

УДК

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

Климова А. С., Горбунов Р. В.

*ФГБУН «Карадагская научная станция им. Т.И.Вяземского – природный заповедник РАН»
Таврическая академия (структурное подразделение) ФГАОУ ВО «Крымский федеральный
университет имени В.И. Вернадского»*

E-mail: 123klimova321@gmail.com; karadag_station@mail.ru

Работа посвящена изучению изменения гидрохимических характеристик соляных озер Евпаторийской группы в период 1948–2009 гг. под воздействием природных и антропогенных факторов. Была выяснена роль природных и антропогенных факторов в изменении динамики Восточного и Западного бассейна Сакского озера. В условиях полного регулирования человеком Восточного бассейна, влияние природных факторов на формирование минерализации рапы озера нивелируется, а все изменения гидрохимических характеристик рапы обусловлены антропогенными факторами.

Ключевые слова: соляные озера, рапа, температура, соленость, коэффициент метаморфизации, природные факторы, антропогенные факторы.

ВВЕДЕНИЕ

Ландшафт суши Каламитского залива Крымского полуострова представляет собой низменную равнину, изрезанную балками. Некоторые из них затоплены и превращены в лиманы, отшнуровавшиеся от моря песчаными пересыпями и превратившиеся в соляные озера, которые привлекают внимание туристов, так как являются источником минеральных ресурсов, а именно рапы и лечебной грязи. К сожалению, эти минеральные ресурсы в подавляющем количестве случаев изымаются бесконтрольно в целях самолечения.

Гипергалинные водоемы обладают рядом специфических гидрохимических характеристик, в частности, повышенными показателями минерализации, что обусловило зарождение к ним научного интереса.

Актуальность работы обусловлена тем, что соляные озера Крыма являются уникальными природными образованиями с богатым химическим составом. Поэтому для их сохранения и рационального использования необходим тщательный мониторинг гидрохимических свойств рапы, обработка и анализ полученных данных, а также выявление преобладающей роли внешних факторов, которые обуславливают возникшие изменения.

Несмотря на огромный объем исследований в данной области, начиная с XIX века по настоящее время, остались не до конца изученными вопросы внутри- и межгодовой динамики изменения гидрохимических свойств рапы, а также факторов, на нее влияющих, что и составляет научную проблему данного исследования.

Цель работы – выявление особенностей внутри- и межгодовой динамики минерализации озер, а также роли природных и антропогенных факторов в ее изменении за период XX – начало XXI века.

Задачи, решаемые в процессе выполнения работы:

- изучить историю исследования соляных озер Евпаторийской группы;

- дать гидрохимическую характеристику для каждого озера в соответствии с имеющимися данными;
- описать внутри- и межгодовую динамику изменения гидрохимических свойств рапы;
- определить роль природных и антропогенных факторов в динамике изменения гидрохимических свойств рапы, в частности, минерализации.

1. ИЗЛОЖЕНИЕ ОСНОВНОГО МАТЕРИАЛА

История исследования гидрохимических свойств рапы озёр Евпаторийской группы

Уникальные свойства крымских соляных озер были замечены еще в начале XIX столетия. Исследователи не могли не обратить внимания на чрезвычайно высокую минерализацию этих водоемов, а так же на то, какое влияние она оказывает на данные экосистемы. В связи с этим, был предпринят ряд экспедиций с целью отбора рапы и пелоидов в разных точках исследуемых озер для последующего проведения химического анализа взятых проб. Наибольший интерес в этом плане представляли озера северного (Перекопская группа) и западного (Евпаторийская группа) Крыма, на базе которых в настоящее время функционируют предприятия химической промышленности (север) и лечебные санатории (запад).

Ученых, которые занимались или занимаются изучением соляных озер, можно разделить на несколько групп с точки зрения предмета изучения:

1) гидрохимических свойств рапы и пелоидов (Курнаков Н. С. и др. [1,2], Каблуков И. А., Каблуков А. С. [3], Дзенс-Литовский А. И. [4], и др. [5, 6,7,8];

2) лечебного и оздоровительного эффекта (Оже Н. А. [9], Налбандов С. С. [10], и др. [11,12];

3) ландшафтов, экологического состояния акватории и прилегающих территорий соляных озер (Позаченюк Е. А., Яковенко И. М. [13], Пасынков А. А. и др. [14], Олиферов А. Н., Тимченко З. В. [15], Соцкова Л. М. и др. [16], в работе под руководством профессора Бокова В. А. [17, 18], Соцкова Л. М. и др. [19]).

В начале 19 века на водоемах Евпаторийской группы начали проводиться гидрохимические изыскания, а в 1895 году академик Курнаков Н. С. [1] посетил Евпаторийскую группу и оз. Донузлав.

Летом 1911 года Каблуков И. А. и Каблуков А. С. предприняли поездку в Крым с целью изучения химического состава озер Евпаторийской группы. Для этого ими были отобраны пробы рапы и грязи с оз. Сакское и оз. Сасык-Сиваш, а также из Черного моря вблизи пересыпей. На основе полученных данных в 1915 году Каблуков И. А. и Каблуков А. С. издали книгу «Крымскія солёныя озера. О добывании натриевых и калийных солей» [3], где были подробно описаны результаты исследований и методы определения химического состава водоемов. Летом 1917 года Сакское озеро посетил Ферсман А. Е., впоследствии им был издан труд «Къ геолого-минералогическому обследованію Сакскаго озера» [20].

Ученик Ферсмана А. Е. и Курнакова Н. С., Дзенс-Литовский А. И., занимался изучением соляных озер в масштабах всего СССР: в Забайкалье, Прибайкалье,

Якутии Урале, Западной Сибири, Крыму. Его деятельность была направлена на решение важных практических задач. Так, благодаря его рекомендациям в свое время был расширен Сакский бромный завод, основан Перекопский химический комбинат. Сферой изучения Дзенс-Литовского А. И. была гидрология и геология соляных месторождений. Он создал методику комплексного гидрогеологического изучения гипергалинных водоемов и успешно внедрял ее в науку. В 1933 г. был издан труд под названием «Пересыпи и косы крымских соляных озер» [21], в 1934 г. – «Гидрогеологические условия Евпаторийской группы минеральных озер» [22], в 1968 г. – «Соляные озера СССР и их минеральные богатства» [3], а в 1936 г. в соавторстве с Курнаковым Н. С., Кузнецовым В. Г., Равичем М. И. вышла книга «Соляные озера Крыма» [2]. Здесь было дано подробное описание водоемов, начиная с их генезиса и заканчивая химическим составом.

Обладая рядом полезных для человеческого организма свойств, минеральные ресурсы Евпаторийской группы озер стали рассматриваться в целях оздоровления. В этом ключе исследуются методы лечения болезней опорно-двигательного аппарата, кожных, гинекологических и других заболеваний при помощи грязей; расчет количества необходимых процедур и их продолжительности.

Кроме того, с 1926 г. начинает функционировать Сакская, ныне Крымская ГПРЭС. На базе этой организации проводятся санитарно-эпидемиологические, физико-химические и бактериологические изыскания проб рапы и пелоидов, взятых с различных озер или нескольких точек одного озера. Кроме того, проводится количественная оценка запасов ресурсов водоемов. На основе полученных результатов изданы научные труды как в пределах организации («Кадастр прибрежных озер республики Крым. Их хозяйственное использование» [23]), так и в сотрудничестве с другими научными структурами («Устойчивый западный Крым. Крымские золотые пески» [24]). В «Кадастре...» описаны прибрежные озера всех четырех групп (Перекопской, Тарханкутской, Керченской, Евпаторийской), подсчитаны запасы минеральных ресурсов по степени геологической изученности. В работе «Устойчивый западный Крым. Крымские золотые пески» рассмотрены как аспекты социально-экономического развития западного Крыма, так и ресурсы, этому способствующие. Исследователями, возглавившими описываемое направление деятельности, являются Гулов О. А. [25], Чабан В. В. [8], Васенко В. И. и др. [26].

На фоне усиления антропогенной деятельности стало уделяться внимание экологическому состоянию соляных озёр и методам по его сохранению, изучению флоры и фауны гипергалинных водоёмов.

В работе Болтачева А. Р. с соавт. [27] дана комплексная оценка, как гидрохимических характеристик минеральных ресурсов озёр, так и их биотической составляющей. В труде Алексашкина И. В. с соавт. [6] описаны физико-химические показатели Сакского и Отар-Мойнакского озер, где выявлены значительные различия между гидрохимией водоёмов вследствие неодинакового их вовлечения в деятельность человека. Кроме того, Алексашкин И. В. с соавт. [5] даёт характеристику природы бассейна озера Сасык-Сиваш с комплексным описанием всех компонентов ландшафта и указанием факторов миграции химических элементов в почвенном профиле. Котова И. К. с соавт. [28, 29] описывали закономерности

формирования иловых грязей Мертвого моря и соляных озер Крыма и проводили сравнительную характеристику принципов формирования природных минеральных ресурсов Крыма и зарубежья. Представители РГПУ им. А. И. Герцена Морозова М. А. с соавт. [30] изучали геохимический состав донных отложений соляных озер Крыма с целью реконструкции палеогеоэкологических условий среды. Соляные озера как курортно-рекреационный район попали в сферу изучения Позаченюк Е. А. и Яковенко И. М. [13]. В работе Пасынкова А. А. с соавт. [14] выявлены конфликты природопользования на территории водосборов соляных озер, описано современное экологическое состояние озер, а так же перспективы их дальнейшего использования в рамках бальнеологии. Соцкова Л. М. с соавт. [19] даёт экологическую характеристику соляных озёр, в число которых входит Сакское и Мойнакское.

2. ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАПЫ ОЗЁР ЕВПАТОРИЙСКОЙ ГРУППЫ

Соляные озера Евпаторийской группы протягиваются вдоль побережья Каламитского залива Крымского полуострова (Рис. 1).

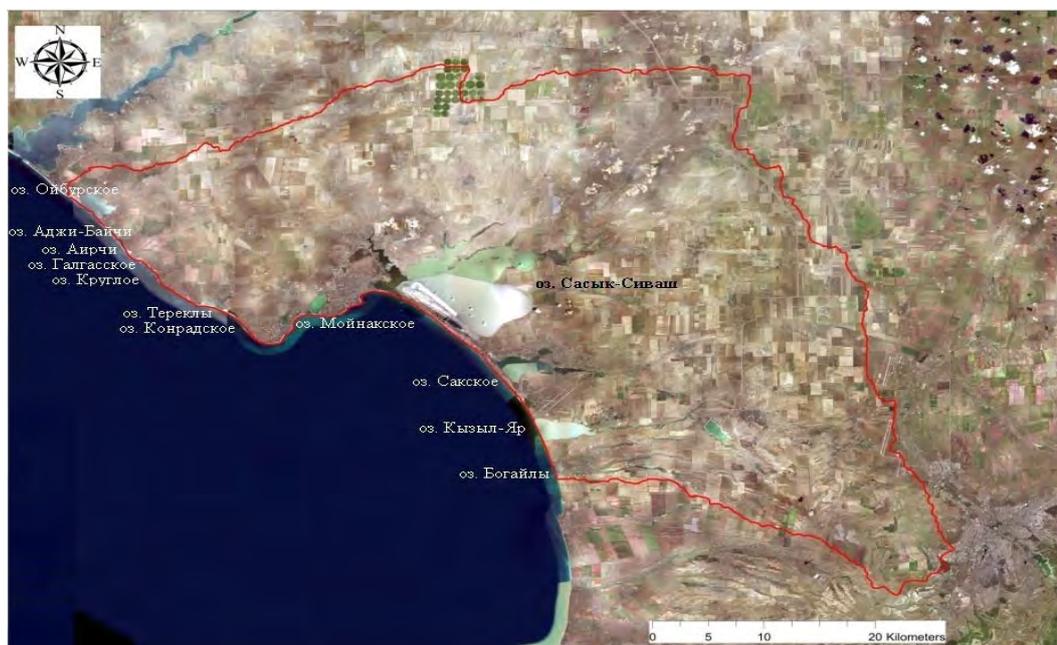


Рис. 1. Территория водосбора Евпаторийской группы озер.

Рапа озер Евпаторийской группы отличается высокими показателями минерализации и является одним из факторов формирования лечебных грязей. Кроме того, в ее состав входит большое количество микро- и макроэлементов. В связи с этим, еще с давних времен гидроминеральные ресурсы озер рассматривались как сырье для химической промышленности и рекреации. В настоящее время на базе

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

водоемов развивается грязелечение, производство косметической продукции и солепромысел. Это обуславливает необходимость регулярного мониторинга экологического состояния рапы и пелоидов, а так же их химического состава. Подробнее будут рассмотрены показатели для рапы озер Евпаторийской группы, а именно: Ойбурского, Аджиджайчи, Галгасского, Круглого, Тереклы, Конрадского, Мойнакского, Сасык-Сиваш, Сакского, Кызыл-Яр, Богайлы.

Временной промежуток, охватывающий изучаемый период, составляет 10 лет с 1972 по 1982 гг. (Рис. 2). В его начале уровень минерализации для трёх озёр – Аджиджайчи, Мойнакского и Круглого достигал максимальных значений, для Конрадского и Аирчи – близких к максимальным, для Большого и Малого Ойбурского – средних и для Галгасского – чуть ниже средних. До 1978 г. Уровень минерализации водоёмов изменялся относительно плавно, что, скорее всего, связано с пробелами в рядах данных.

