

УДК 628.19(285.32)(477.75)

И. И. Руднева¹
В. Г. Шайда²
О. В. Шайда¹

Влияние климатических и антропогенных факторов на экологическое состояние гиперсоленого озера Галгасс в период 2017-2022 (Республика Крым)

¹ ФГБУН Морской гидрофизический институт РАН,
Севастополь,
e-mail: svg-41@mail.ru

² ООО “Экосервис А+”, Москва
e-mail: svg-41@mail.ru

Аннотация. Целью исследования было изучение сезонных изменений физико-химических параметров рапы в крымском озере Галгасс в период 2017-2022 гг. Увеличение солёности до 300 ‰ в летний период коррелировало с повышением температуры воздуха и рапы и снижением содержания кислорода и pH. В 2017, 2020 и 2022 годах озеро пересыхало в летние и ранние осенние месяцы, а затем восстанавливалось в октябре-ноябре после выпадения осадков. Полученные результаты могут быть использованы для прогноза трансформации экосистемы при изменении климата и усилении антропогенной деятельности для оптимизации охраны гидроминеральных ресурсов.

Ключевые слова: мониторинг, Крым, сезонные изменения, солёное озеро

Введение

Гиперсолёные озера характеризуются экстремальными условиями жизни, обусловленными высокой солёностью, низкой концентрацией кислорода, значительными суточными, сезонными и годовыми колебаниями температуры. Эти водоемы играют существенную роль в глобальных биогеохимических циклах, поскольку по сравнению с пресноводными озерами они эффективнее накапливают и перерабатывают биогенные элементы фосфор, азот и углерод [1,2]. Их донные отложения и рапа используются для производства соли, в качестве бальнеологических ресурсов, спа-материалов и в химической промышленности. Этим водоемам присущи специфические микробные, фито- и зоопланктонные сообщества [3-5]. В настоящее время солёные озера играют важнейшую роль в индустрии отдыха и туризма [6], которые становятся все более популярными. Уникальные возможности гиперсолёных водоемов Крымского полуострова могут способствовать успешному развитию и продвижению этих видов деятельности [7].

Изучение общих тенденций и особенностей морских гиперсолёных озёр в разных географических районах позволяет понять взаимодействие суша-озеро-море и дает возможность прогнозировать дальнейшие последствия этих взаимодействий в будущем [8]. Антропогенная деятельность, приводящая к химическому загрязнению рапы, нарушению гидрологического и

гидроминерального состояния, строительство зданий на берегах негативно влияет на эти уникальные водоемы. Изменение климата и экстремальные погодные катаклизмы, такие как ливневые дожди, засухи в летний период, ураганные и штормовые явления, усилившиеся в последнее время, в том числе в Крыму, приводят к их трансформации: засолению, опреснению, высыханию и деградации [9, 10].

Экосистемы гиперсоленых озер Крымского полуострова сформировались под влиянием ряда факторов, таких как климатические, геологические, химические и биологические. Их соленость, минеральный состав, pH, электропроводность рапы и другие физико-химические параметры варьируют в широких пределах и непосредственно зависят от сезонных и годовых колебаний температуры, скорости и направления ветра, количества осадков и антропогенной деятельности [11].

В настоящее время мониторинг состояния соленых озер и их эволюция имеет важное значение, поскольку они могут служить адекватной моделью при анализе влияния изменения климата, проявляющегося в повышении температуры и экстремальных погодных явлений, а также антропогенной деятельности. Данные о годовых и сезонных колебаниях гидрохимических параметров гиперсоленых озер в различных географических регионах при изменении климата могут быть использованы для разработки гидрологических моделей прогнозирования стока ливневых осадков, паводков и оптимизации управления водными ресурсами [12]. Целями данного исследования являются, во-первых, определение годовых и сезонных колебаний климатических характеристик региона вблизи соленого озера Галгасс на полуострове Крым (Черное море), и, во-вторых, определение основных тенденций изменения гидрохимических параметров рапы в водоеме в период 2017-2022гг. и причин, от которых зависят эти изменения.

Материалы и методы

Характеристика озера Галгасс

Озеро Галгасс (рис. 1,2) расположено в субаридной зоне в западной части Крымского полуострова вблизи Черного моря, на побережье Каламитского залива. Координаты озера 45°11'30"СШ и 33°10'38"ВД. Водоем отделен от моря песчаной пересыпью, ширина которой составляет около 50 м. Глубина озера составляет 0,55 м, площадь 0,16 км², а площадь водосбора около 11 км². Длина и ширина озера составляют 130 м и 420 м соответственно. Годовое количество атмосферных осадков 400 мм. Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГКУ), характеризующий влажность в районах с сухим климатом, равен 0,75, что соответствует аридному климату. На дне озера обнаружены грязевые отложения, мощность которых оценивается в 5 м. Озеро и его окрестности используются туристами в бальнеологических целях. В предыдущие десятилетия в озере добывали соль, в настоящее время добывают песок. На его берегах отмечен выпас домашних животных. В течение годового цикла озеро может пересыхать летом и в начале осени, когда значения температуры воздуха самые высокие, а количество атмосферных осадков — самое низкое.

Метеорологические характеристики

Метеорологическая ситуация в исследуемом районе была проанализирована с помощью интернет-ресурсов [13]. Определяли среднемесячную температуру воздуха, число дней с атмосферными осадками и их количество. Температуру воздуха в день отбора проб измеряли датчиком температуры и влажности ЦЭМ ДТ-321 (Россия).



Рис. 1. Расположение озера Галгасс в Крыму

Гидрохимические параметры

Гидрохимические параметры рапы озера анализировали методами, описанными ранее [7]. Пробы воды объемом 2 л отбирали ежемесячно в период 2017-2022 гг. Температуру рапы измеряли электронным термометром HANNA Instruments Check Temp-1 непосредственно в озере. Соленость рапы определяли с помощью рефрактометра PAL-06S LTA GO (Япония) и выражали в ‰. Значение pH, окислительно-восстановительный потенциал Eh и концентрацию растворенного кислорода в рапе анализировали в лабораторных условиях с помощью анализатора Expert-001 (Econix-Expert Моеха Со., Ltd, Москва, Россия). Оптическую плотность при 525 нм (OD525) и прозрачность воды при той же длине волны определяли на фотометре-анализаторе Expert-003 (Econix-Expert Моеха Со., Ltd., Россия).

Статистический анализ

Измерения проводили в трехкратной повторности, вычисляли и анализировали их средние значения. Графики строили с помощью компьютерной программы EXELL. Статистические корреляции между изучаемыми гидрологическими параметрами рассчитывали методом наименьших квадратов с помощью компьютерной программы CURFVIT (версия 21).

