

Санкт-Петербургский государственный университет

***МАТЮНИНА Виктория Андреевна***

**Выпускная квалификационная работа**

## **Гидроминеральные ресурсы Крымского полуострова**

Уровень образования: бакалавриат

Направление *05.03.01 «Геология»*

Основная образовательная программа *СВ.5018.2013 «Геология»*

Научный руководитель:  
доцент кафедры гидрогеологии  
Институт наук о Земле СПбГУ  
к.г.-м.н. Е.П. Каюкова

Рецензент: доцент кафедры  
экологической геологии  
Институт наук о Земле СПбГУ  
к.г.-м.н. П.С. Зеленковский

Санкт-Петербург

2020

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ .....	3
ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК.....	4
1.1 Общие сведения.....	4
1.2 Климат .....	5
1.3 Геоморфология .....	7
1.4 Гидрография.....	10
1.5 Растительность.....	10
ГЛАВА 1. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА .....	12
2.1 Геологические условия Крымского полуострова.....	12
2.2 Гидрогеологические условия Крымского полуострова.....	16
ГЛАВА 3. ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ КРЫМА.....	18
3.1 Гидроминеральные ресурсы.....	18
3.2 Генезис соляных озёр и их типы.....	18
ГЛАВА 4. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ .....	22
4.1 История изучения соляных озёр .....	22
4.2 Евпаторийская группа соляных озёр.....	23
4.3 Керченская группа соляных озёр.....	24
ГЛАВА 5. ПОЛЕВОЕ ОПРОБОВАНИЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА .....	25
5.1 Подготовительный этап .....	25
5.2 Полевое опробование.....	25
5.3 Определение химического состава .....	28
5.4 Изотопные исследования.....	31
ГЛАВА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ .....	32
6.1 Химический состав рапы соляных озёр .....	32
6.2 Интерпретация данных гидрохимического состава.....	33
6.2.1 Рапа соляных озёр .....	33
6.2.2 Подземные воды .....	41
6.3 Изотопный состав.....	42
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	46
ПРИЛОЖЕНИЯ .....	48

## ВВЕДЕНИЕ

Крымский полуостров чрезвычайно богат минеральными ресурсами, к которым относятся минеральные воды, а также рапа и грязь соляных озёр. На полуострове с древних времен существовали многочисленные грязелечебницы. На рубеже 18-19 веков в Крыму работало 11 грязелечебниц, в таких городах как Саки, Евпатория, Севастополь, Балаклава, на озере Чокрак, в Керчи и др. (Щербаков, 1898)

Изучение бальнеологических ресурсов в настоящее время становится особенно актуальным в связи с присоединением Крыма к России, улучшением транспортной доступности - открытием Крымского моста, трассы «Таврида». Данная территория является уникальным местом по запасам гидроминеральных ресурсов. Разведанные запасы по минеральным водам составляют 20,8 тыс. м<sup>3</sup>/сут, по соляным озерам оцениваются в 91,2 млн. т<sup>3</sup> рапы и 32,2 млн. т<sup>3</sup> лечебной грязи (Хмара и др., 2001). Поэтому данный регион является перспективным для создания бальнеологического курорта.

Объектами исследования являются соляные озера, расположенные в различных частях Крымского полуострова: Сакское озеро, Сасык-Сиваш, Солёное, Кояшское, Чокракское, а также близлежащие источники. Исследования проводились в рамках летней полевой производственной практики в 2019 году.

*Целью* данной работы является изучение закономерностей формирования рапы соляных озёр как важных бальнеологических ресурсов.