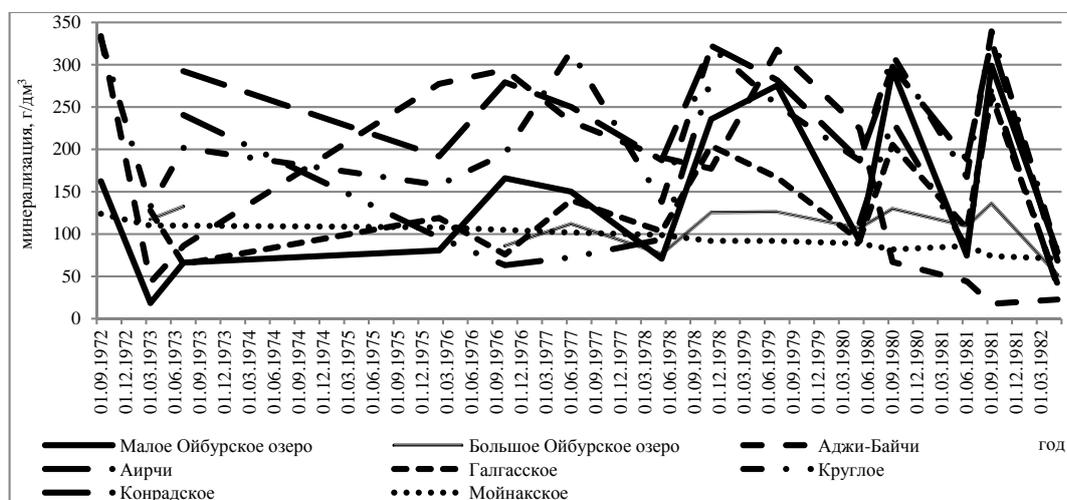


Рис 2. Динамика изменения уровня минерализации озёр Евпаторийской группы (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

После 1978 г. в акватории всех озёр, кроме Мойнакского и Большого Ойбурского был зафиксирован ряд резких скачкообразных изменений, продолжающихся вплоть до 1982 г. с очень большими внутригодовыми амплитудами. Их максимальные значения, в основном, были зафиксированы в сентябре, что может быть связано с последствиями от интенсивного испарения в летний период и малым количеством осадков. Минимальные значения уровня минерализации были характерны для марта и мая, что можно объяснить низкой интенсивностью испарения и повышенным количеством осадков в зимний и весенний период. К концу изучаемого временного отрезка показатели минерализации всех озёр опустились до минимальных или близких к ним отметок. Не исключено, что это может быть частью следующего резкого повышения минерализации. Мойнакскому озеру присуще постепенное

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

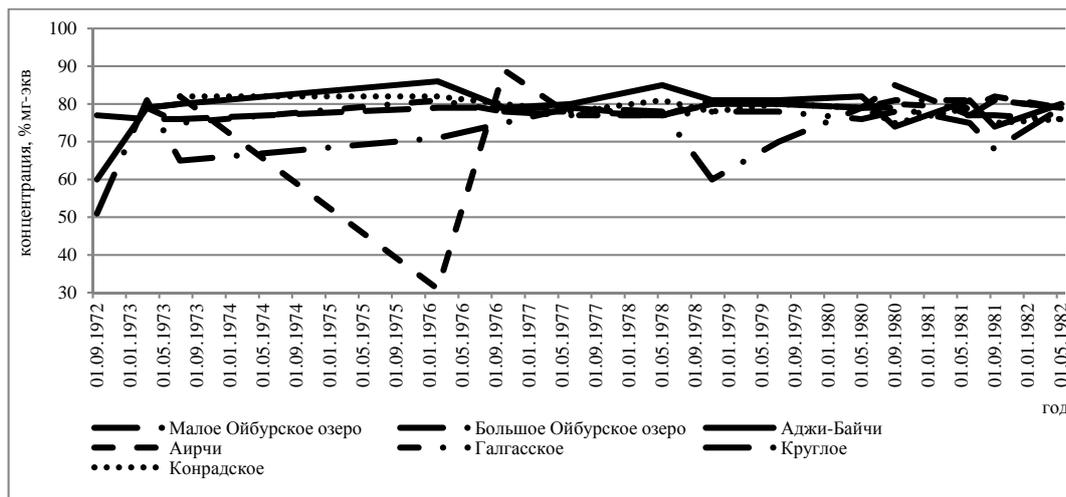


Рис. 4. Динамика изменения концентрации Na в рапе озер Евпаторийской группы (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

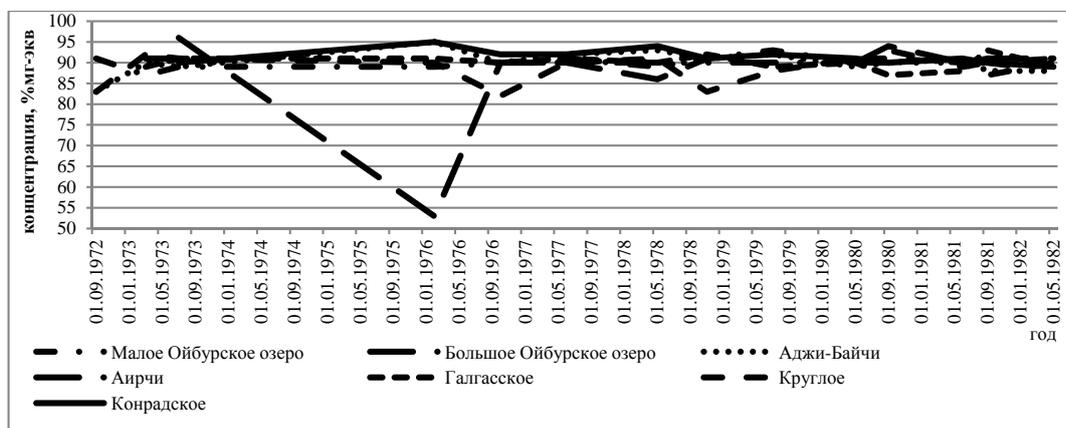


Рис. 5. Динамика изменения концентрации Ca в рапе озер Евпаторийской группы (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

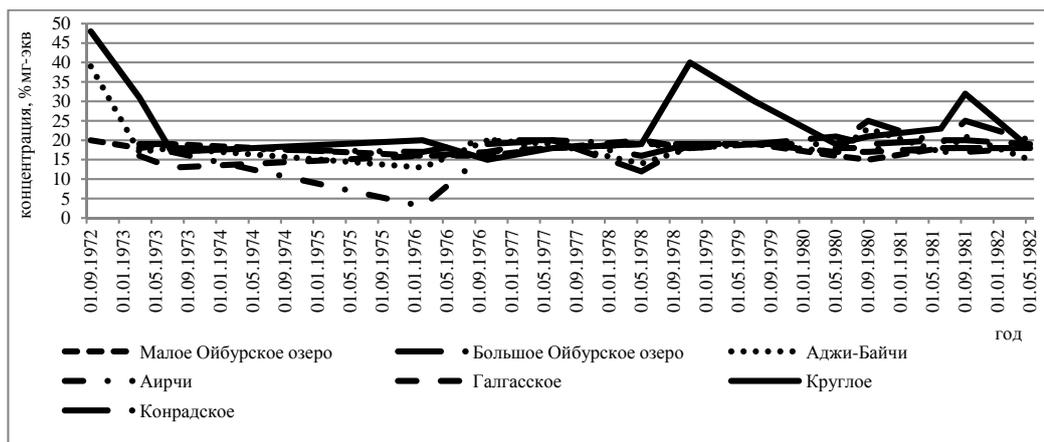


Рис. 6. Динамика изменения концентрации Mg в рапе озер Евпаторийской группы (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

3. ДИНАМИКА ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР НА ПРИМЕРЕ САКСКОГО ОЗЕРА

Внутригодовая динамика гидрохимических свойств рапы

В данном подразделе будет рассмотрено изменение температуры, абсолютной отметки над уровнем моря, отбора рапы, минерализации, количества растворенных веществ, а так же коэффициента метаморфизации Восточного и Западного бассейна Сакского озера по месяцам за период с 1948 по 2005 гг. Для изучения режима данных водоемов будет произведен анализ внутригодовых изменений перечисленных показателей. На их основе будут строиться выводы касательно изучаемого вопроса.

В настоящее время Восточный бассейн используется для отбора лечебной грязи и рапы. Температура рапы в течение года не опускается ниже 0°C и достигает минимального значения +0,5°C в январе. Затем плавно повышается до максимальной отметки 25°C в июле и снижается до 3,6°C в декабре (Рис. 7).

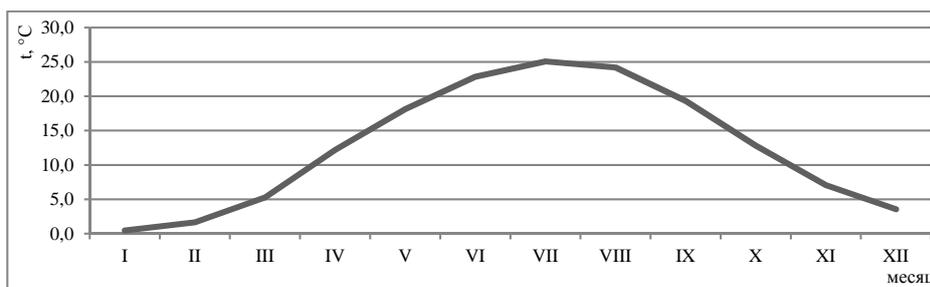


Рис. 7. Среднемесячная температура рапы Восточного бассейна (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Описанный ход изменения температуры вполне закономерен для климата

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

крымского полуострова. Данные по изменению температуры рапы Западного бассейна отсутствуют.

Уровень рапы Восточного бассейна плавно снизился от максимального значения 1,2 м в феврале до минимального -0,71 м в декабре (Рис. 8). Максимальное значение можно объяснить как выпадением осадков в весенний период, так и поступлением поливных вод с территории водосбора. Сентябрьский минимум, в свою очередь, с последствиями повышенной температуры воздуха и испарения в летнее время, а так же интенсификацией отбора рапы и грязи в курортный сезон.

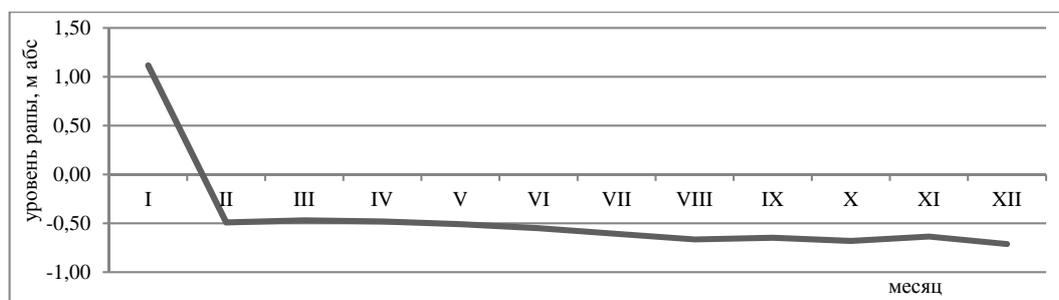


Рис. 8. Уровень рапы Восточного бассейна (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Стоит отметить, что минимальный показатель абсолютного уровня водоема и максимальный – отбора рапы на лечебные процедуры не совпадают, так как режим водоема полностью контролируется человеком. Диапазон отбора колеблется в среднем от 7 тыс м³ в январе и феврале до 10,8 тыс м³ в июле и августе, что вполне закономерно: наиболее интенсивное изъятие минеральных ресурсов из водоема приходится на курортный сезон (Рис. 9). Данные по уровню и отбору рапы на лечебные процедуры в Западном бассейне отсутствуют.

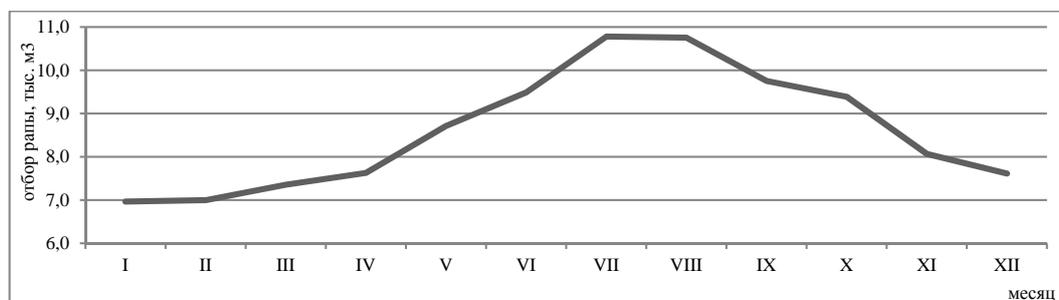


Рис. 9. Отбор рапы из Восточного бассейна на лечебные процедуры (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Уровень минерализации рапы Восточного и Западного бассейна плавно

возрастает от минимальных значений в марте и апреле до максимальных в октябре и сентябре соответственно (Рис. 10). Скорее всего, осенний максимум связан с последствиями высоких температур воздуха и интенсивного испарения в летний период, весенний минимум – с низкими зимними температурами воздуха и, как следствие, малым испарением с водной поверхности, осадками.