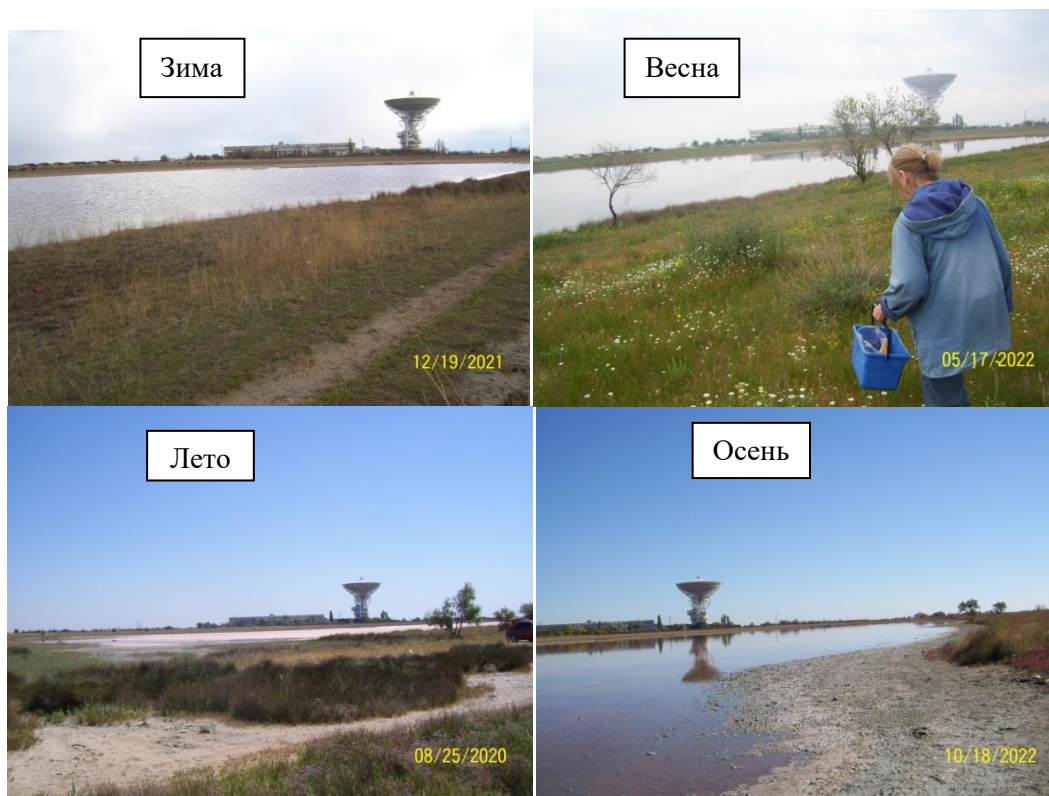


Рис. 2 Озеро Галасс в разные сезоны года
Фото авторов

Результаты и обсуждение

Годовые и сезонные характеристики погоды в районе озера Галасс в период 2017-2022 гг.

Результаты мониторинга метеорологических параметров в районе озера Галасс в период 2017-2022 гг. представлены в таблице 1 и на рис. 3. Температура воздуха неуклонно увеличивалась, начиная с марта, и максимума (более $+30^{\circ}\text{C}$) достигала в июле - августе, затем снижалась осенью. Самые низкие значения температуры отмечены в декабре и в январе. В исследуемый период с 2017 по 2022 гг. годовая динамика изменения температуры воздуха была одинаковой. Средняя температура летом составляла от $+21^{\circ}\text{C}$ до $+27,7^{\circ}\text{C}$, зимой от $-0,6^{\circ}\text{C}$ до $+5,5^{\circ}\text{C}$. Значения температуры в дни отбора проб соответствовали средним значениям за соответствующий месяц (рис. 3). Количество дней с осадками в районе отбора проб составило от 75 дней в 2021 году до 54 дней в 2020 году, что соответствует 15,7-20,8% в год (таблица 1). Однако годовое количество осадков варьировало от 280 мм в 2021 году до 519 мм в 2022 году, причем зимой выпадало больше осадков, чем летом.

Таблица 1.

Годовое количество осадков в районе озера Галгасс в период 2017-2022 гг.

Год	Число дней с осадками и % к общему количеству дней в году	Осадки, мм в год
2017	71 (18.7%)	386
2018	60 (16.7%)	403
2019	60 (16.7%)	341
2020	54 (15.0%)	339
2021	75 (20.8%)	280
2022	68 (18.8%)	510

Составлена авторами

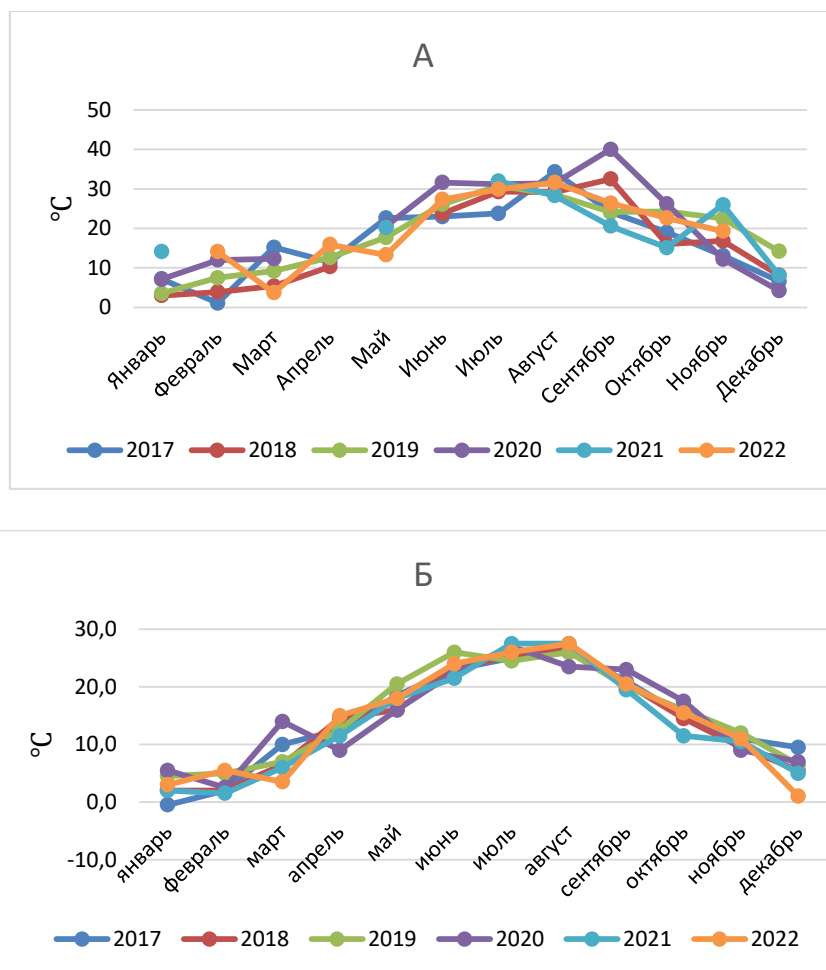


Рис. 3. Температура воздуха в районе озера Галгасс (А — значения в день проведения исследований, Б — среднемесячные значения)

Составлен авторами

Сезонная динамика некоторых гидрохимических характеристик рапы в озере Галгасс в период 2017-2022 гг.

Состояние озера Галгасс существенно различалось в течение исследуемого периода (Табл. 2). В зимние и весенние месяцы озеро было полноводным, однако в конце мая, когда температура и испарение увеличивались, водоем обмелел, и в августе-октябре 2017 г., июле-сентябре 2020 г. и августе-сентябре 2022 г. он оставался сухим (Рис. 2). Гидрохимические характеристики также изменялись в исследуемый период. Температура рапы постепенно повышалась к летнему периоду, когда значения превышали +30°C. Самая высокая температура отмечена в сентябре 2018 г. (+38,4°C). В октябре и в зимние месяцы температура понижалась, ее значения варьировали от +1,6°C до +7,9°C.

Таблица 2.