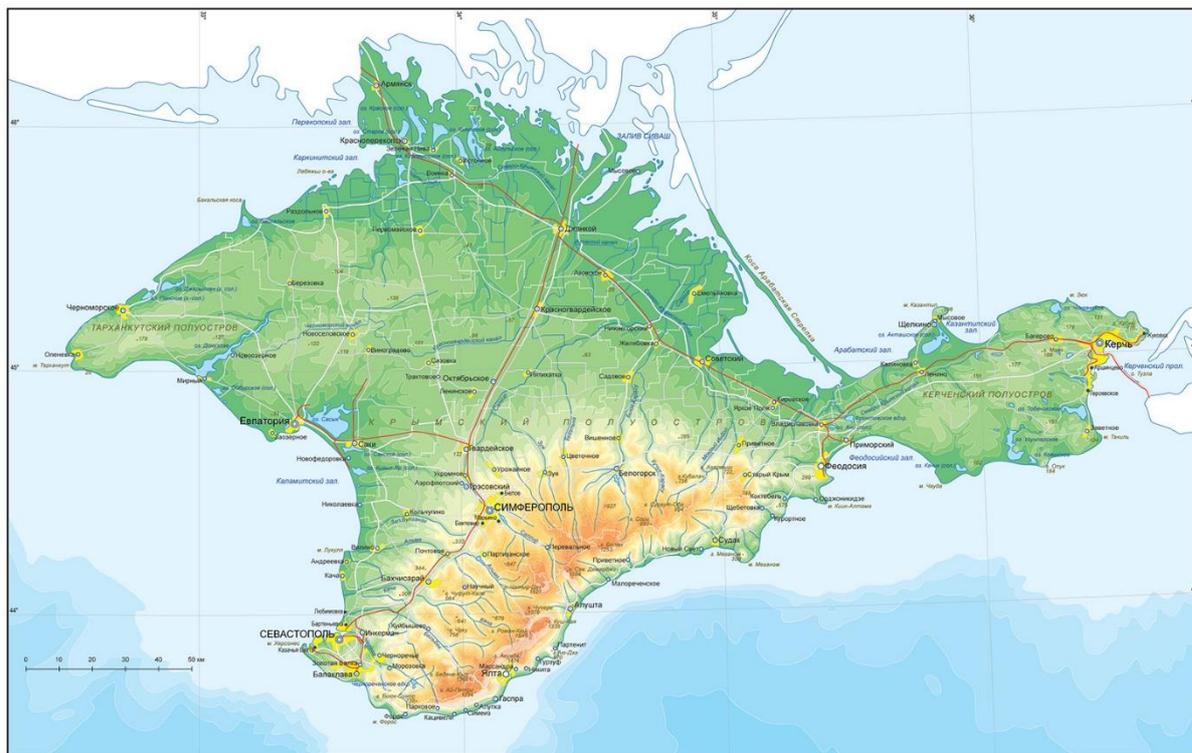
*Задачи:*

1. Изучение литературы, посвященной строению Крымского полуострова и соляным озерам
2. Проведение полевого опробования рапы и грязи соляных озёр
3. Проведение лабораторных исследований гидрохимического и изотопного состава рапы соляных озёр
4. Интерпретация данных макрокомпонентного, изотопного состава рапы соляных озёр.

# ГЛАВА 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК

## 1.1 Общие сведения

Крымский полуостров омывается с запада, юга и юго-востока Черным морем; с северо-востока – Азовским морем. На севере соединяется с материком узким Перекопским перешейком, на востоке отделяется от Таманского полуострова Керченским проливом. Крайние точки: юг – мыс Сарыч ( $44^{\circ}23'$ с.ш.), север – Перекопский ров ( $46^{\circ}15'$ с.ш.), запад – мыс Карамтун ( $32^{\circ}30'$ в.д.), восток – мыс Фонарь ( $36^{\circ}40'$ в.д.). Протяженность полуострова с севера на юг составляет 205 км, с запада на восток – 325 км. Площадь Крыма оценивается примерно в 27000 км<sup>2</sup>. Рельеф расчленен неравномерно, в северной части располагается обширная равнина, на юге простирается цепь Горного Крыма. На полуострове транспортное сообщение представлено автодорогами, железными дорогами. В г. Симферополь располагается аэропорт. Наземное сообщение с Таманским полуостровом осуществляется за счет Крымского моста. Крупные города, расположенные на Крымском полуострове: город федерального значения Севастополь, Симферополь, Евпатория, Судак, Белогорск, Керчь.



**Рис. 1.** Физическая карта Крымского полуострова (Каталог..., 20.04.2020)

В недрах Крымского полуострова содержатся промышленные месторождения: металлические, неметаллические, горючие. Месторождения бурых железняков образуют

Керченский железорудный бассейн. Среди неметаллических полезных ископаемых экономическое значение на Крымском полуострове имеют различные типы известняков, применяемых в качестве строительных материалов, флюсов, химического сырья. Также здесь ведется добыча минеральных солей Сиваша и соляных озер Крыма, трепелов, глин. К жидким горючим полезным ископаемым относится нефть, выходы которой с давних времен были известны на Керченском полуострове. Газоносные пласты распространены в равнинном Крыму, в акваториях Черного и Азовского морей (Подгородецкий, 1988).