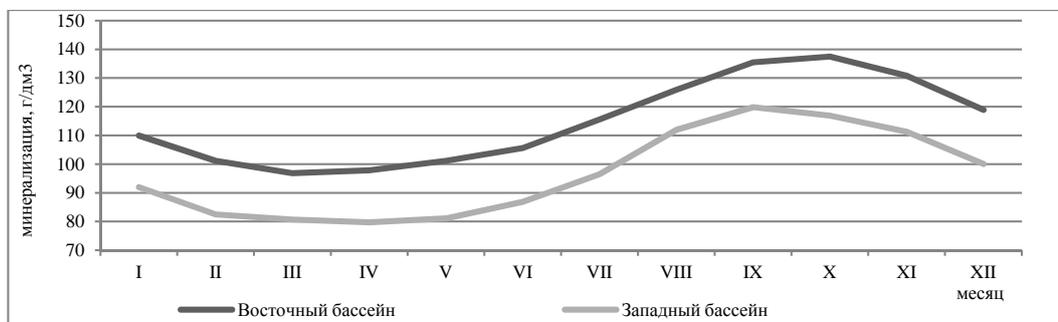


Рис. 10. Внутригодовая динамика изменения уровня минерализации рапы Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Динамика изменения коэффициента метаморфизации рапы Восточного и Западного бассейна не имеет никаких схожих черт. В Восточном бассейне она остается практически неизменной и на протяжении всего года колеблется в пределах 0,88–0,95 с резким повышением до 1,17 в июне (Рис. 11). В Западном бассейне коэффициент метаморфизации рапы значительно выше и колеблется в пределах 1,3–1,4 с максимумом 1,45 в августе.

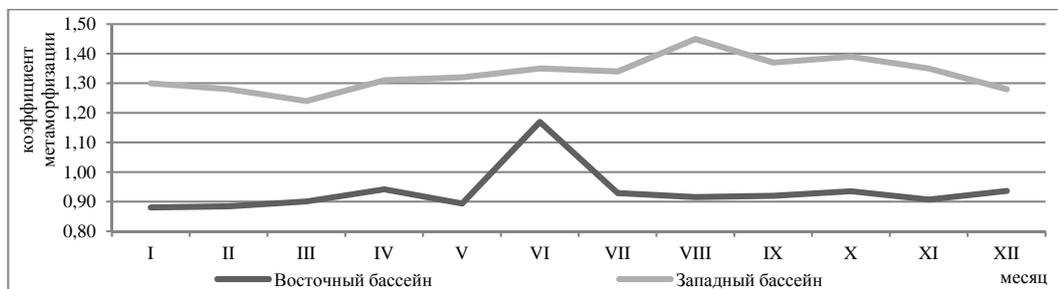


Рис. 11. Внутригодовая динамика изменения коэффициента метаморфизации рапы Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Что касается растворенных в рапе веществ, то для ряда элементов здесь наблюдается одинаковая тенденция в изменении концентрации. К ним относятся: Na, K (Рис. 12), Mg (Рис. 13), Cl (Рис. 14), SO₄ (Рис. 15). Для всех этих элементов

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

зафиксированы минимальные показатели уровня концентрации в марте. Затем прослеживается тенденция к плавному увеличению до максимальных значений в сентябре. Таким образом, динамика изменения минерализации полностью идентична динамике изменения растворённых в рапе элементов.

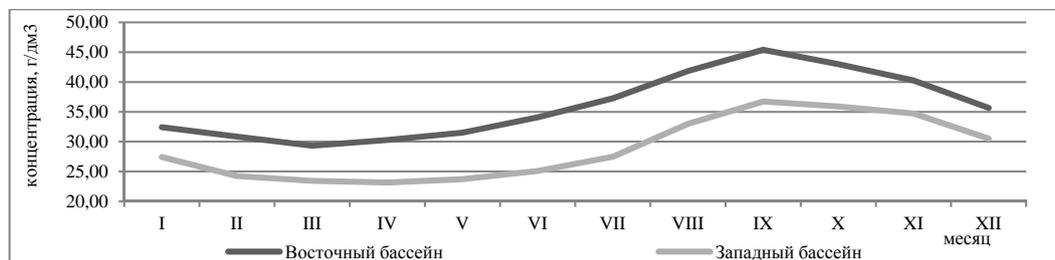


Рис. 12. Внутригодовая динамика изменения концентрации Na+K в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

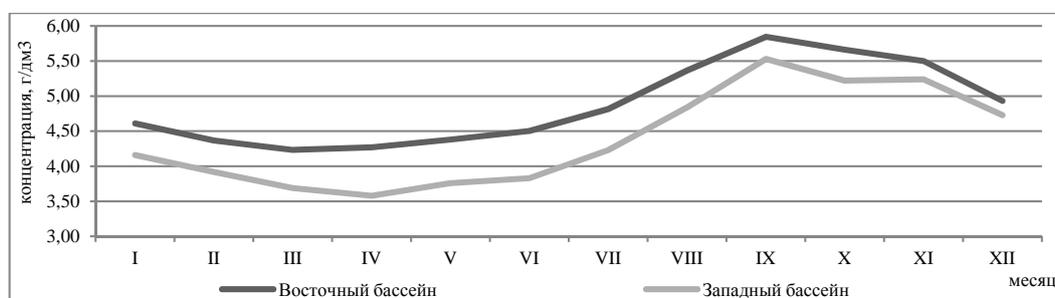


Рис. 13. Внутригодовая динамика изменения концентрации Mg в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

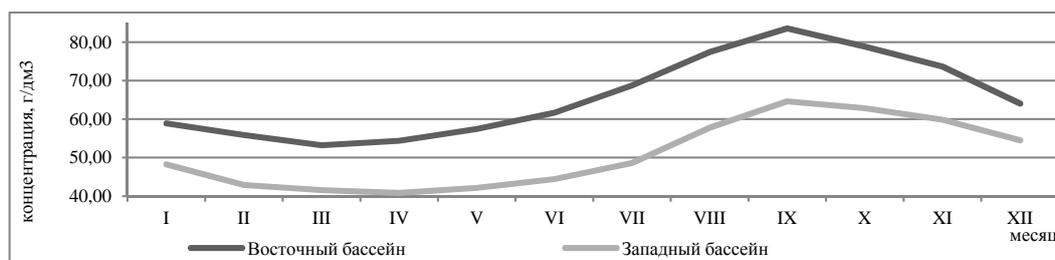


Рис. 14. Внутригодовая динамика изменения концентрации Cl в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

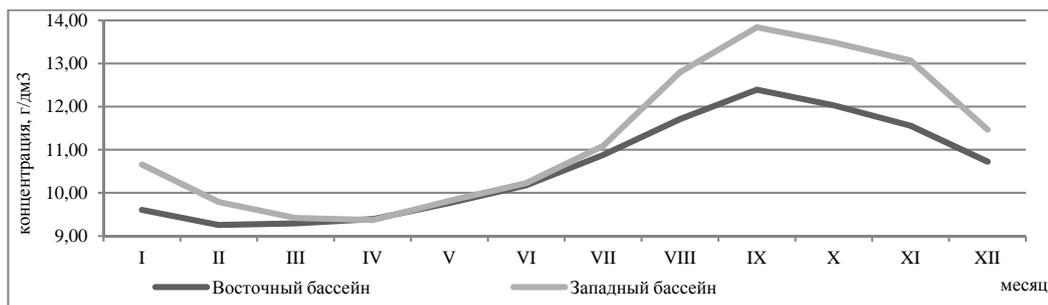


Рис. 15. Внутригодовая динамика изменения концентрации SO₄ в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Для содержания Са в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера наблюдается схожая тенденция с февраля до декабря с повышениями в марте и августе (Рис. 16). В отличие от вышеперечисленных элементов, концентрация кальция имеет свою динамику, не соответствующую динамике изменения уровня минерализации. Содержание гидрокарбонатов низкое и колеблется в пределах 0,1–0,2 г/дм³. Только в Западном бассейне зафиксировано резкое повышение до 0,7 г/дм³ в феврале (Рис. 17).

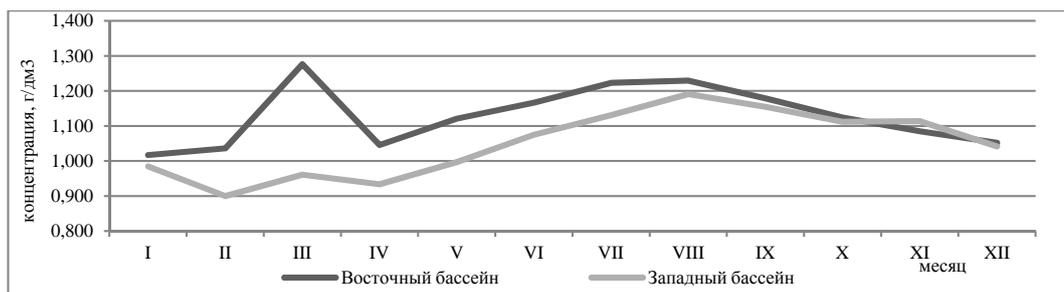


Рис. 16. Внутригодовая динамика изменения концентрации Са в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

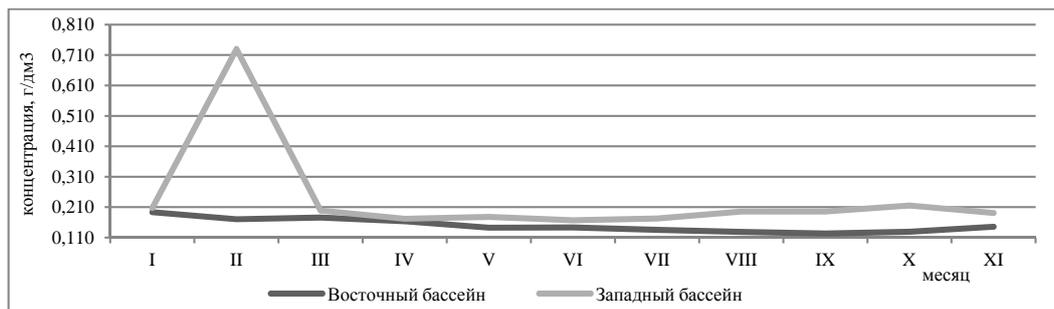


Рис. 17. Внутригодовая динамика изменения концентрации HCO_3^- в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Межгодовая динамика гидрохимических свойств рапы

В данном разделе будет рассмотрено изменение температуры, абсолютной отметки над уровнем моря, отбора рапы, минерализации, количества растворенных веществ, а так же коэффициента метаморфизации рапы Восточного и Западного бассейна Сакского озера в период с 1948 по 2008 гг. Для изучения режима данных водоемов будет произведен анализ межгодовых изменений перечисленных показателей. На их основе будут строиться выводы касательно данного вопроса.

Как было отмечено выше, минеральные ресурсы Восточного бассейна используются в целях бальнеолечения, поэтому для комплексного изучения гидрохимических свойств рапы измеряется её температура, уровень и интенсивность отбора, чего не делается в Западном бассейне.

Температуры рапы Восточного бассейна на протяжении 60 лет колебалась на уровне 12–14°C (Рис.18). Лишь резкое понижение до 6°C зафиксировано в 1969 г.

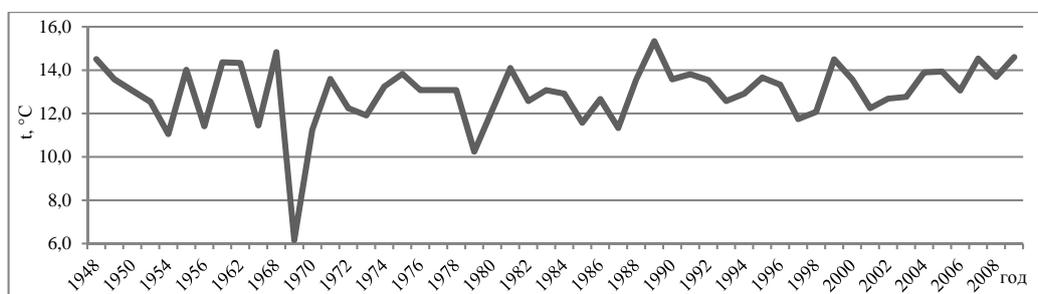


Рис. 18. Межгодовая динамика изменения температуры рапы Восточного бассейна (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Уровень рапы за исследуемый промежуток времени был резко снижен до отрицательных отметок (Рис. 19). С 1948 по 1972 гг. он колебался в пределах 0,4–

0,7 м, а с 1972 по 1973 гг. снизился более чем в 2 раза – с 0,5 до –1,2 м, и ни разу не возвращался к исходной отметке до конца изучаемого периода. Замечена слабая тенденция к поднятию уровня до -1 м. Скорее всего это связано с излишне активным отбором рапы на лечебные процедуры.