Состояние озера Галгасс в период 2017-2022

Годы	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Январь	П	П	П	П	П	П
Февраль	П	П	П	П	П	П
Март	П	П	П	П	П	П
Апрель	П	П	П	П	П	П
Май	О	О	О	О	О	О
Июнь	О	О	О	О	О	О
Июль	О	О	О	С	О	О
Август	С	О	О	С	О	С
Сентябрь	С	О	О	С	О	С
Октябрь	С	О	О	П	П	П
Ноябрь	П	П	П	П	П	П
Декабрь	П	П	П	П	П	П

Примечание: П — полное, О — обмелевшее, С — сухое

Составлена авторами

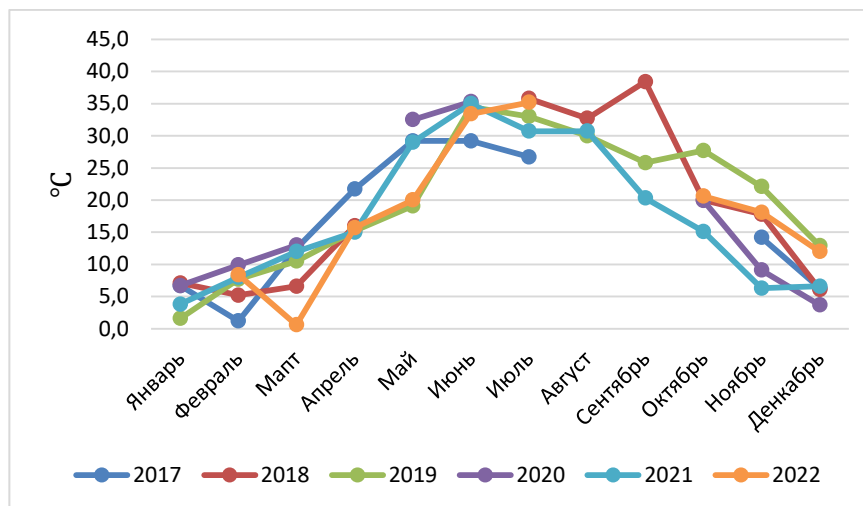


Рис. 4. Изменение температуры рапы в озере Галгасс в период 2017-2022
Составлен авторами

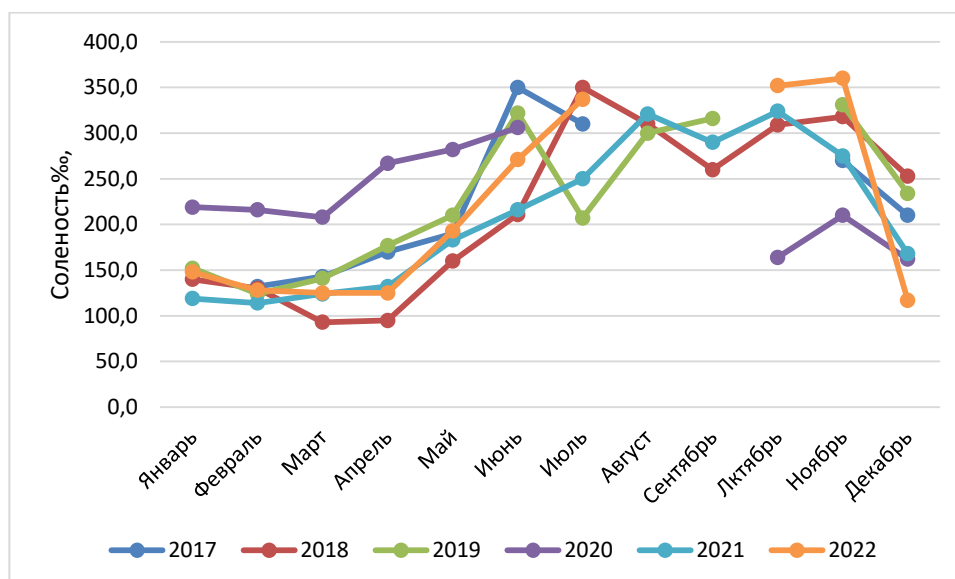


Рис. 5. Изменение солёности рапы в озере Галгасс в период 2017-2022гг.
Составлен авторами

Солёность постепенно увеличивалась к летнему рнотоду, самый высокий уровень минерализации (<300 ‰) отмечен в мае-августе. Самая низкая минерализация (93 ‰) обнаружена в марте 2018 года, а максимальное значение этого параметра установлено в ноябре 2022 года (360 ‰). Для концентрации кислорода в рапе характерна противоположная тенденция (рис. 6). Низкие значения отмечены в жаркие летние месяцы, с октября показатели увеличивались. Самая высокая концентрация O_2 18,02 мг/л была обнаружена в феврале 2018 года, а самая низкая 0,59 мг/л в июне 2020 года.

pH рапы изменялся от 6,08 до 7,59 (Рис. 7). Наибольшее значение 7,59 было отмечено в марте 2020 года, а наименьшее 6,08 – в апреле 2020 года. Изменения pH в разные годы были неоднозначными и имели свои особенности. В большинстве случаев показатели pH возрастали к апрелю – маю и снижались летом, за исключением 2020 года, когда значения pH повышались в марте,

снижались в апреле и затем возрастали в жаркие месяцы перед высыханием озера. В июле 2019 года рН увеличивался и постепенно снижался в сентябре перед периодом высыхания. В зимние месяцы во все исследованные периоды значения рН имели близкие значения.

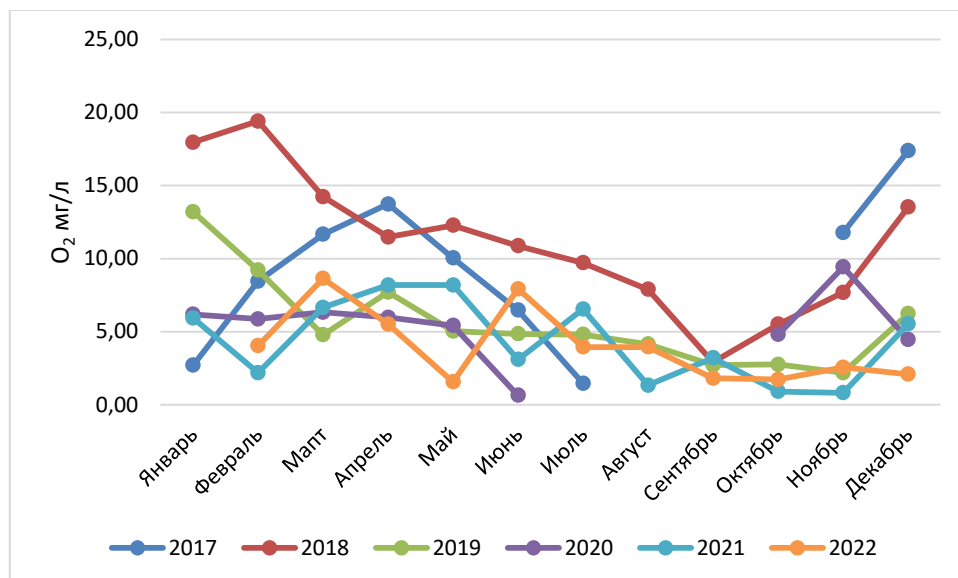


Рис.6. Изменение концентрации кислорода в озере Галгасс в период 2017-2022гг.
Составлен авторами

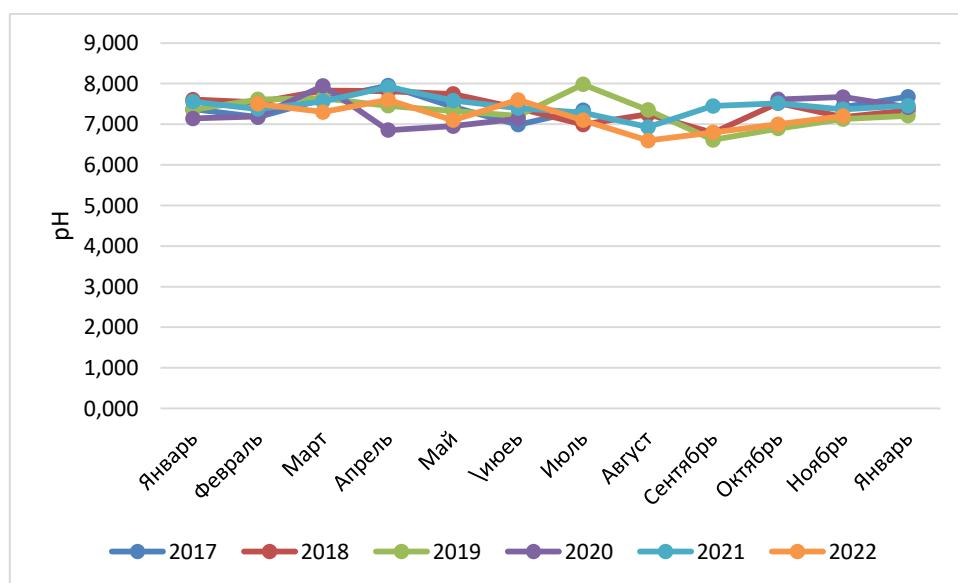


Рис.7. Изменение значений pH в озере Галгасс в период 2017-2022гг.
Составлен авторами

