., Schmitt O. Estimating the volume and age of water stored in global lakes using a geo-statistical approach. *Nat. Commun.* 2016;7(1):13603. doi: 10.1038/ncomms13603
- Moffett E. R., Baker H. K., Bonadonna C. C., Shurin J. B., Symons C. C. Cascading effects of freshwater salinization on plankton communities in the Sierra Nevada. *Limnol. Oceanogr. Lett.* 2020;8(1):30–37. doi: 10.1002/lol2.10177
- Mooij W. M., Trolle D., Jeppesen E., Arhonditsis G., Belolipetsky P. V., Chitamwebwa D. B., Degermendzhy A. G., De Angelis D. L., De Senerpont Domis L. N., Downing A. S., Elliott J. A. Challenges and opportunities for integrating lake ecosystem modeling approaches. *Aquat. Ecol.* 2010;44(3):633–667. doi: 10.1007/s10452-010-9339-3
- Naselli-Flores L., Zohary T., Padisák J. Life in suspension and its impact on phytoplankton morphology: an homage to Colin S. Reynolds. *Hydrobiologia*. 2021;848(1):7–30. doi: 10.1007/s10750-020-04217-x
- Oren A. Halophilic archaea on Earth and in space: growth and survival under extreme conditions. *Philos. Trans. A Math. Phys. Eng. Sci.* 2014;372(2030): 20140194. doi: 10.1098/rsta.2014.0194
- Oren A. Life at high salt concentrations. In *The Prokaryotes*. New York: Springer; 2006. P. 263–282.
- Reynaud A., Lanzaova D. A global meta-analysis of the value of ecosystem services provided by lakes. *Ecol. Econ.* 2017;137:184–194. doi: 10.1016/j.ecolecon.2017.03.001
- Saccò M., Whit N. E., Harrod C., Salazar G., Aguilar P., Cubillos C. F., Meredith K., Baxter B. K., Oren A., Anufrieva E., Shadrin N. Salt to conserve: A review on the ecology and preservation of hypersaline ecosystems. *Biol. Rev.* 2021;96(6):2828–2850.
- Shadrin N. V. The alternative saline lake ecosystem states and adaptive environmental management. *J. Oceanol. Limnol.* 2018;36(6):2010–2017. doi: 10.1007/s00343-018-7307-2
- Shadrin N., Yakovenko V., Anufrieva E. Can *Gammarus aequicauda* (Amphipoda) suppress a population of *Baeotendipes noctivagus* (Chironomidae) in a hypersaline lake? A case of Lake Moynaki (Crimea). *Aquac. Res.* 2021;52:1705–1714. doi: 10.1111/are.15024
- Skarlato S.O., Telesh I. V. Development of the concept of maximum protist diversity in the critical salinity zone. *Biologiya morya = Biology of the Sea*. 2017;43(1):3–14. (In Russ.)
- Sommer U., Adrian R., De Senerpont Domis L., Elser J. J., Gaedke U., Ibelings B., Jeppesen E., Lüring M., Molinero J. C., Mooij W. M., Van Donk E. Beyond the Plankton Ecology Group (PEG) model: Mechanisms driving plankton succession. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 2012;43:429–448. doi: 10.1146/annurev-ecolsys-110411-160251
- Sommer U., Gliwicz Z. M., Lampert W., Duncan A. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. *Archiv für Hydrobiologie*. 1986;106(4):433–471.
- Steinman A. D., Cardinale B. J., Munns Jr W. R., Ogdahl M. E., Allan J. D., Angadi T., Bartlett S., Brauman K., Byappanahalli M., Doss M., Dupont D. Ecosystem services in the Great Lakes. *J. Great Lakes Res.* 2017;43(3):161–168. doi: 10.1016/j.jglr.2017.02.004
- Sterner R. W., Keeler B., Polasky S., Poudel R., Rhude K., Rogers M. Ecosystem services of Earth's largest freshwater lakes. *Ecosyst. Serv.* 2020;41:101046. doi: 10.1016/j.ecoser.2019.101046
- Telesh I., Schubert H., Skarlato S. Life in the salinity gradient: discovering mechanisms behind a new biodiversity pattern. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2013;135: 317–327. doi: 10.1016/j.ecss.2013.10.013
- Williams W. D. Guidelines of lake management. *Management of inland saline waters*. 1998. Vol. 6, no. 108.
- Williams W. D. What future for saline lakes? *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 1996;38(9):12–39. doi: 10.1080/00139157.1996.9930999