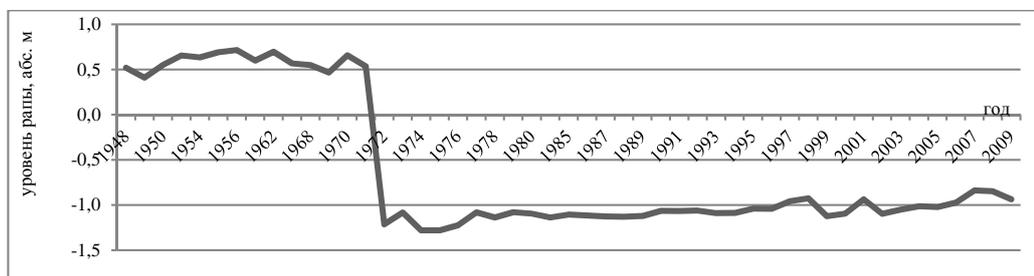


Рис. 19. Межгодовая динамика изменения уровня рапы Восточного бассейна (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Отбор рапы на лечебные процедуры достиг своего пика в 1977 г. и 1979 г. и составил около 300 тыс. м³ (Рис. 20). В годы, когда уровень рапы снизился более чем в два раза (1972–1973 гг.) отбор рапы увеличился так же в два раза: с 50 по 100 тыс. м³. На протяжении последующего промежутка времени (до 1989 г.) отбор рапы на лечебные процедуры составлял 100 тыс. м³ и более, что, скорее всего, привело к сильному падению уровня водоема. Далее этот показатель плавно снижался и к 2009 г. достиг 13,3 тыс. м³.

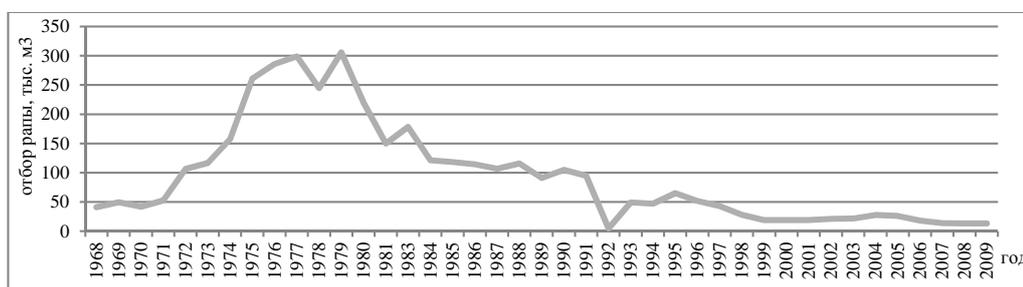


Рис. 20. Межгодовая динамика отбора рапы из Восточного бассейна (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Уровень минерализации (Рис. 21) на протяжении изучаемого промежутка времени колебался в диапазоне от 60 г/дм³ до 160 г/дм³ в Западном и до 180 г/дм³ в Восточном бассейне. Из графиков видно, что динамика изменения минерализации рапы двух субводоемов практически идентична, только в начале изучаемого промежутка времени (1972 г.) амплитуда колебаний выше в Западном бассейне, а в конце (2002 г.) – в Восточном. Так же в последнем на протяжении почти 20 лет (1979–

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

1998 г.) солёность колебалась в пределах 100 г/дм^3 , что может быть связано с искусственным регулированием водно-солевого баланса водоёма. На фоне этого в Западном бассейне минерализация медленно росла, а в 1994–96 гг. произошло её повышение с последующим снижением до близких к минимальным значений.

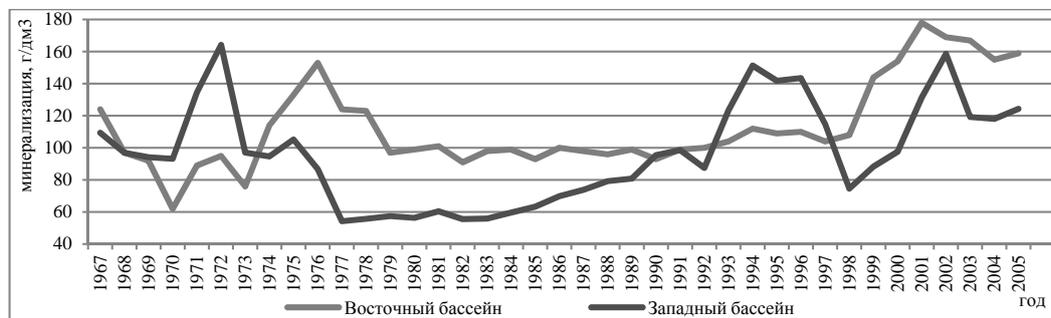


Рис. 21. Динамика изменения минерализации рапы Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Что касается изменения концентрации растворенных в рапе веществ, то для некоторых элементов наблюдается схожая динамика колебания с течением времени. К ним относятся: $\text{Na}+\text{K}$ (Рис. 22), Cl (Рис. 23), Mg (Рис. 24), SO_4 (Рис. 25).

В Восточном бассейне кривые средних показателей для этих элементов с 1967 по 2005 г. идентичны. 1970 г. характеризуется резким снижением по обоим показателям, затем – резким повышением к 1977 г. И с 1979 г. по 1998 г. концентрация растворенных в рапе элементов держится на среднем уровне, как и минерализация рапы водоёма. В 2001 г. зафиксировано второе резкое повышение до значения, близкого к максимальному, и к 2005 г. удерживалось на уровне выше среднего. Кривые изменения динамики минерализации полностью идентичны кривым изменения концентрации растворённых в рапе элементов.

В Западном бассейне для всех вышеперечисленных элементов кривые средних показателей с 1967 по 2005 г. практически идентичны. Первый скачок концентрации, достигший значений, близких к максимальным, был зафиксирован в 1971 г. (кроме сульфатов). Затем к 1973 г. произошел спад с последующим подъёмом к 1975 г. В 1977 г. концентрация всех элементов достигла минимальных значений и колебалась на данном уровне до 1986 г. Затем к 1994 г. концентрация всех вышеперечисленных элементов достигла максимума, а к 1998 г. упала до значений, приближенных к минимальным. В Западном бассейне графики изменения динамики минерализации так же идентичны графикам изменения концентрации растворённых в рапе элементов.

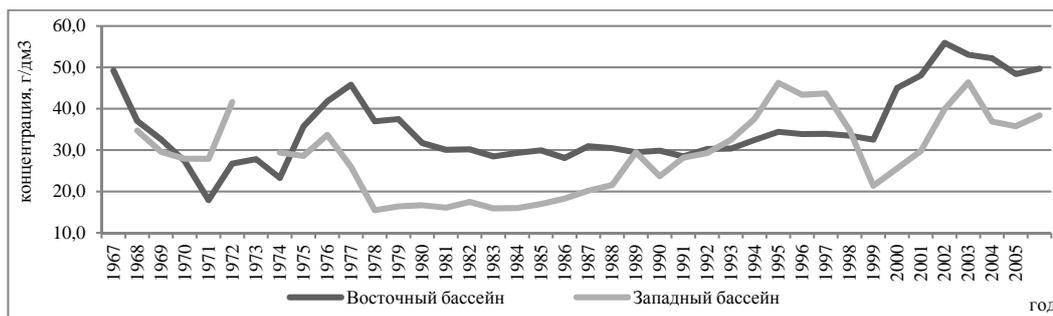


Рис. 22. Динамика изменения концентрации Na+К в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

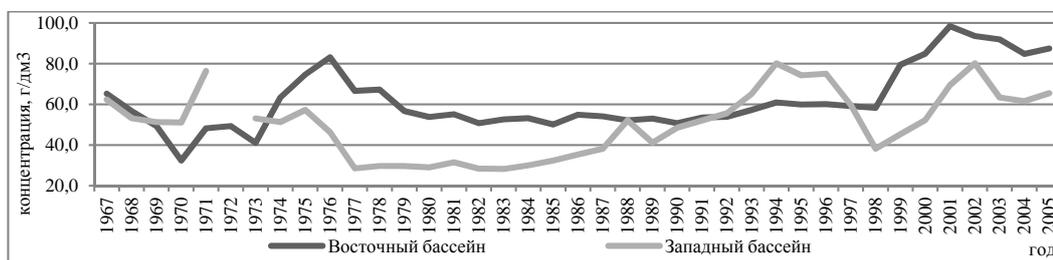


Рис. 23. Динамика изменения концентрации Si в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

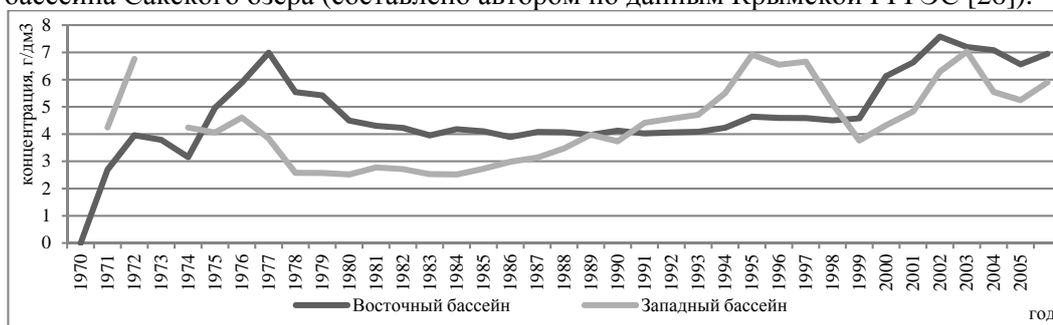


Рис. 24. Динамика изменения концентрации Mg в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

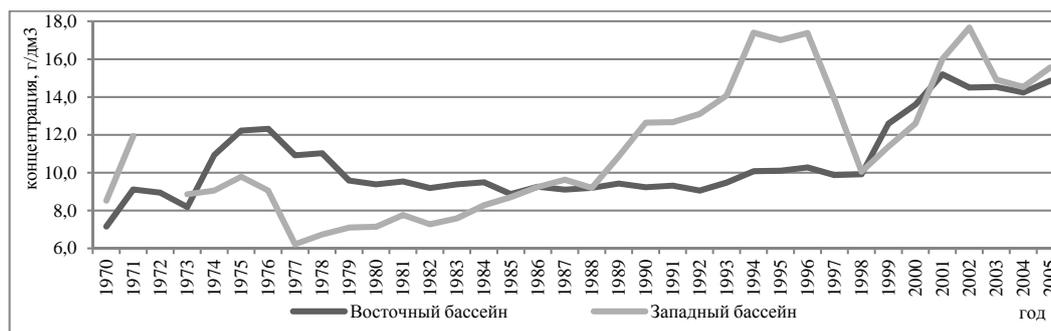


Рис. 25. Динамика изменения концентрации SO_4 в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Содержание кальция в пределах изучаемого периода колебалось от 0,9 до 1,9 г/дм³ (Рис. 26). В Восточном бассейне минимальное значение было зафиксировано в 2002 г., максимальное – в 1978 г. И к 1979 г. наблюдался резкий спад до 1,1 г/дм³. В среднем до 1991 г. содержание кальция колебалось у отметки 1,2 г/дм³. А начиная с 1992 г. начало постепенно снижаться и удерживаться на отметке 0,9 г/дм³. Содержание гидрокарбонатов в рапе Восточного бассейна незначительно (около 0,1–0,2 г/дм³) и изменяется скачкообразно. В изучаемый промежуток времени (1967–2005 гг.) держалось на отметке 0,1–0,15 г/дм³ с максимальными значениями 0,21 г/дм³, 0,22 г/дм³ и 0,23 г/дм³ в 1991 г., 1999 г., и 2001 г. соответственно (Рис. 27). Причины такой динамики остаются невыясненными. Коэффициент метаморфизации рапы Восточного бассейна (Рис. 28) держался на отметке 0,8–0,9 на протяжении более 30 лет (с 1962 по 1999 г.). Лишь в 2001 г. он достиг своего максимума 1,78, затем понизился до 1 и до 2005 г. колебался в пределах этого значения.

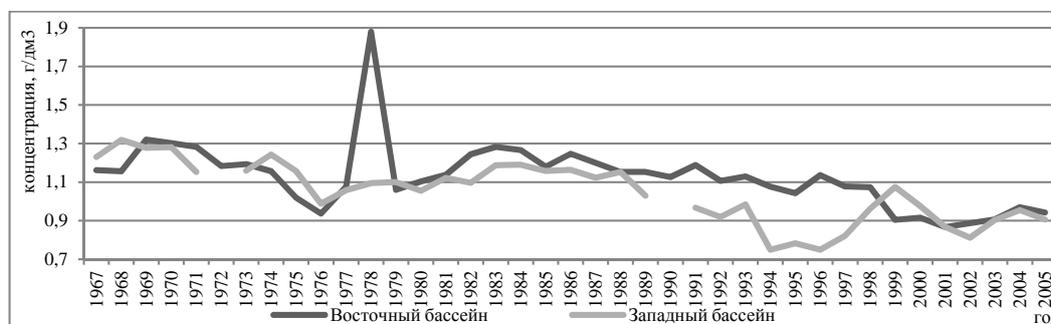


Рис. 26. Динамика изменения концентрации Ca в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

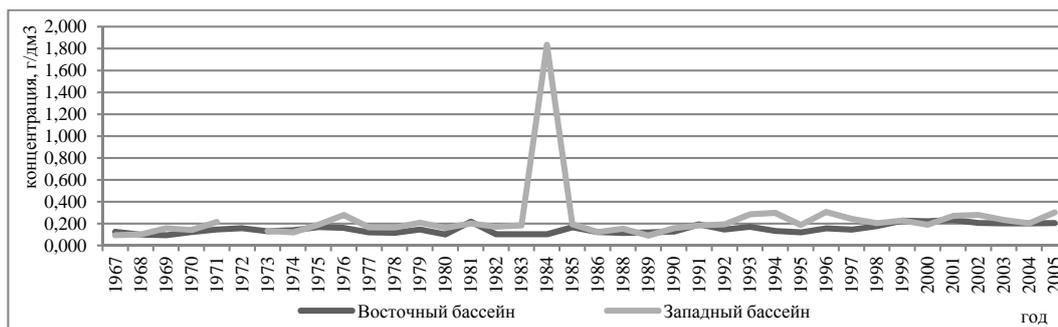


Рис. 27. Динамика изменения концентрации HCO_3^- в рапе Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Что касается содержания кальция в рапе Западного бассейна, то его максимальное значение $1,3 \text{ г/дм}^3$ было зафиксировано в 1968 г. и до 1991 г. колебалось в пределах $1-1,2 \text{ г/дм}^3$. Затем в 1994 г. концентрация снизилась до $0,7 \text{ г/дм}^3$ и к 2005 г. удерживалась на отметках $0,8-1 \text{ г/дм}^3$. Содержание гидрокарбонатов на протяжении всего периода исследования (1967–2005 гг.) находилось в пределах $0,2 \text{ г/дм}^3$. Только в 1984 г. было зафиксировано резкое повышение до $1,8 \text{ г/дм}^3$, что может быть связано с антропогенным воздействием на экосистему. Коэффициент метаморфизации рапы Западного бассейна был подвержен не очень резким изменениям и на протяжении всего изучаемого периода сохранял тенденцию к увеличению. Начиная с 1990 г. и до 2005 г., его значения периодически приближались к 1,9, что являлось максимальной отметкой данного показателя.