Значения Eh также колебались неоднозначно (Рис. 8). В целом основные тенденции этих параметров были следующими: они уменьшались к весне и увеличивались летом, за исключением показателей 2020 года. При этом наименьшее значение -88,8 мВ отмечено в марте, затем Eh неуклонно возрастало к маю и уменьшалось в июне перед периодом пересыхания. Осенью Eh

увеличивалось, а в декабре этот параметр уменьшался во все исследуемые годы. Наименьшее значение E_h было отмечено в июле 2019 года, а наибольшее - в сентябре 2019 года.

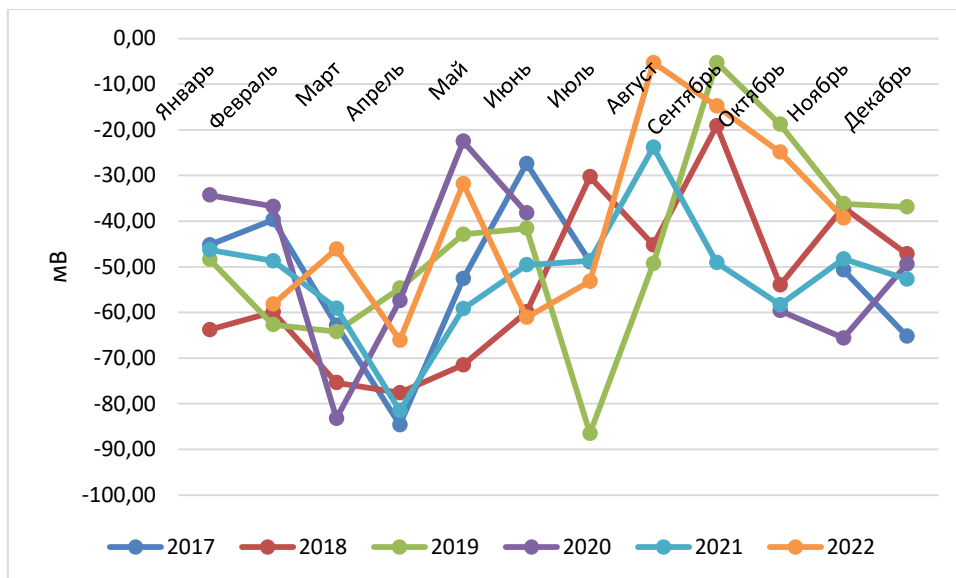


Рис.8. Изменение значений E_h в рапе озера Галгасс в период 2017-2022гг.
Составлен авторами

В 2020 году оптическая плотность (OD_{525}) увеличивалась с февраля по май, а затем уменьшалась в июне перед пересыханием озера (рис. 9). Значения этого показателя в 2021 году колебались в меньшей степени и имели тенденцию к увеличению в летний сезон, после чего снижались осенью и зимой. В 2022 году показатели OD_{525} увеличивались летом перед периодом пересыхания, а осенью и зимой изменялись незначительно.

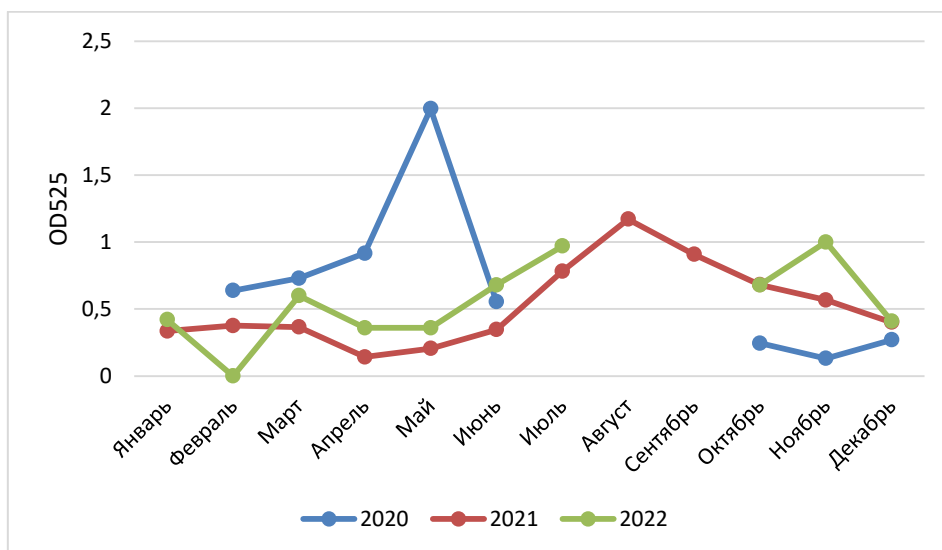


Рис.9. Изменение значений OD_{525} в рапе озера Галгасс в период 2020-2022гг.
Составлен авторами

Показатели прозрачности рапы имели противоположную тенденцию (Рис. 10): в 2021 и 2022 годах они увеличивались весной, затем снижались в летний период и снова возрастали осенью и зимой. Особенностью изменений прозрачности в 2020 году стало снижение в мае, увеличение в июне перед периодом высыхания и в осенне-зимний период.

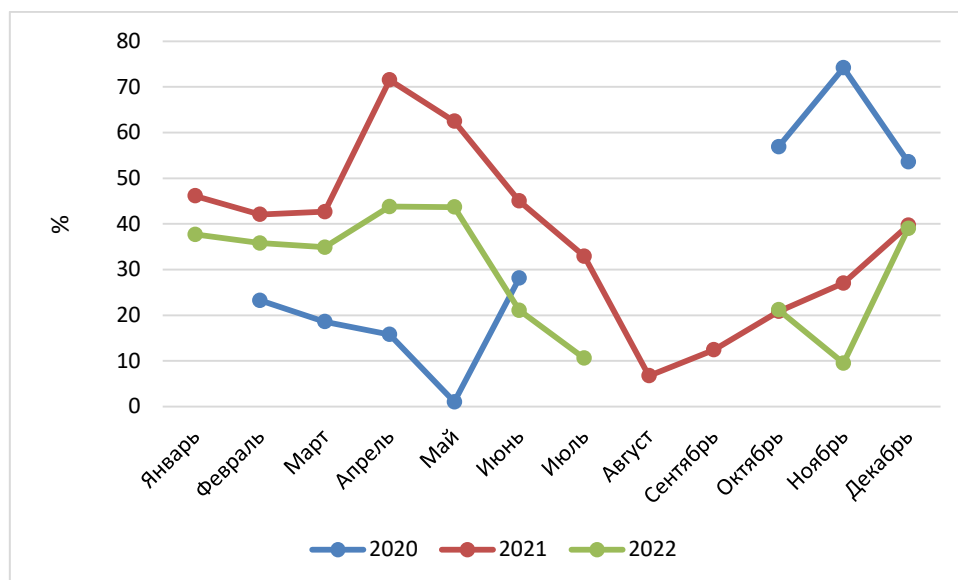


Рис.10. Изменение значений прозрачности рапы в озере Галгасс в период 2020-2022гг.