Williams W. D., Boulton A. J., Taaffe R. G. Salinity as a determinant of salt lake fauna: a question of scale. *Hydrobiologia*. 1990;197(1):257–266. doi: 10.1007/bf00026955

Wurtsbaugh W. A., Miller C., Null S. E., DeRose R. J., Wilcock P., Hahnenberger M., Howe F., Moore J. Decline of the world's saline lakes. *Nat. Geosci.* 2017;10(11):816–821. doi: 10.1038/NGEO3052

Xie Y., Zhang C., Lai Q. China's rise as a major contributor to science and technology. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014;111(26):9437–9442. doi: 10.1073/pnas.1407709111

Zadereev E. Salt lakes, surrounding environments and environmental management / Eds. M. Zheng, T. Deng, A. Oren. Introduction to salt lake sciences. Beijing: Science Press; 2018. P. 172–179.

Zadereev E., Drobotov A., Anishchenko O., Kolmakova A., Lopatina T., Oskina N., Tolomeev A. The structuring effects of salinity and nutrient status on zooplankton communities and trophic structure in Siberian lakes. *Water*. 2022;14(9):1468. doi: 10.3390/w14091468

Zadereev E., Lipka O., Karimov B., Krylenko M., Elias V., Pinto I. S., Alizade V., Anker Y., Feest A.,

Kuznetsova D., Mader A. Overview of past, current, and future ecosystem and biodiversity trends of inland saline lakes of Europe and Central Asia. *Inland Waters*. 2020;10(4):438–452. doi: 10.1080/20442041.2020.1772034

Zadereev E. S., Lopatina T. S., Ovchinnikov S. D., Oskina N. A., Drobotov A. V., Tolomeev A. P. The effect of salinity on the grazing rate and survival of *Daphnia magna* females adapted to different salinities. *Aquat. Ecol.* 2022;56:639–652. doi: 10.1007/s10452-021-09941-7

Zheng M. P. Classification of saline lakes and types of mineral deposit. *An introduction to saline lakes on the Qinghai – Tibet Plateau*. New York: Springer; 1997. P. 79–84. doi: 10.1007/978-94-011-5458-1_5

Zohary T., Fishbein T., Shlichter M., Naselli-Flores L. Larger cell or colony size in winter, smaller in summer—a pattern shared by many species of Lake Kinneret phytoplankton. *Inland Waters*. 2017;7(2):200–209. doi: 10.1080/20442041.2017.1320505

Zsuga K., Inelova Z., Boros E. Zooplankton community structure in shallow saline steppe inland waters. *Water*. 2021;13:1164. doi: 10.3390/w13091164

Поступила в редакцию / received: 10.08.2025; принята к публикации / accepted: 17.09.2025.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Егоров Александр Николаевич

д-р геогр. наук, ведущий научный сотрудник

e-mail: alex6-1@mail.ru

Яскеляйнен Дарья Дмитриевна

студентка магистратуры

e-mail: dar.yasik@mail.ru

Задереев Егор Сергеевич

канд. биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник ИБФ СО РАН; доцент СФУ

e-mail: egor@ibp.ru

CONTRIBUTORS:

Egorov, Alexander

Dr. Sci. (Geogr.), Leading Researcher

Yaskelyaynen, Daria

Master's Student

Zadereev, Egor

Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Leading Researcher, Institute of Biophysics, KRC SB RAS; Associate Professor, SibFU