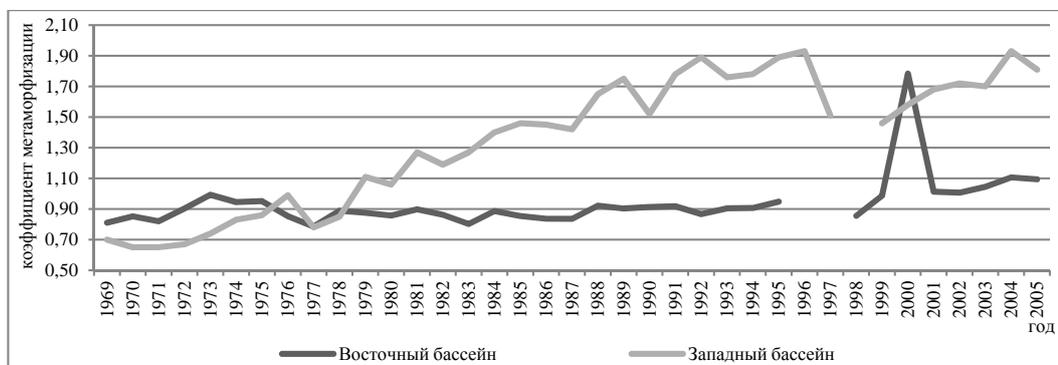


Рис. 28. Динамика изменения коэффициента метаморфизации рапы Восточного и Западного бассейна Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

4. ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ДИНАМИКУ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ САКСКОГО ОЗЕРА

Влияние природных факторов на динамику гидрохимических свойств рапы Сакского озера

Влияние природных факторов на динамику изменения уровня минерализации и концентрации растворенных в рапе элементов заключается в специфике климата на территории водосбора, который характеризуется большим количеством солнечных дней и, как следствие, высокими показателями солнечной радиации. Количество осадков небольшое, а интенсивность испарения высокая, что приводит к повышенной сухости климата. Межгодовой ход изменения температуры воздуха отображен на рис. 29. Среднегодовая температура колеблется в пределах 10–15°C, минимальная редко опускается ниже 0°C, а максимальная достигает 20–25°C.

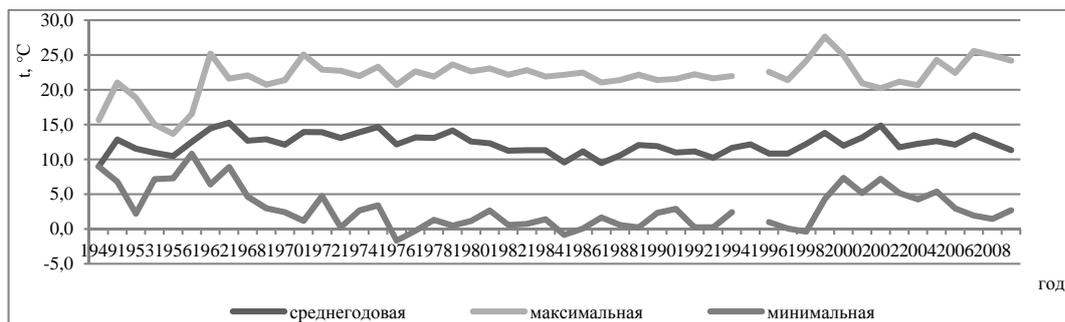


Рис. 29. Межгодовая динамика колебания температуры воздуха в районе Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Среднегодовая влажность колеблется в пределах 60–80%, минимальная редко опускается ниже 40%, а максимальная часто достигает 98–100% (Рис. 30). К концу изучаемого периода средние показатели достигают повышенных значений.

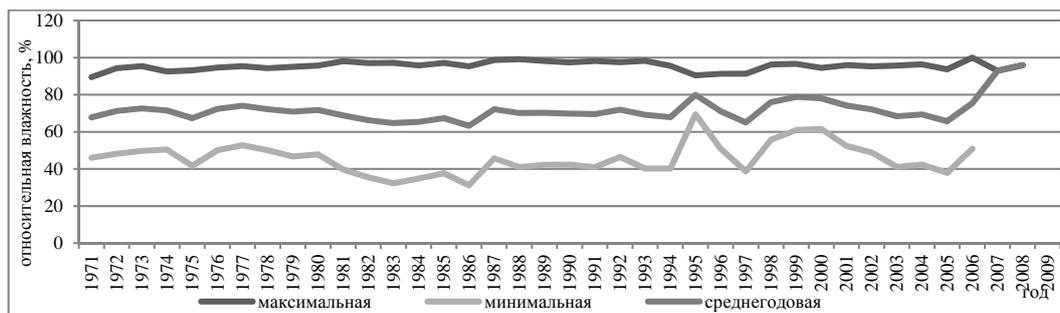


Рис. 30. Межгодовая динамика колебания относительной влажности воздуха в районе Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Суммарное количество атмосферных осадков невысокое и в среднем составляет 300–400 мм в год (Рис. 31). Резкое повышение до 700 мм было зафиксировано в 1997 г., а понижение до 150 мм – в 1993 г.

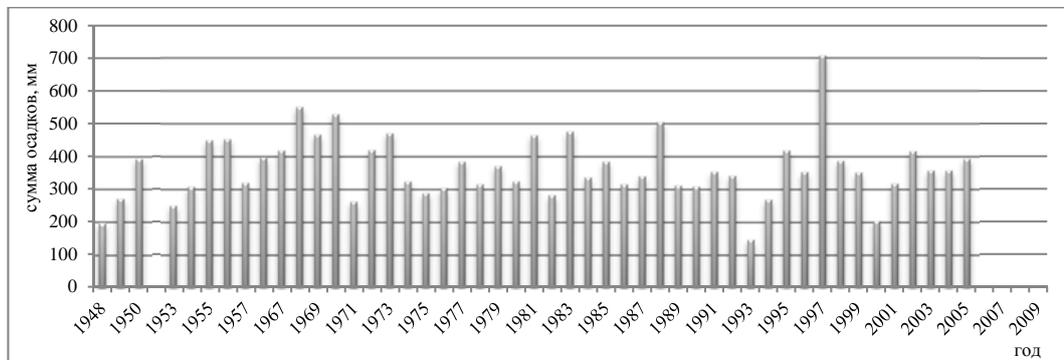


Рис. 31. Суммарное количество атмосферных осадков в районе Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Испарение с поверхности водного зеркала Сакского озера в среднем составляет около 800 мм/год и в отдельных случаях достигает высоких показателей (максимум 1800 мм в 2009 г.). Минимальное количество – 630 мм зафиксировано в 1997 г., однако для изучаемой территории это является высоким значением. Выяснено, что испарение с поверхности водного зеркала Сакского озера значительно превышает суммарное количество атмосферных осадков (Рис. 32).

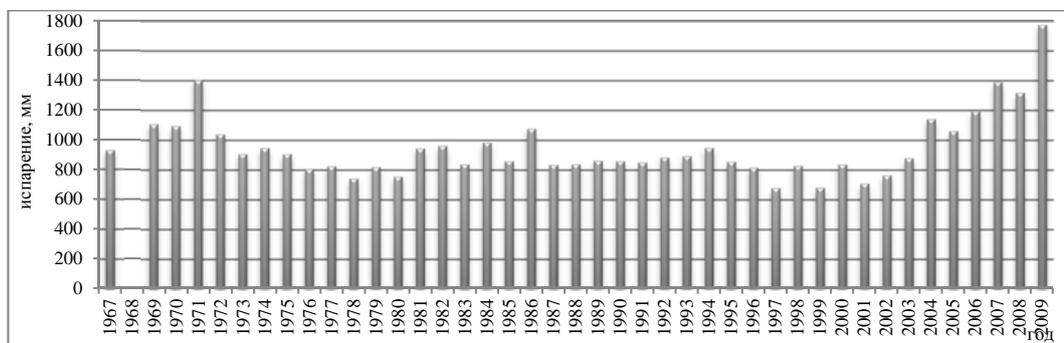


Рис. 32. Суммарное количество испаренной влаги с акватории Сакского озера (составлено автором по данным Крымской ГГРЭС [26]).

Для наиболее полного описания влияния природных факторов на динамику гидрохимических свойств рапы, в частности ее минерализации, были вычислены

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ
ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

коэффициенты корреляции (табл. 1) между минерализацией Восточного и Западного бассейна Сакского озера и климатическими характеристиками территории водосбора: средней температурой воздуха, суммарным количеством осадков и испарения, относительной влажностью.

Таблица 1

Коэффициент корреляции между минерализацией рапы Восточного и Западного бассейна и природными факторами

	Температура	Относительная влажность	Осадки	Испарение
Восточный бассейн	0,3	0,26	-0,26	-0,29
Западный бассейн	0,15	0,16	0,19	0,2

Данные по минерализации рапы для Восточного и Западного бассейна охватывают временной промежуток с 1967 г. по 2005 г. Следовательно, для вычисления коэффициента корреляции с природными факторами был выбран тот же интервал времени. Известно, что температура воздуха должна оказывать влияние на минерализацию рапы. Это связано с тем, что при повышении температуры увеличивается интенсивность испарения, следовательно, уровень минерализации должен расти. Выяснилось, что для Восточного бассейна коэффициент корреляции между температурой воздуха и минерализацией рапы составляет 0,3, а для Западного – 0,15, что говорит об отсутствии зависимости между показателями.

В случае с относительной влажностью ряд данных начинается с 1971 г. по 2005 г., следовательно, из показателей уровня минерализации рапы был взят тот же промежуток времени. Выяснилось, что относительная влажность воздуха и минерализация рапы так же не коррелируют ни в Восточном (коэффициент 0,26), ни в Западном бассейне (коэффициент 0,16).

Теоретически между осадками и минерализацией рапы должна быть обратная зависимость: чем больше выпадает осадков, тем сильнее разбавляется пресной водой рапа и тем уровень ее минерализации ниже. Однако вычисление коэффициента корреляции для этих двух показателей указало на отсутствие связи. Для Восточного бассейна коэффициент -0,26, для Западного – 0,19.

Как в случае с количеством осадков, теоретически между уровнем минерализации и интенсивностью испарения тоже должна быть связь, только прямая: чем сильнее испарение, тем меньше в водоеме пресной воды и, как следствие, выше его минерализация. Однако при вычислении коэффициента корреляции выяснилось, что эти два показателя между собой не связаны. Для Восточного бассейна его величина -0,29, для Западного – 0,19.

Влияние антропогенных факторов на динамику гидрохимических свойств рапы Сакского озера

По данным Крымской ГГРЭС, в результате антропогенной деятельности Сакское озеро было полностью преобразовано и в настоящее время представляет собой водоем, постоянно регулируемый человеком. Для более удобного эксплуатирования он был разделен на семь вспомогательных бассейнов, из них два лечебных [26].

1) Восточный лечебный водоем. В настоящее время используется в целях добычи рапы и целебной грязи. Площадь водоема 1,3 км², объем 0,64 млн м³. Рапа относится к хлоридно-натриевому типу с примесью бромидов. Уровень минерализации рапы колеблется в пределах 90–220 г/дм³ [26].

2) Западный лечебный водоем. В настоящее время для добычи рапы и грязи не используется, а выполняет резервную функцию. Площадь бассейна 3,9 км², объем 3,7 млн м³. Тип рапы такой же, как в Восточном лечебном водоеме. Уровень минерализации рапы колеблется от 60 до 210 г/дм³ [26].

3) Михайловское водохранилище. Михайловское водохранилище препятствует рассолению лечебных бассейнов Сакского озера. Оно служит водоприемником поверхностных и грунтовых вод, поступающих с территории Михайловской балки. Образовано путем отделения верхней части Сакского озера от основного водоема с помощью дамбы [26].