Результаты и обсуждение

Водные экосистемы в засушливых географических районах привлекают особое внимание из-за дефицита водных ресурсов и возрастания их важности для деятельности человека, в частности, для сельского хозяйства, аквакультуры, промышленности, коммунальных нужд, рекреации и оздоровления [14]. Большинство крымских соленых озер расположены в субаридной климатической зоне на побережье Черного моря. Издревле они играют существенную роль в экологии Крымского полуострова и социально-экономическом развитии. Их экологические функции связаны с регулированием климата, поддержанием орнитофауны, биоразнообразия, режима грунтовых вод, участием в биогеохимических циклах, осаждением минеральных элементов, их накоплением и трансформацией, фильтрацией морской воды. Гидроминеральные ресурсы соленых озер применяются в химической промышленности, в бальнеологии для лечения многих заболеваний, для производства косметики, фармацевтических препаратов и спа-материалов [7]. Доминирующий вид ракообразных *Artemia salina* используется в аквакультуре как наиболее эффективный стартовый корм для многих водных организмов [4, 5, 15, 16].

Прибрежные районы моря, где располагаются соленые озера, активно используются в хозяйственной деятельности, так как здесь функционируют различные аквакультурные фермы, сельскохозяйственные предприятия, системы очистки сточных вод и их сброс в море, рекреация, рыболовство, яхтинг, и

связанные с этой деятельностью скопления мусора и особенно загрязнение микропластиком [17]. Вместе с экстремальными погодными явлениями, обусловленными продолжающимся изменением климата, гиперсоленые водоемы подвергаются существенному антропогенному воздействию, которое в некоторых случаях приводит к драматическим последствиям. Экстремальные погодные явления взаимодействуют с различными прибрежными морскими процессами, такими как волны, приливы, течения, атмосферные осадки, сточные воды в различных временных и пространственных масштабах, что приводит к дестабилизации пляжей морского грунта, эстуариев и экосистем приморских соленых озер [18, 19]. Недавний сильный шторм в ноябре 2023 года в Черном море близ Крымского полуострова наглядно продемонстрировал его разрушительную силу, повлиял на прибрежную зону, включая соленые озера.

За последние несколько десятилетий во всем мире были проведены многочисленные исследования по трансформации соленых озер, следствием которых явилась их эвтрофикация, засоление/опреснение, высыхание и деградация [9, 10]. Поэтому для понимания процессов и механизмов, связанных с антропогенным воздействием и экстремальными погодными явлениями, важно изучить долговременные флуктуации экосистем гиперсоленых водоемов [17]. Информация о влиянии природных и антропогенных факторов на гидрохимию гиперсоленых озер остается ограниченной и требует дальнейших исследований, она позволит объяснить их механизмы, определить источники питания подземных вод, потоки, режимы, роль изменений климата, геохимии и антропогенного вклада в трансформацию водоемов в засушливых и субаридных районах [20].

Полученные данные позволили установить как общие тенденции изменения гидрохимических параметров в озере Галагас, так и их особенности в разные годы. Высокая температура, малое количество осадков или их отсутствие в летние месяцы привели к возникновению экстремальных условий в экосистеме озера и, в конечном итоге, к его высыханию. При этом количество осадков, температура воздуха и рапы в исследуемые периоды различались. Например, озеро пересохло в 2017, 2020 и 2022 годах. Сумма средней температуры воздуха в летние месяцы (июнь + июль + август) неуклонно росла в период с 2017 по 2022 год, за исключением 2020 года ($74^{\circ}\text{C} \rightarrow 75,5^{\circ}\text{C} \rightarrow 76,5^{\circ}\text{C} \rightarrow 73^{\circ}\text{C} \rightarrow 77,5^{\circ}\text{C}$). Перед высыханием водоема было отмечено интенсивное испарение рапы, что согласуется с данными других исследователей [21]. Испарение стимулировало отложение солей на берегах и увеличение солености до критически высоких значений (более 300‰). В 2017, 2020 и 2022 годах, когда соленость увеличилась до 300 ‰, озеро начинало быстро уменьшаться в объеме, а затем высохло. Такая тенденция наблюдалась в 2017, 2020 и 2022 годах. Однако в июне 2018 года, июле 2019 и 2021 годов соленость была ниже, и озеро было обмелевшим, но не высохшим. Можно предположить, что одинаковые условия перед самым жарким сезоном привели к разным последствиям состояния озера.

В засушливых районах интенсивное испарение рапы в соленых озерах приводит к накоплению соли в почве, грунте, грунтовых и поверхностных водах. Нарушение гидрологического режима между соленым озером, грунтовыми водами и фильтрацией морских вод может разрушить гидрохимические циклы

элементов, включая углерод, фосфор и азот, как мы отмечали ранее, что может повлиять на глобальный биогеохимический цикл и процесс глобального потепления. В осадки прибрежных гиперсоленых озер концентрируются органические и неорганические компоненты из почвы, грунтовых вод, сельскохозяйственных, промышленных и рекреационных стоков, включая различные ксенобиотики. Они создают серьезные проблемы для здоровья человека и окружающей среды, поскольку могут мигрировать в почве, воде, разноситься сильными ветрами с песком и другими частицами на большие расстояния. Это приводит к загрязнению воздуха и вызывает аллергические и респираторные заболевания [10].

При высокой солености рапы в жаркий период происходит снижением уровня кислорода до экстремальных значений, что было отмечено в июне 2020 г (0,6 мг/л) и в октябре 2022 г. Это общая тенденция снижения концентрации O_2 , особенно в летнее время, была обнаружена до и после высыхания водоема. Кроме того, можно отметить снижение уровня кислорода зимой в 2020г., в марте и апреле в 2019г. по сравнению с предыдущими исследованными годами, тогда как в ноябре и декабре 2017 и 2018 гг. концентрация O_2 была значительно выше, чем в 2019-2022 гг. Концентрация растворенного кислорода коррелировала с ростом биомассы фитопланктона и органического вещества [22]. Снижение содержания кислорода в мае могло быть следствием развития в озере процессов эвтрофикации, после чего дальнейшее повышение температуры и испарение приводили к повышению солености и высыханию озера. При этом жизнедеятельность гидробионтов, особенно микроорганизмов, участвующих в процессах минерализации и биотрансформации различных элементов в соленых озерах, существенно снижается [23]. Кроме того, можно отметить, что содержание кислорода в рапе водоема с 2019 года в большинстве случаев было низким, что свидетельствует о негативных процессах в экосистеме озера, обусловленных образованием гипоксических и/или аноксических зон, а также формированием неблагоприятных условий для существования биоты

Соленость, pH и Eh значительно колеблются в гиперсоленых озерах в течение суток, в разные сезоны и в течение года, что зависит как от концентрации различных минералов, так и от доминирующих буферных систем. Эти параметры могут меняться при выпадении осадков, испарении, поступлении грунтовых и сточных вод, перемешивании ветром, фильтрации морской воды и т. д. [9, 19, 23]. В исследуемый период колебания pH в озере Галгасс были различны. В летний период 2017, 2019, 2020 и 2021 гг. из-за интенсивного процесса испарения и кристаллизации соли значения pH повышались, а в 2018, 2021 и 2022 годах понижались. Значения Eh проявляли противоположную по отношению к pH тенденцию. Можно предположить, что это связано с особенностями взаимодействия поступления грунтовых и морских вод и рапой озера. Значения OD_{525} возрастали в летний период в 2021 и 2022 годах, тогда как в 2020 году самые высокие показатели были отмечены в мае. Затем они снижались в осенне-зимний период. Такая динамика была обусловлена высокой концентрацией органического вещества, которое в весенние и летние месяцы потребляется биотой (микробными сообществами, микроводорослями и рачками *Artemia*).