4) Буферный пруд. Сюда осуществляется сброс послепроцедурной грязи и рапы с прилегающего санаторного комплекса. Площадь водоема составляет 0,439 км², объем – 0,47 млн м³ [26].

5) Чокрак, Ковш, Накопитель. Являлись вспомогательными водоемами (накопительными и испарительными) для Сакского химического завода и КНПО «Йодобром» (ныне не функционирующими). В настоящее время в рекреационной деятельности не используются [26].

Таким образом, только два водоема, входящие в состав описываемого озера, могут использоваться для добычи минеральных ресурсов. Поэтому мониторинг состояния рапы путем отбора проб ведется только в акватории Восточного и Западного бассейна. На основе анализов этих проб строятся выводы касательно изменения динамики гидрохимических свойств рапы (в частности, минерализации) под воздействием антропогенных факторов. Последние оказывают влияние на акваторию бассейнов не только прямо (регулирование водно-солевого баланса Восточного бассейна сотрудниками Крымской ГГРЭС, отбор рапы на лечебные процедуры), но и опосредованно путем изменения структуры землепользования на территории водосбора Сакского озера. Динамика изменения использования земель с течением времени отражена на картах, выполненных в программе ArcGis 10.3. Для этого были загружены космические снимки Landsat 4–8 с разрешением 30 м/пиксель. Использовалась проекция UTM, система координат WGS 84. Для повышения точности карты были использованы космические снимки сервиса Google Earth. Всего было обработано 5 снимков с 1985 по 2005 гг. с интервалом в 5 лет, установленного для того, чтобы можно было увидеть динамику изменения структур землепользования. Для выявления наличия связи между площадными изменениями структур землепользования и минерализацией Восточного и Западного бассейна,

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ
ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

были рассчитаны коэффициенты корреляции между этими показателями. Кроме того, был рассчитан коэффициент антропогенной преобразованности по методу Шищенко (за 1985, 1990, 1995, 2000 и 2005 гг.) по формуле [31]:

$$\text{Кап} = \frac{\sum(r_i \times p_i \times q)}{100}, \quad (1)$$

где Кап – коэффициент антропогенной преобразованности;

r – ранг антропогенной преобразованности ландшафтов i_m видом использования;

p – площадь ранга, %;

q – индекс глубины преобразованности ландшафта.

Значение коэффициента корреляции составило 7,9 для всех пяти временных отрезков, что говорит о наличии постоянной высокой антропогенной нагрузки на территорию водосбора.

На территории водосбора было выделено семь типов землепользования: пашни, жилая застройка, природная луговая растительность, природные лесные ландшафты, пруды, заболоченные территории [32]. В качестве примера выступает рис. 33 и рис. 34, где типы землепользования выделены для 1985 и 2005 гг.



Рис. 33. Типы землепользования на территории водосбора Сакского озера (1985 г.).

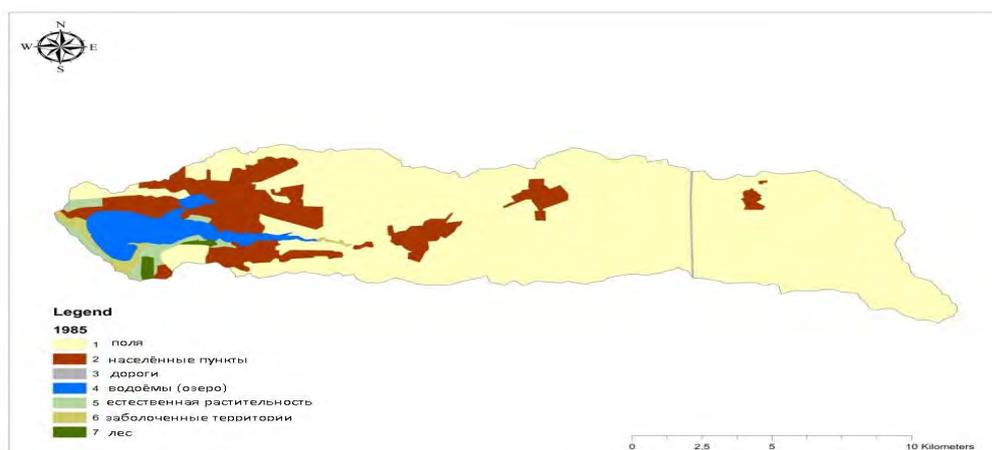


Рис. 34. Типы землепользования на территории водосбора Сакского озера (2005 г.).

Затем были посчитаны площади каждого из них и выявлена динамика их изменения (табл. 2). Из таблицы видно, что сильнее всего менялась площадь полей и населенных пунктов, причем площадь полей уменьшалась, а населенных пунктов – увеличивалась. Площадь заболоченных территорий оставалась практически неизменной, а что касается естественной луговой растительности и леса, то в некоторые годы было зафиксировано небольшое увеличение площади, достигающееся за счет уменьшения полей.

Таблица 2
Динамика изменения площадей типов землепользования водосбора
Евпаторийской группы озер

Год	Пашни, м ²	Жилая застройка, м ²	Пруды, каналы, м ²	Природная луговая растительность, м ²	Заболоченные территории, м ²	Природные лесные ландшафты, м ²
1985	152,667264	21,375683	9,718650	2,405810	1,396092	0,782526
1991	150,257128	22,950432	9,794582	2,763392	1,734941	0,845552
1995	147,331284	25,62688	9,768073	2,835589	1,540071	1,244129
2003	146,905007	26,634425	9,766082	2,496311	1,751222	0,792981
2005	145,980161	26,633116	9,761572	3,314174	1,805845	0,851159

Чтобы выяснить, каким образом антропогенная нагрузка влияет на изменение гидрохимических характеристик соляных озер, были рассчитаны коэффициенты корреляции между площадями типов землепользования и показателями минерализации Восточного и Западного бассейна, а также отбором рапы на лечебные процедуры. Результаты отображены в таблице 3.

Таблица 3

Коэффициенты корреляции между площадью типов землепользования и минерализацией Восточного и Западного бассейна (1985–2005 гг.)

	Восточный бассейн	Западный бассейн
Пашни	-0,8384	-0,8013
Жилая застройка	0,8640	0,7378
Природная луговая растительность	0,4761	0,7091
Заболоченные территории	0,7360	0,4021
Природные лесные ландшафты	-0,2091	0,7715
Отбор рапы на лечебные процедуры	-0,13	–

Таблица показывает, что полное совпадение коэффициента корреляции характерно для полей и населенных пунктов, причем в первом случае связь обратная: площадь полей обратно пропорциональна минерализации. Возможно, это связано с увеличением стока пресных поливных вод, часть которых попадает озеро и распресняет его. Если вернуться к графику динамики изменения минерализации рапы Восточного бассейна, то можно увидеть, что с 1985 по 1997 гг. уровень минерализации не изменяется, а в 2001 г. зафиксирован резкое повышение, в то время как площадь полей медленно уменьшается на протяжении всего изучаемого периода. Такое резкое увеличение уровня минерализации, скорее всего, обусловлено воздействием внешнего фактора на акваторию, что ослабляет полученную зависимость. Отбор рапы на лечебные процедуры так же не коррелирует с уровнем минерализации и составляет -0,13.

Что касается минерализации рапы Западного бассейна, то с 1985 по 1994 гг. она возрастала и в том же временном промежутке уменьшались площади пашни. Полученный коэффициент корреляции подтверждает описанную выше закономерность: снижение площадей полей приводит к повышению уровня минерализации. Однако в 1998 г. было зафиксировано резкое падение уровня минерализации водоема, а в 2000 г. – повышение до практически максимальных значений. Причину такого резкого скачка можно объяснить лишь воздействием внешних факторов на акваторию.

Коэффициент корреляции между площадью населенных пунктов и минерализацией рапы Восточного и Западного бассейна говорит о наличии прямой связи: чем выше площадь населенных пунктов, тем выше уровень минерализации. Это влияние может быть опосредованным, так как увеличение площади жилой застройки происходит с уменьшением площади полей, что ведет к увеличению минерализации.

На протяжении 1985–2000 гг. площадь жилой застройки росла вместе с минерализацией Восточного бассейна. С 2000 по 2005 гг. площадь практически не

изменилась, а минерализация претерпела резкий скачок в 2001 г. В случае с Западным бассейном уровень минерализации увеличивался до 1994 г., упал в 1998 г. и резко вырос в 2002 г. Таким образом, влияние жилой застройки не может полностью объяснить динамику изменения солености.

Площадь естественной и лесной растительности коррелирует только с минерализацией Западного водоема и обнаруживает положительную связь. Однако здесь до 2000 г. ее площади практически неизменны, в то время как минерализация растет до 1994 г. и претерпевает резкие скачки до 2005 г.

Площадь заболоченных территорий, напротив, коррелируют с минерализацией Восточного бассейна, однако их изменения не так значительны, как перепады уровня минерализации за исследуемый промежуток времени. Посчитанный коэффициент антропогенной преобразованности для всех четырех временных интервалов составляет 7,9. Это говорит о том, что антропогенная нагрузка не снижалась в изучаемый промежуток времени, а происходило лишь ее перераспределение.

ВЫВОДЫ

В процессе выполнения работы была освещена история изучения соляных озер Евпаторийской группы, описаны гидрохимические характеристики ряда озер, внутри- и межгодовая динамика гидрохимических свойств Сакского озера и причины ее изменения.

Отправной точкой в изучении гидрохимии крымских соляных озер можно считать начало XIX века. Примечательно то, что интерес к данным природным образованиям возникал не только у отечественных ученых, но и у зарубежных. Свойства гипергалинных водоемов входили в сферу интересов химиков, гидробиологов, геологов, гидрологов, медиков. На базе Евпаторийской группы озер постоянно проходили научно-исследовательские экспедиции, их результаты публиковались в научных трудах и отчетах.

Становление системной парадигмы в географии и развитие науки в целом дало ряд принципиально новых направлений для изучения соляных озер. Если раньше внимание уделялось преимущественно гидрохимическим характеристикам рапы, химическому составу пелоидов и т. д., то позднее на фоне интенсивной антропогенной деятельности, как в районе самих водоемов, так и на территории водосбора, стали актуальными вопросы экологической безопасности, ландшафтного функционирования и планирования. Соблюдение основных норм и рекомендаций касательно вовлечения изучаемых водоемов в хозяйственную деятельность человека будет рационализировать природопользование. Это позволит поддерживать используемые экосистемы в стабильном рабочем состоянии.

Сакское озеро до сих пор остается востребованным источником минеральных ресурсов, единственным эксплуатируемым месторождением лечебных грязей и рапы. На его базе по сей день функционирует ряд санаториев в г. Саки и г. Евпатория. В связи с этим возникла потребность в сохранении и дальнейшем изучении этого водоема, что поспособствовало созданию Сакской (Крымской) ГГРЭС. В настоящее время эта организация является единственным профильным предприятием,

осуществляющим рациональную добычу гидроминеральных бальнеологических ресурсов и в то же время охрану месторождения. Крымская ГГРЭС ведет комплексный мониторинг экологического состояния минеральных ресурсов и окружающей природной среды, уровня загрязнения, а также миграции тяжелых металлов и токсичных элементов на близлежащих промышленных и сельскохозяйственных образованиях. На постоянной основе проводится мониторинг гидрохимических характеристик рапы и пелоидов в целях поддержания экосистемы озера на заданном уровне. Принимаются меры по регулированию водно-солевого режима водоема, что обеспечивает соответствие минеральных ресурсов установленным нормам. Так как с течением времени режим водоема стал полностью регулироваться человеком, необходимость в проведении мониторинга гидрохимических свойств рапы стала заключаться в дальнейшем изучении гидрохимических характеристик минеральных ресурсов с целью выявления степени интенсивности и результатов антропогенного вмешательства. В других водоемах Евпаторийской группы так же проводятся отборы проб для выявления соответствия установленным кондициям озера, получивших статус «лечебных» постановлением КМ Украины №1499 от 11.12.1996 г. «Про затвердження переліку водних об'єктів, що відносяться до категорії лікувальних».

Гидрохимическая характеристика рапы озёр Евпаторийской группы имеет ряд особенностей. Уровень минерализации всех вышеописанных озера претерпевал резкие изменения с 1972 по 1982 гг., причем с большими внутригодовыми амплитудами. Максимальные показатели зарегистрированы, в основном, в августе и сентябре. Это может быть связано с высокими температурами воздуха и, как следствие, высокими показателями испарения и низкого количества осадков в течение летнего сезона. Минимальные показатели отмечены в марте, когда температура воздуха невысокая, а осадки за зимний и весенний период распреснили водоем. Кроме того, активизации полива на территории водосбора в весеннее время тоже увеличивает сток пресных вод в озера. Так же зафиксирована общая тенденция к понижению уровня минерализации к концу изучаемого отрезка времени. Если в его начале показатели были повышенными или максимальными, то в конце – средние или сильно пониженные. Это может быть связано с интенсивным негативным антропогенным влиянием (оз. Аджиджарское, оз. Аирчи, оз. Конрадское). Оно заключается в сбросе пресных вод в акваторию соляных озёр и, как следствие, резком падении уровня минерализации в 2–3, а иногда и в 5 раз за 1–3 года (минерализация оз. Аджиджарское опускается до 2–4 г/дм³). Для Галгасского, Большого и Малого Ойбурского озера изменения в показателях минерализации в начале и конце изучаемого периода не так критичны, что говорит о смягченном антропогенном влиянии на эти водоемы. Кроме того, для водоемов, находящихся в непосредственной близости, максимальные/повышенные и минимальные/пониженные показатели минерализации совпадают по годам. Так, для Малого и Большого Ойбурского озера максимум приходится на сентябрь 1981 г., а для Галгасского, Круглого минимум – на май 1982 г.

Коэффициент метаморфизации изменялся так же резко для всех озера, кроме Галгасского, где он постепенно рос до 1985 г., и Конрадского, где в течение пяти лет

с 1976 г. по 1981 г. он оставался приблизительно на одном уровне. Максимальное значение этого показателя среди всех водоемов было зафиксировано у оз. Аджи-Байчи в период распреснения. Для некоторых водоемов максимумы и минимумы коэффициентов, как и в случае с минерализацией, совпадают по годам. Так, март и июль 1973 г. характеризуются минимальными значениями для Малого Ойбурского и Галгасского озера, март 1976 г. – минимальными для Круглого и Конрадского, сентябрь 1980 г. – минимальными для Аджи-Байчи и Аирчи.

Содержание химических элементов для всех водоемов оставалось практически на одном и том же уровне: 90 %мг-экв для хлора, 80 %мг-экв для натрия и 20 %мг-экв для магния. Резкие перепады значений с тенденцией к возвращению к прежнему состоянию были зафиксированы у Аджи-Байчи и Аирчи.

Таким образом, можно сделать вывод, что озера Аджи-Байчи и Аирчи по всем трем изучаемым показателям отличаются от остальных водоемов посредством резких перепадов или критических высоких/низких значений. Следовательно, они больше всех подвержены негативному антропогенному влиянию без возможности восстановления.

В случае с Мойнакским озером, процессу распреснения способствовало формирование постоянного водотока пресной воды на фоне бесконтрольного отбора рапы. Это привело к тому, что в озере стала появляться флора и фауна, характерная для солоноватых и пресных водоемов, что является первым признаком изменения биоты к типичным пресноводным видам и потере озером статуса гипергалинного.

Гидрохимическая характеристика рапы Сакского озера рассматривалась отдельно. Были изучены тенденции сходства и различия внутри- и межгодовой динамики Восточного и Западного бассейна Сакского озера, а также установлено наличие прямых и обратных связей между показателями. Так как Западный бассейн является резервным, то исследования по некоторым из них (отбор рапы на лечебные процедуры, температура рапы) не проводились. По остальным (минерализация, содержание растворенных химических элементов, коэффициент метаморфизации) наблюдается почти полное совпадение в колебании, а также максимальных и минимальных значений. Так, графики внутригодового изменения минерализации для обоих бассейнов практически идентичны: в обоих водоемах максимум приходится на сентябрь, а минимум на март (Восточный бассейн) и апрель (Западный бассейн). Уровень минерализации водоёма напрямую зависит от количества содержащихся в рапе химических элементов. В обоих бассейнах изменение концентрации катионов (Na+K, Mg) и анионов (Cl, SO₄) имеет одну и ту же динамику, идентичную динамике минерализации.

Что касается растворенного кальция и гидрокарбонатов, а также коэффициента метаморфизации, то здесь не наблюдается совпадений критических значений или тенденций, из чего можно сделать вывод, что на динамику данных показателей влияют внешние факторы, которые не входят в рамки проводимых исследований. Внутригодовая динамика Восточного и Западного бассейна схожа по большинству показателей, что говорит о неразрывности и взаимодействии двух экосистем, несмотря на то, что функционирование одной из них (Восточного бассейна) полностью регулируется человеком.

В случае с межгодовой динамикой были описаны тенденции изменения температуры, минерализации, уровня, динамики отбора рапы, а также концентрации растворенных в ней химических элементов в Восточном и Западном бассейне Сакского озера с 1948 г. по 2005 г. Так как Западный бассейн является резервным, то исследования по некоторым показателям (отбор рапы на лечебные процедуры, температура рапы) отсутствуют.

Температура рапы Восточного бассейна колеблется в пределах 12–14°C, что обусловлено теплым климатом полуострова. Отбор рапы на лечебные процедуры снижается с 300 тыс. м³ в 1979 г до 4,8 тыс. м³ в 1993 г. и остается на такой отметке до конца изучаемого периода. Уровень рапы снижен до отрицательных отметок в -1 м без каких-либо признаков к дальнейшему изменению. Уровень минерализации Восточного бассейна претерпевает резкие изменения, но стабилизируется на отметке 160 г/дм³. В случае с Западным бассейном так же зафиксированы резкие изменения, но с тенденцией к увеличению. Что касается растворенных в рапе химических элементов, то в Восточном бассейне концентрация катионов (Na+K, Mg) и анионов (Cl, SO₄) изменяется так же резко, стремясь к повышенным значениям, а в Западном – к средним. Причем графики изменения описываемых показателей идентичны в пределах каждого бассейна. Концентрация Са в обоих водоемах равномерно снижается. Количество НСО₃ в Восточном бассейне меняется резко с большими амплитудами, в Западном – остается на одном уровне. Значение коэффициента метаморфизации в Восточном бассейне не изменяется, а в Западном – увеличивается. Таким образом, межгодовая динамика изменения уровня рапы и концентрации химических элементов совпадает в двух основных бассейнах Сакского озера. Было выяснено, что коэффициент метаморфизации, содержание кальция и гидрокарбонатов подчиняется внешним факторам, которые не вошли в рамки исследований данной работы. Закономерности динамики изменения этих показателей не объясняются изменением климатических факторов или минерализации.

Таким образом, можно сделать ряд выводов о роли природных и антропогенных факторов в динамике изменения минерализации экосистем Восточного и Западного бассейнов Сакского озера. Известно, что связь между показателями существует, если значение коэффициента корреляции больше либо равно 0,5 или меньше либо равно -0,5. Чем выше или ниже коэффициент, тем сильнее связи между показателями. Рассматривая зависимость между минерализацией рапы Восточного и Западного бассейнов и природными климатическими факторами, а именно температурой, относительной влажностью, суммой осадков, испарением, можно выявить существенную разницу между теоретическими положениями и практическими выводами по этой теме. Если в теории между температурой, испарением и минерализацией должна быть прямая связь, а в случае с осадками – обратная, то проверка этих утверждений на практике дает совершенно другой результат: коэффициенты корреляции между всеми перечисленными климатическими показателями и уровнем минерализации не превышают 0,3, что говорит об отсутствии связей между показателями. Из этого следует, что антропогенное влияние на изучаемые водоемы настолько сильное, что полностью нивелирует природное.

Коэффициенты корреляции для отдельных типов землепользования получились выше 0,5 и ниже -0,5. Однако выведенные математически зависимости не были полностью подтверждены и соблюдались частично, а в случае с отбором рапы зависимость отсутствовала. Это говорит о существовании отдельных внешних, скорее всего, антропогенных факторов, оказывающих очень сильное влияние на динамику гидрохимических свойств. Причем это утверждение справедливо для обоих бассейнов, хотя известно, что Восточный полностью регулируется человеком, а Западный является резервным и в добыче минеральных ресурсов не задействован. Получается, что сила антропогенного влияния на Восточный бассейн настолько велика, что дает отклик на соседствующий водоем и даже там нивелирует воздействие природных факторов.

Список литературы

1. Курнаков Н. С. Избранные труды: в 3 кн. Кн. 3. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 567 с.
2. Соляные озёра Крыма / Курнаков Н.С., Кузнецов В. Г., Дзенс-Литовский А. И. и др. М.-Л.: Издательство АН СССР, 1936.
3. Каблуков И. А., Каблуков А. С. Крымские соленые озера. О добывании натриевых и калийных солей. М.: типолит. Кушнерев и К°, 1915. 103 с.
4. Дзенс-Литовский А. И. Соляные озера СССР и их минеральные богатства. Л.: Недра, 1968. 120 с.
5. Характеристика природы бассейна оз. Сасык-Сиваш / Алексашкин И. В., Горбунов Р. В., Тёмная Т. Г. и др. // Культура народов Причерноморья. 2007. Т. 3. Вып.108. С. 7-12.
6. Сравнительная характеристика физико-химических показателей Сакского и Отар-Мойнакского озер / Алексашкин И. В., Гулов О. А., Горбунов Р. В. и др. // Культура народов Причерноморья. 2004. Т. 2. Вып. 56. С. 7-11.
7. Попов Ю. В., Гулов О. А., Васенко В. И. О строении и составе толщи илов Сакского озера // Отечественная геология. 2015. №3. С. 45-52.
8. Чабан В. В. Влияние техногенных изменений геологической среды на экологическое состояние Сакского соленого озера // Вісник Дніпропетровського університету. Серія «Геологія. Географія». 2014. №15. С. 14-23.
9. Оже Н. О сакских целительных грязях: Практические наблюдения и исследования медицинских свойств целительных грязей Сакского Соляного озера, с показанием правил, какими больные должны руководствоваться во время пользованиями грязями. /Статья Николая Оже, писанная в 1845 г. и припечатанная в Таврических губернских ведомостях 1843 г. при № 16. – Б. м.: Печатано в типографии Таврического губернского правления, 1857.
10. Налбандов С. С. Программа научного исследования грязелечения и физико-химических свойств рапы и грязи. (Общие положения) // Врачебно-санитарная хроника Таврической губернии. 1916. №1. С.16-20.
11. Щукарев С. Н. Химическая характеристика Сакской рапы и лечебной грязи // «Саки-курорт». 1935. №1. С.77–81.
12. Любчик В. Н. Эффективность климатолечения и бальнеотерапии и критерии ее прогноза у детей с хроническими заболеваниями разных типов конституции // Вестник физиотерапии к курортологии. 1996. №4. С. 45-50.
13. Позаченюк Е. А., Яковенко И. М. Ландшафтное планирование рекреационного района как основа его устойчивого развития // Материалы VI Междунар. науч. конф. Белгород, 12-16 окт. 2015 г. Белгород: Политерра, 2015. С. 93-98.
14. Пасынков А. А., Соцкова Л. М., Чабан В. И. Экологические проблемы сохранения и использования бальнеологических ресурсов соленых озер Крыма // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2014. Т. 27. Вып. 2. С. 97-117.
15. Олиферов А. Н, Тимченко З. В. Реки и озера Крыма. Симферополь.: Доля, 2005. 216 с.
16. Проблемы сохранения соленых озер северо-западного и западного побережий Крыма / Соцкова Л.

ИЗМЕНЕНИЕ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАПЫ ОЗЕР ЕВПАТОРИЙСКОЙ
ГРУППЫ В XX ВЕКЕ – НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

- М., Смирнов В. О., Процив А. В. и др. // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2017. Т. 3. Вып. 3. С. 240-250.
17. Трансформация структуры водного баланса в Крыму в XX веке начале XXI века и ее оптимизация: монография / под ред. д.г.н., проф. В.А. Бокова. – Симферополь: Доля, 2011. 192 с.
 18. Разработка экологически сбалансированных способов защиты и восстановления водных объектов на территории Крыма: монография / под ред. д.г.н., проф. В.А. Бокова. – Симферополь, 2013. 210 с.
 19. Сохранение бальнеологических ресурсов грязевых соленых озер западного Крыма / Соцкова Л.М., Смирнов В.О., Окара И.В. и др. // Современные научные исследования и инновации [Электронный ресурс]. 2015. № 7. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56691> (дата обращения: 23.09.2018).
 20. Ферман А. Е. К геолого-минералогическому обследованию Сакского озера // Материалы КЕПС. 1919. №28. С. 53-78
 21. Дзенс-Литовский А.И. Пересыпи и косы крымских соляных озер // Изв. ГГО. 1933. Т. 65. № 6. С. 585-595.
 22. Дзенс-Литовский А.И. Гидрохимические условия Евпаторийской группы Крымских соляных озер // Минеральные воды. 1934. №5. С. 178-197.
 23. Кадастр прибрежных озер республики Крым. Виды их хозяйственного использования (по состоянию на 01.01.18): Научно-практическая работа / рук. В. И. Васенко. Саки, 2017. 37 с.
 24. Устойчивый Западный Крым. Крымские золотые пески / Тарасенко В. С., Бережная И. В., Юдин В. В. и др. Симферополь: Бизнес-Информ. 2014. 472 с.
 25. Гулов О. А. Экоцид крымских соляных озер // ЭкоМир. 2008. №1. С. 3-9.
 26. Сборник статистических данных о режиме и эксплуатации месторождения лечебной грязи и рапы Сакского лечебного озера (1946-2006 гг) : отчет о НИР / под ред. В. И. Васенко. Саки, 2006. 95 с.
 27. Современное состояние экосистемы озера Сасык-Сиваш (Крым) / Болтачев А. Р, Карпова Е. П., Манжос Л. А. и др. // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон и комплексное использование ресурсов шельфа. 2011. Т. 1. Вып. 25. С. 49-58.
 28. Закономерности формирования состава иловых грязей Мертвого моря и соляных озер Крыма / Котова И. К., Каюкова Е. П., Мордухай-Болтовская Л. В. и др. // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2015. Т. 7. Вып. 2. С. 85-106.
 29. Влияние геологических и антропогенных факторов на состав пелоидов современных соляных озер / Котова И. К., Котов С. Р., Каюкова Е. П. и др. // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2017. Т. 62. Вып. 2. С. 172-191.
 30. Особенности геохимического состава донных отложений соленых озер Крыма / Морозова М. А., Морозов Д. А., Филиппова В. О. и др. // Геология, геоэкология, эволюционная география. 2010. Т. 10. Вып. 8. С. 461-465.
 31. Шищенко, П. Г. Прикладная физическая география. К.: Вища школа, 1988. 192 с.
 32. Калинин И. В, Михайлов В. А., Позаченко Е. А. Оценка антропогенной преобразованности ландшафтов равнинного Крыма // Научные ведомости. Естественные науки. 2016. № 25. С. 156-168.