Повышение температуры выше $+30^{\circ}\text{C}$ в июле и августе крайне неблагоприятно для жизнедеятельности организмов и может привести к гибели гидробионтов и увеличению органического вещества в озере. Кроме того, антропогенная активность в этот период в прибрежных районах моря вблизи соленого озера оказала большое влияние на источники, накопление, миграцию и трансформацию взвешенного и растворенного органического вещества. Изменения потока органического вещества влияет на физические, химические и биологические процессы в озере, включая их оптические свойства [24]. Таким образом, значения OD525 и прозрачности взаимодействуют друг с другом, с уровнем органического вещества, а оптические свойства рапы являются хорошим показателем для изучения источников и колебаний уровня органического вещества в соленых озерах в процессе годового цикла.

Таким образом, основными факторами гидрохимических флуктуаций гиперсоленых озер являются испарение, фильтрация морской воды, взаимодействие грунтовых вод и атмосферных осадков. Испарение играет важную роль в изменении солености, что отмечено для многих соленых озер [25, 26]. В то же время крымские соленые озера проявляют особенности и специфические черты, а колебания гидрохимических характеристик неравномерны как в течение суток, так и в сезоны и в годы. В связи со значительным годовым колебанием количества атмосферных осадков в засушливых районах Крыма соленость, уровень кислорода, pH и Eh, прозрачность и оптическая плотность рапы в озере Галгасс изменяются по сезонам и годам. Увеличение осадков снижает соленость воды в зимний и весенний периоды, которая была выше в летние и ранние осенние месяцы, в том числе из-за высыхания озера, что согласуется с данными других исследователей [27]. Несмотря на то, что настоящих данных недостаточно, чтобы объяснить, являются ли особенности годовых циклов гиперсоленого озера Галгасс результатом внутреннего водного цикла или вызваны изменением климата, изучение гидрохимических флуктуаций позволит понять динамику цикла гиперсоленого озера и создать основу для оценки состава рапы, эффективного использования минералов и биогенов, а также охраны его ресурсов [14]. Кроме того, на химический состав рапы влияют такие виды деятельности как орошение [28], рекреация, фильтрация морской воды, ее залив в озеро и взмучивание донных осадков в результате шторма [29], поступление сточных вод. Поэтому важной проблемой является анализ влияния антропогенной деятельности в сочетании с климатическими изменениями [20, 30, 31].

Выводы

В данном исследовании были проанализированы сезонные и годовые гидрохимические изменения озера Галгасс, расположенного в субаридной морской прибрежной зоне полуострова Крым (Черное море). Были выявлены основные механизмы и причины высыхания озера. Гидрохимические характеристики рапы озера Галгасс имели как общие сезонные и годовые тенденции, так и особенности в разные годы. Основными факторами, влияющими на гидрохимическое и экологическое состояние озера Галгасс, являются изменение климата, сезонные колебания температуры, фильтрация морской воды,

штормовые явления, атмосферные осадки и антропогенная деятельность. Повышение температуры воздуха и рапы в летние и ранние осенние месяцы, интенсивное испарение и малое количество атмосферных осадков привели к росту солености до экстремальных значений (более 300‰), и в этих условиях в 2017, 2020 и 2022 годах озеро пересохло. Однако в 2018, 2019 и 2021 годах озеро было мелководным в жаркий сезон, но его высыхания не произошло. Возможно, это связано с взаимодействием поверхностных вод с грунтовыми и морскими водами, фильтрацией и поступлением вод с орошаемых сельскохозяйственных земель. Поэтому контроль гидрохимического режима и солености воды в гиперсоленых водоемах имеет большое значение для оценки природных процессов и антропогенной деятельности, разработки программ рационального использования гидроминеральных ресурсов, а также для дальнейших исследований взаимодействия рапа–морские воды–грунтовые воды, экологии гиперсоленых озер и влияния на них изменения климата и антропогенной деятельности.

Работа выполнена по теме государственного задания МГИ РАН FNNN-2024-0001 «Фундаментальные исследования процессов, определяющих потоки вещества и энергии в морской среде и на ее границах, состояние и эволюцию физической и биогеохимической структуры морских систем в современных условиях» (шифр «Океанологические процессы»).

Литература

1. Blomqvist S., Gunnars A., Elmgren R. Why the limiting nutrient differs between temperate coastal seas and freshwater lakes: A matter of salt. // Limnol. Oceanog. 2004, vol.49. p. 2236–2241. <https://doi.org/10.4319/lo.2004.49.6.2236>
2. Ioannidou I., Manolaki P., Litskas V.D, Vogiatzakis I.N. Temporary Salt Lakes: Ecosystem Services Shift in a Ramsar Site Over a 50-Year Period. Front. Ecol. Evol. 2021. vol. 9. 662107. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.662107>
3. Gerasimova E. A., Balkin A. S., Filonchikova E. S., Mindolina Y. V., Zagumyonnyi D. G., Tikhonenkov D. V. Taxonomic Structure of Planktonic Protist Communities in Saline and Hypersaline Continental Waters Revealed by Metabarcoding. // Water. 2023. vol.15. 2008. <https://doi.org/10.3390/w15112008>
4. Litvinenko L. I., Litvinenko A. I., Boyko E. G., Kutsanov K.V. Effect of environmental factors on the structure and functioning of biocoenoses of hyperhaline water reservoirs in the south of Western Siberia. // Contemporary Problems of Ecology. 2013. vol.6(3). p. 252–261.
5. Litvinenko L. I., Litvinenko A. I., Boiko E. G., Kutsanov K. V. Artemia cyst production in Russia. // Chinese J. Oceanol. Limnol. 2015. vol. 33(6), p.1436–1450. <http://dx.doi.org/10.1007/s00343-015-4381-6>
6. Akhmedenov K. M. () Tourist and recreational potential of the salt lakes of Western Kazakhstan, Geo. J. Tourism. Geosites. // 2020. vol.30 (2). p.782–787.DOI 0.30892/gtg.330022ssppll0011--550055
7. Rudneva I. I., Gaisky P. V., Shaida V. G., Shaida O. V. (). Assessing Climate and Human Activity Effects on Hypersaline Lake Ecosystem: Case Study of Saki Lake, Crimea. // Water. 2023. vol.15, 456. <https://doi.org/10.3390/w15030456>