**CHANGE OF BRINE'S HYDROCHEMICAL PROPERTIES OF THE LAKES OF
EVPATORIAN GROUP IN THE 20TH CENTURY – THE BEGINNING OF THE
21 CENTURY**

Klimova A. S., Gorbunov R. V.

T. I. Vyazemsky Karadag scientific station, nature reserve of the Russian Academy of science

V.I. Vernadsky Crimean Federal University

E-mail: karadag_station@mail.ru, 123klimova321@gmail.com

This work describes the influence of main external factors – natural and anthropogenic – on the salinity of hypersaline Evpatorian lakes. It was based on the results of continuous scientific researches. There're numerous and consisted of measurement of climatic factors, salinity, water extraction, etc. Period of study of these factors – 1948-2005, the main goal is to study the influence of natural and anthropogenic factors on mineralization of Evpatorian lakes.

Research tasks: to study the dynamic of natural factors, such as temperature, humidity, evaporation, precipitation; study the dynamic of water-extraction from the lake; to study the change of land-using at the catchment area; to study the dynamic of change in mineralization; to find a dependencies between salinity and natural/anthropogenic factors; to estimate a level of anthropogenic transformation of catchment area.

Methods are used during investigation: mathematical; analysis; compare; cartographic; historical; description.

Nowadays the extraction of mineral resources is taking place too, so this work is still actual. A lot of inconsistencies were found in process of writing the work. For example, dependencies between salinity and quantity of precipitation/evaporation were not kept. The dynamic of water-extraction isn't connected with mineralization. The change of land-using at the catchment area is partly connected with mineralization or not connected at all. The level of anthropogenic transformation of catchment territory is high. In this way we can make a conclusion: anthropogenic influence on the dynamic of water-salt balance of Evpatorian lakes is stronger than natural. There is another anthropogenic factor that make an decisive influence on salinity and isn't described in this work.

Keywords: mineralization, natural factors, anthropogenic factors, anthropogenic transformation.

References

1. Kurnakov N. S. Izbrannye trudy: v 3 kn. Kn. 3 (Selected works: in 3 books. Book 3). M.: Izd-vo AN SSSR (Publ.), 1963. 567 p. (in Russian).
2. Solyanye ozyora Kryma (Salt lakes of Crimea) / Kurnakov N.S., Kuznetsov V. G., Dzents-Litovskij A. I. et. al. M.-L.: Izdatel'stvo AN SSSR (Publ.), 1936. 278 p (in Russian).
3. Kablukov I. A., Kablukov A. S. Krymskiya solenyaya ozera. O dobyvanii natrievykh i kalijnykh solej (Crimean salt lakes. Extraction of sodium and potassium salts). M.: Tipolit. Kushnerev i K^o (Publ.), 1915. 103 p. (in Russian).
4. Dzents-Litovskij A. I. Solyanye ozera SSSR i ikh mineral'nye bogatstva (Salt lakes of the USSR and their mineral richness). L.: Nedra (Publ.), 1968. 120 p. (in Russian).
5. Kharakteristika prirody bassejna oz. Sasyk-Sivash (Natural abilities of the Sasyk-Sivash lake) / Aleksashkin I. V., Gorbunov R. V., Tyomnaya T. G. i dr. // Kul'tura narodov Prichernomor'ya. 2007. v. 3. is. 108. pp. 7-12. (in Russian).
6. Sravnitel'naya kharakteristika fiziko-khimicheskikh pokazatelej Saksckogo i Otar-Mojnaksckogo ozer (Comparison of physical and chemical indicators of Saksckoe lake and Otar-Mojnaksckoe lake) / Aleksashkin I. V., Gulov O. A., Gorbunov R. V. i dr. // Kul'tura narodov Prichernomor'ya. 2004. v. 2. is. 56. pp. 7-11. (in Russian).
8. Popov Y. V., Gulov O. A., Vasenko V. I. O stroenii i sostave tolshhi ilov Saksckogo ozera (About the structure and composition of silt of Saksckoe lake) // Otechestvennaya geologiya. 2015. no. 3. pp. 45-52. (in Russian).
9. Chaban V. V. Vliyanie tekhnogennykh izmenenij geologicheskoi sredy na ehkologicheskoe sostoyanie Saksckogo solenogo ozera (The impact of anthropogenic changes in the geological environment on the ecological state of the Saki salt lake) // Visnik Dnipropetrovs'kogo universitetu. Seriya «Geologiya. Geografiya». 2014. no. 15. pp. 14-23. (in Russian).
10. Ozhe N. O saksckikh tselitel'nykh gryazyakh: Prakticheskie nablyudeniya i izsledovaniya meditsinskikh svojstv tselitel'nykh gryazej Saksckago Solyanago ozera, s pokazaniem pravil, kakimi bol'nye dolzhny rukovodstvovat'sya vo vremya pol'zovaniyami gryazyami (The medical property of mud of Saki salt lake. Recommendations for using it in time of therapy) / Stat'ya Nikolaya Ozhe, pisannaya v 1845 g. i pripechatannaya v Tavricheskikh gubernskikh vedomostyakh 1843 g. pri № 16. – B. m.: Pechatano v tipografii Tavricheskogo gubernskogo pravleniya (Publ.), 1857. (in Russian).
11. Nalbandov S. S. Programma nauchnogo issledovaniya gryazelecheniya i fiziko-khimicheskikh svojstv rapy i gryazi. (Obshhie polozeniya) (Scientific research of mud-therapy, physical and chemical properties of mud and brine) // Vrachebno-sanitarnaya khronika Tavricheskoi gubernii. 1916. no. 1. pp. 16-20. (in Russian).
12. Shukarev S. N. Khimicheskaya kharakteristika Saksckoi rapy i lechebnoj gryazi (The chemical property of Saki lake mud and brine) // Saki-kurort. 1935. no.1. pp.77–81. (in Russian).
13. Lyubchik V. N. Effektivnost' klimatolecheniya i bal'neoterapii i kriterii ee prognoza u detej s khronicheskimi zabolevaniyami raznykh tipov konstitutsii (Effectiveness of climatotherapy and balneotherapy for children with chronic diseases) // Vestnik fizioterapii k kurortologii. 1996. no. 4. pp. 45-50. (in Russian).
14. Pozachenjuk E. A., Yakovenko I. M. Landscape planning of a recreation area as the basis of its sustainable development // VI Int. Conf.. Belgorod: Politerra (Publ.), 2015, pp. 93-98. (in Russian).
15. Pasyukov A. A., Sotskova L. M., Chaban V. I. Ekologicheskie problemy sokhraneniya i ispol'zovaniya bal'neologicheskikh resursov solenykh ozer Kryma (Environmental problems of conservation and use of balneal resources of salt lakes of Crimea) // Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2014. T. 27. is. 2. pp. 97-117. (in Russian).
16. Oliferov A. N., Timchenko Z. V. Reki i ozera Kryma (Rivers and lakes of Crimea). Simferopol': Dolya (Publ.), 2005. 216 p. (in Russian).
17. Problemy sokhraneniya solenykh ozer severo-zapadnogo i zapadnogo poberezhij Kryma (Problems of conservation of salt lakes at the north-west and west shoreline of Crimea) / Sotskova L. M., Smirnov V. O., Protsiv A. V. i dr. // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta imeni V. I. Vernadskogo. Geografiya. Geologiya. 2017. T. 3. is. 3. pp. 240-250. (in Russian).
18. Transformatsiya struktury vodnogo balansa v Krymu v XX veke nachale XXI veka i ee optimizatsiya

- (Transformation of Crimean water balance in 20th - the beginning of the 21th century) : monografiya / pod red. d.g.n., prof. V.A. Bokova. – Simferopol': Dolya (Publ.), 2011. 192 p. (in Russian).
19. Razrabotka ehkologicheskimi sbalansirovannykh sposobov zashchity i vosstanovleniya vodnykh ob"ektov na territorii Kryma (Development of environmentally balanced methods of protection and restoration of water objects in the territory of Crimea) : monografiya / pod red. d.g.n., prof. V.A. Bokova. – Simferopol': Dolya (Publ.), 2013. 210 p. (in Russian).
 20. Sokhraneniye bal'neologicheskikh resursov gryazevykh solenykh ozer zapadnogo Kryma (Preservation of balneological resources of mud salt lakes in the western Crimea) / Sotskova L.M., Smirnov V.O., Okara I.V. i dr. // Sovremennyye nauchnyye issledovaniya i innovatsii [Elektronnyy resurs]. 2015. no. 7. URL: <http://web.snauka.ru/issues/2015/07/56691> (data obrashheniya: 23.09.2018). (in Russian).
 21. Fersman A. E. K geologo-mineralogicheskomu obsledovaniyu Saksogo ozera (To the geological and mineralogical survey of Saki lake) // Materialy KEPS. 1919. no. 28. pp. 53-78. (in Russian).
 22. Dzents-Litovskiy A.I. Peresypi i kosy krymskikh solyanykh ozer (Forelands of Crimean salt lakes) // Izv. GGO. 1933. T. 65. no. 6. pp. 585-595. (in Russian).
 23. Dzents-Litovskiy A.I. Gidrokhimicheskie usloviya Evpatorijskoj grupy Krymskikh solyanykh ozer (Hydrochemical conditions of the Evpatorian group of the Crimean salt lakes) // Mineral'nye vody. 1934. no. 5. pp. 178-197. (in Russian).
 24. Kadastr pribrezhnykh ozer respubliki Krym. Vidy ikh khozyajstvennogo ispol'zovaniya (po sostoyaniyu na 01.01.18) (Cadastre of coastal lakes of the Republic of Crimea. Types of their economic use (as of 01/01/18): Nauchno-prakticheskaya rabota / ruk. V. I. Vasenko. Saki, 2017. 37 p. (in Russian).
 25. Ustojchivyy Zapadnyy Krym. Krymskie zolotye peski (Sustainable Western Crimea. Crimean Golden Sands) / Tarasenko V. S., Berezhnaya I. V., Yudin V. V. i dr. Simferopol': Biznes-Inform (Publ.). 2014. 472 p. (in Russian).
 26. Gulov O. A. Ekotsid krymskikh solyanykh ozer (Ecocide of the Crimean salt lakes) // EkoMir. 2008. no. 1. pp. 3-9. (in Russian).
 27. Sbornik statisticheskikh dannykh o rezhime i ehkspluatatsii mestorozhdeniya lechebnoj gryazi i rapy Saksogo lechebnogo ozera (1946-2006 gg) : otchet o NIR (Collection of statistical data on the regime and operation of the field of therapeutic mud and brine of the Saksy therapeutic lake (1946-2006): research report) / pod red. V. I. Vasenko. Saki, 2006. 95 p. (in Russian).
 28. Sovremennoe sostoyaniye ehkosistemy ozera Sasyk-Sivash (Krym) (The current state of the ecosystem of lake Sasyk-Sivash (Crimea) / Boltachyov A. R., Karpova E. P., Manzhos L. A. i dr. // Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoj i shel'fovoj zon i kompleksnoe ispol'zovanie resursov shel'fa. 2011. T. 1. is. 25. pp. 49-58. (in Russian).
 29. Zakonomernosti formirovaniya sostava ilovykh gryazey Mertvogo morya i solyanykh ozer Kryma (Patterns of formation of the composition of the mud mud of the Dead Sea and the salt lakes of Crimea) / Kotova I. K., Kayukova E. P., Mordukhaj-Boltovskaya L. V. i dr. // Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle. 2015. T. 7. is. 2. pp. 85-106. (in Russian).
 30. Vliyaniye geologicheskikh i antropogennykh faktorov na sostav peloidov sovremennykh solyanykh ozer (Influence of geological and anthropogenic factors on the composition of peloids of modern salt lakes) / Kotova I. K., Kotov S. R., Kayukova E. P. i dr. // Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle. 2017. T. 62. is. 2. pp. 172-191. (in Russian).
 31. Osobennosti geokhimicheskogo sostava donnykh otlozhenij solenykh ozer Kryma (Features of the geochemical composition of bottom sediments of salt lakes of Crimea) / Morozova M. A., Morozov D. A., Filippova V. O. i dr. // Geologiya, geoekologiya, ehvolyutsionnaya geografiya. 2010. T. 10. is. 8. pp. 461-465. (in Russian).
 32. Shishhenko, P. G. Prikladnaya fizicheskaya geografiya (Applied physical geography). K.: Vishha shkola (Publ.), 1988. 192 p. (in Russian).
 33. Kalinchuk I. V., Mikhajlov V. A., Pozachenyuk E. A. Otsenka antropogennoj preobrazovannosti landshtaftov ravninnogo Kryma (Assessment of anthropogenic transformation of landscapes of the flat Crimea) // Nauchnye vedomosti. Estestvennye nauki. 2016. no. 25. pp. 156-168. (in Russian).