8. Моисеенко Т. И., Гашкина Н. А. Формирование химического состава вод озер в условиях изменения окружающей среды. 2010. М: Наука. 275 с.
9. Aladin N. V., Plotnikov I. S. The concept of relativity and multiplicity of salinity zones and forms of existence of the hydrosphere Proc Zool Inst RAS, 2013. vol. 3. p. 7–21.
10. Tusupova K., Peder Hjorth A., Morave M. Drying lakes: A review on the applied restoration strategies and health conditions in contiguous areas. // Water. 2020. Vol.12, 749. <https://doi.org/10.3390/w12030749>
11. Xinyi F., Yihong Y., Lin M., Xiaoying L., Jiajie L., Fushun W. Coupling effects of hydrological characteristics and nutrient load in sediments on the trophic state of reservoirs. // Acta. Geochim. 2021. vol. 40. p. 640–64 <https://doi.org/10.1007/s11631-021-00478-y>
12. Singh S.K., Marcy N. Comparison of simple and complex hydrological models for predicting catchment discharge under climate change. IMS Geosciences. // 2017. vol. 3(3), p.467-497. doi: 10.3934/geosci.2017.3.467 DOI: 10.3934/geosci.2017.3.467
13. Электронный ресурс Режим доступа: <https://nuipogoda.ru/> (дата обращения 15 июня 2024 г.)
14. Yang Z., Hu L., Ma H., Zhang W. Hydrochemical Characteristics of Groundwater and Their Significance in Arid Inland Hydrology. // Water. 2023. vol.15, 1641. <https://doi.org/10.3390/w1509164>
15. Shadkam F., Ludwig T.H., van Vliet A., Pastor A., Kabat P. Preserving the world second largest hypersaline lake under future irrigation and climate change. // Sci. Total Environ. 2016. Vol. 559. p. 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.190>.
16. Wooldridge J. B., Adams K. M., Fernandes M. Biotic responses to extreme hypersalinity in an arid zone estuary. // S. Afr. J. Bot. 2016. vol. 107. p. 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.05.004>.
17. Song D., Chen Z., Wang Y.P., Wu Y. Editorial: Extreme weather events induced coastal environment changes under multiple anthropogenic impacts. Front. // Mar. Sci. 2023. vol. 10, 1214718. doi: 10.3389/fmars.2023.1214718.
18. Goryachkin Yu. N., Dolotov, V. V. Dynamics of Accumulative Shores of Southwestern Crimea [Динамика аккумулятивных берегов Юго-Западного Крыма] // Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea. 2023. № 3. p.55 - 70.
19. Li L., Song W., Deng C., Zhang D., Al-Misned F.A., Mortuza M.G., Gadd G.M., Pan X. Effects of pH and salinity on adsorption of hypersaline photosynthetic microbial mat exopolymers to goethite: A study using a quartz crystal microbalance and fluorescence spectroscopy //Geomicrobiol. J. 2016. vol.33(3–4). p. 332–337. <http://dx.doi.org/10.1080/01490451.2015.1052120>.
20. Bussi G., Whitehead P.G., Gutiérrez-Cánovas C., Ledesma J.L.J., Ormerod S.J., Couture M. Modelling the effects of climate and land-use change on the hydrochemistry and ecology of the river wye (wales). // Sci. Total Environ. 2018. vol. 627. p. 733–743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.295>.
21. Sahib L. Y.; Marandi A.; Schüth C. Strontium isotopes as an indicator for groundwater salinity sources in the kirkuk region, Iraq. // Sci Total Environ. 2016. vol. 562, p.935–945. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.185>.

22. Cuosovic B., Cigleneckia I., Vilicic D., Ahel L. Distribution and Seasonal Variability of Organic Matter in a Small Eutrophicated Salt Lake. // Estuar. Coast. Shelf Sci. 2000. vol. 51, p. 705–715. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0721>.
23. Di Meglio L., Santos F., Gomariz M., Almansa C., Lopez C., Anton J., Nercessian D. Seasonal dynamics of extremely halophilic microbial communities in three Argentinian salterns, // FEMS Microbiol. Ecol. 2016. vol. 92 (12), art. ID fiw184. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw184>.
24. Lu X, Lao Q, Chen F et al. Assessing the sources and dynamics of organic matter in a high human impact bay in the northern Beibu Gulf: Insights from stable isotopes and optical properties. // Front. Mar. Sci. 2022. vol. 9, 1043278. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1144818>.
25. Munk L. A., Boutt D. F., Hynek S. A. Moran B. Hydrogeochemical fluxes and processes contributing to the formation of lithium-enriched brines in a hyper-arid continental basin. // Chem. Geol. 2018. vol. 493. p. 37–57. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.05.013>.
26. Golan R., Gavrieli I., Ganor J, Lazar B. Controls on the pH of hyper-saline lakes – A lesson from the Dead Sea. Earth Planet Sci. Lett. 2016. vol. 434. p. 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.11.022>.
27. Sun Z., Ma R., Wang Y., Hu Y., Sun L. Hydrogeological and hydrogeochemical control of groundwater salinity in an arid inland basin: Dunhuang basin, northwestern // China. Hydrol. Process. 2016. vol. 30. P. 1884–1902. <https://doi.org/10.1002/hyp.10760>.
28. Zhang W., Zhu G., Qiu D., Liu Y., Sang L., Lin X., Ma H., Zhao K., Xu Y.(). Effects of agricultural activities on hydrochemistry in the Shiyang river basin, CHINA. // Environ. Sci. Pollut. Res. 2022. vol. 30. p. 12269–12282. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22914-z>.
29. Fomin, V.V., Ivancha, E.V. and Polozok, A.A. Resuspension of Bottom Sediments in a Shallow Lagoon by Currents and Waves Based on the Numerical Modeling Data (Using the Example of Sivash Bay, the Sea of Azov). // Physical Oceanography. 2024. vol. 31(3). p. 427–445.
30. Lowenstein T. K., Risacher F. Closed basin brine evolution and the influence of ca-cl inflow waters: Death valley and bristol dry lake California, qaidam basin, China, and salar de atacama, Chile. // Aquat. Geochem. 2009. vol. 15. p. 71–94. <https://doi.org/10.1007/s10498-008-9046-z>.
31. Xiao Y., Shao J., Frapce S., Cui Y., Dang X., Wang S., Ji Y. Groundwater origin, flow regime and geochemical evolution in arid endorheic watersheds: A case study from the qaidam basin, northwestern China. Hydrol. Earth. Syst. Sci. 2018. vol. 22.p. 4381–4400. <https://doi.org/10.5194/hess-22-4381-2018>.

I. I. Rudneva¹,
V. G. Shaida²,
O. V. Shaida¹

*Influence of cclimate and anthropogenic factors
on the ecologic status hypersaline lake Galgass
at the period 2017-2022 (Republic of Crimea)*

¹Marine Hydrophysical Institute, Sevastopol

²Company "EcoService-A", Moscow
e-mail: svg-41@mail.ru

Abstract. *The aim of the study was to investigate seasonal changes in the physicochemical parameters of brine in the Crimean Lake Galgass in the period 2017-2022. An increase in salinity of more than 300 ‰ in the summer correlated with an increase in air and brine temperature and a decrease in oxygen content and pH. In 2017, 2020 and 2022, the lake dried up in the summer and early autumn months, and then recovered in October-November after precipitation. The results obtained can be used to predict the transformation of the ecosystem under climate change and increased anthropogenic activity to optimize the protection of hydromineral resources.*

Key words: *monitoring, Crimea, season changes, climate factors, salt laks*

References

1. Blomqvist S., Gunnars A., Elmgren R. Why the limiting nutrient differs between temperate coastal seas and freshwater lakes: A matter of salt. *Limnol. Oceanog.* 2004, vol.49. P. 2236–2241. <https://doi.org/10.4319/lo.2004.49.6.2236>.
2. Ioannidou I., Manolaki P., Litskas V.D., Vogiatzakis I.N. Temporary Salt Lakes: Ecosystem Services Shift in a Ramsar Site Over a 50-Year Period. *Front. Ecol. Evol.* 2021. vol. 9. P. 662107. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.662107>
3. Gerasimova E.A., Balkin A.S., Filonchikova E.S., Mindolina Y.V., Zagumyonnyi D.G., Tikhonenkov D.V. (2023). Taxonomic Structure of Planktonic Protist Communities in Saline and Hypersaline Continental Waters Revealed by Metabarcoding. *Water.* 2023. vol.15. 2008. <https://doi.org/10.3390/w15112008>
4. Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Boyko E.G., Kutsanov K.V. Effect of environmental factors on the structure and functioning of biocoenoses of hyperhaline water reservoirs in the south of Western Siberia. *Contemporary Problems of Ecology.* 2013. vol.6(3). P. 252–261.
5. Litvinenko L.I., Litvinenko A.I., Boiko E.G., Kutsanov K.V. Artemia cyst production in Russia. *Chinese J. Oceanol. Limnol.* 2015. vol. 33(6), p.1436–1450. <http://dx.doi.org/10.1007/s00343-015-4381-6>
6. Akhmedenov K.M. () Tourist and recreational potential of the salt lakes of Western Kazakhstan, *Geo. J. Tourism. Geosites.* 2020. vol.30 (2). p.782–787. DOI 0.30892/gtg.330022ssppll0011--550055
7. Rudneva I.I., Gaisky P.V., Shaida V.G., Shaida O.V. (). Assessing Climate and Human Activity Effects on Hypersaline Lake Ecosystem: Case Study of Saki Lake, Crimea. *Water.* 2023. Vol.15. 456. <https://doi.org/10.3390/w15030456>
8. Moiseenko T.I., Gashkina N.A. Formation of the Chemical Composition of Lake Waters under Conditions of Environmental Change, Moscow: Nauka: 2010. 275 pp. (in Russian)
9. Aladin N.V., Plotnikov I.S. The concept of relativity and multiplicity of salinity zones and forms of existence of the hydrosphere. *Proc Zool Inst RAS*, 2013. vol. 3. p. 7–21.
10. Tusupova K., Peder Hjorth A., Morave M. Drying lakes: A review on the applied restoration strategies and health conditions in contiguous areas. *Water.* 2020. vol.12. 749. <https://doi.org/10.3390/w12030749>
11. Xinyi F., Yihong Y., Lin M., Xiaoying L., Jiajie L., Fushun W. Coupling effects of hydrological characteristics and nutrient load in sediments on the trophic state of reservoirs. *Acta. Geochim.* 2021. vol. 40. p. 640–64 <https://doi.org/10.1007/s11631-021-00478-y>

12. Singh S.K., Marcy N. Comparison of simple and complex hydrological models for predicting catchment discharge under climate change. *IMS Geosciences*. 2017. vol. 3(3), p.467-497. doi: 10.3934/geosci.2017.3.467 DOI: 10.3934/geosci.2017.3.467
13. <https://nuipogoda.ru/> (accessed on June, 15 2024)
14. Yang Z., Hu L., Ma H., Zhang W. Hydrochemical Characteristics of Groundwater and Their Significance in Arid Inland Hydrology. *Water*. 2023. vol. 15, 1641. <https://doi.org/10.3390/w1509164>
15. Shadkam F., Ludwig T.H., van Vliet A., Pastor A., Kabat P. Preserving the world second largest hypersaline lake under future irrigation and climate change. *Sci. Total Environ.* 2016. vol. 559. p. 317–325. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.190>
16. Wooldridge J.B., Adams K.M., Fernandes M. Biotic responses to extreme hypersalinity in an arid zone estuary. *S. Afr. J. Bot.* 2016. vol. 107. p. 160–169. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2016.05.004>
17. Song D., Chen Z., Wang Y.P., Wu Y. Editorial: Extreme weather events induced coastal environment changes under multiple anthropogenic impacts. *Front. Mar. Sci.* 2023. vol. 10, 1214718. doi: 10.3389/fmars.2023.1214718
18. Goryachkin Yu.N., Dolotov, V.V. Dynamics of Accumulative Shores of Southwestern Crimea. *Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of Sea*. 2023. № 3. p.55 - 70
19. Li L., Song W., Deng C., Zhang D., Al-Misned F.A., Mortuza M.G., Gadd G.M., Pan X. Effects of pH and salinity on adsorption of hypersaline photosynthetic microbial mat exopolymers to goethite: A study using a quartz crystal microbalance and fluorescence spectroscopy *Geomicrobiol. J.* 2016. vol.33(3–4). p. 332–337. <http://dx.doi.org/10.1080/01490451.2015.1052120>
20. Bussi G., Whitehead P.G., Gutiérrez-Cánovas C., Ledesma J.L.J., Ormerod S.J., Couture M. Modelling the effects of climate and land-use change on the hydrochemistry and ecology of the river wye (wales). *Sci. Total Environ.* 2018. vol. 627. p. 733–743. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.295>
21. Sahib L.Y.; Marandi A.; Schüth C. Strontium isotopes as an indicator for groundwater salinity sources in the kirkuk region, Iraq. *Sci Total Environ.* 2016. vol. 562, p.935–945. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.03.185>
22. Cuosovic B., Cigleneckia I., Vilicic D., Ahel L. Distribution and Seasonal Variability of Organic Matter in a Small Eutrophicated Salt Lake. *Estuar. Coast. Shelf Sci.* 2000. vol. 51, p. 705–715. <https://doi.org/10.1006/ecss.2000.0721>
23. Di Meglio L., Santos F., Gomariz M., Almansa C., Lopez C., Anton J., Nercessian D. Seasonal dynamics of extremely halophilic microbial communities in three Argentinian salterns, *FEMS Microbiol. Ecol.* 2016. vol. 92 (12), art. ID fiw184. <https://doi.org/10.1093/femsec/fiw184>
24. Lu X, Lao Q, Chen F et al. Assessing the sources and dynamics of organic matter in a high human impact bay in the northern Beibu Gulf: Insights from stable isotopes and optical properties. // *Front. Mar. Sci.* 2022. vol. 9, 1043278. <https://doi.org/10.3389/fmars.2023.1144818>
25. Munk L.A., Boutt D.F., Hynek S.A. . Moran B. Hydrogeochemical fluxes and processes contributing to the formation of lithium-enriched brines in a hyper-arid continental basin. *Chem. Geol.* 2018. vol. 493. p. 37–57. <https://doi.org/10.1016/j.chemgeo.2018.05.013>

26. Golan R., Gavrieli I., Ganor J., Lazar B. Controls on the pH of hyper-saline lakes – A lesson from the Dead Sea. *Earth Planet. Sci. Lett.* 2016. vol. 434. p. 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.epsl.2015.11.022>
27. Sun Z., Ma R., Wang Y., Hu Y., Sun L. Hydrogeological and hydrogeochemical control of groundwater salinity in an arid inland basin: Dunhuang basin, northwestern China. *Hydrol. Process.* 2016. vol. 30. P. 1884–1902. <https://doi.org/10.1002/hyp.10760>
28. Zhang W., Zhu G., Qiu D., Liu Y., Sang L., Lin X., Ma H., Zhao K., Xu Y. Effects of agricultural activities on hydrochemistry in the Shiyang river basin, CHINA. *Environ. Sci. Pollut. Res.* 2022. vol. 30. p. 12269–12282. <https://doi.org/10.1007/s11356-022-22914-z>
29. Fomin, V.V., Ivancha, E.V. and Polozok, A.A. Resuspension of Bottom Sediments in a Shallow Lagoon by Currents and Waves Based on the Numerical Modeling Data (Using the Example of Sivash Bay, the Sea of Azov). *Physical Oceanography*. 2024. vol. 31(3). p. 427-445.
30. Lowenstein T.K., Risacher F. Closed basin brine evolution and the influence of ca-cl inflow waters: Death valley and bristol dry lake California, qaidam basin, China, and salar de atacama, Chile. *Aquat. Geochem.* 2009. vol. 15. p. 71–94. <https://doi.org/10.1007/s10498-008-9046-z>
31. Xiao Y., Shao J., Frape S., Cui Y., Dang X., Wang S., Ji Y. Groundwater origin, flow regime and geochemical evolution in arid endorheic watersheds: A case study from the qaidam basin, northwestern China. *Hydrol. Earth. Syst. Sci.* 2018. vol. 22.p. 4381–4400. <https://doi.org/10.5194/hess-22-4381-2018>.

Поступила в редакцию 20.01.2025 г.