Кроме вышеперечисленных полезных ископаемых важными являются бальнеологические ресурсы: минеральные воды и лечебные грязи. Крымский полуостров богат минеральными источниками разнообразного химического состава. Наибольший интерес представляют сероводородные, углекислые источники, а также термальные, радоновые воды. Главные сероводородные источники располагаются на севере, северо-востоке Керченского полуострова. На юге Керченского полуострова есть выходы железистых вод, богатых серноокислыми соединениями. В юго-восточной части полуострова находятся источники термальных вод, преимущественно соляно-щелочные, здесь же встречаются источники, содержащие азот. Также необходимо упомянуть сопочные воды, богатые такими компонентами как йод, бор, бром. В степном Крыму распространены соляно-щелочные минеральные воды – сероводородные, метановые, смешанного состава газов (метан, азот, сероводород, углекислота). В районе г. Саки обнаружены источники с радоновыми водами. (Альбов, 1956)

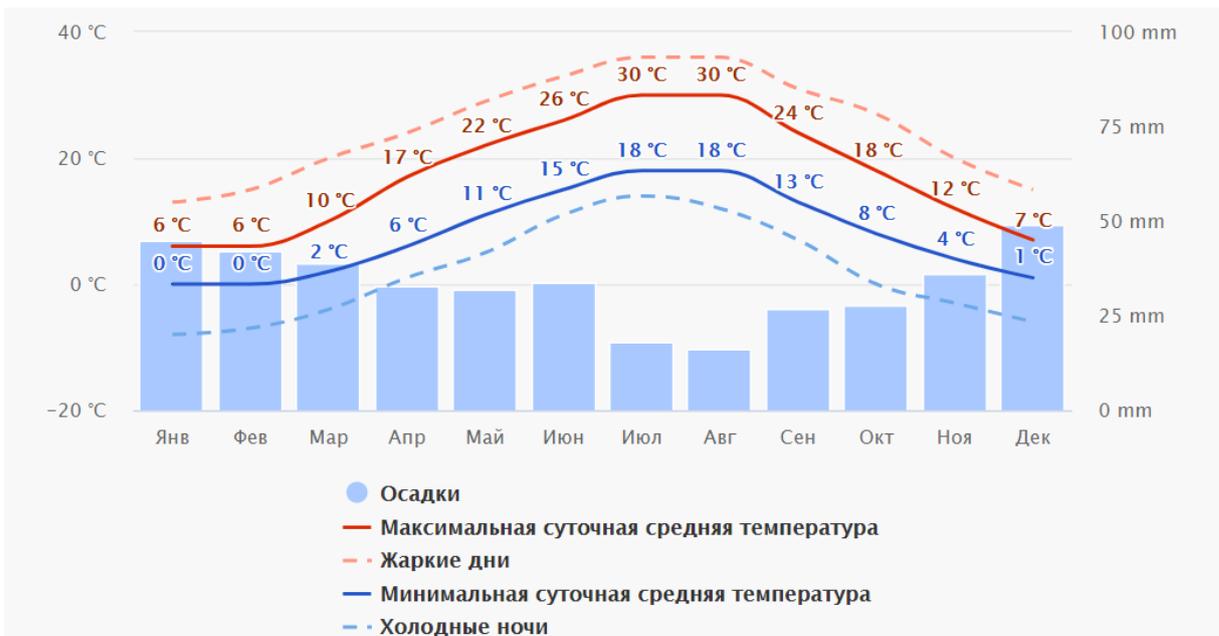
## 1.2 Климат

Климат любого региона описывает условия приповерхностного слоя атмосферы. Его характеристики зависят от различных факторов: географическая широта места, распределение суши и моря, высота над уровнем моря, а также деятельность человека. На всей территории Крымского полуострова климатические условия не одинаковы, разделяются в зависимости от близости гор и моря. Крым расположен в районе широты 45°, равноудаленно от северного полюса и экватора, следовательно, находится в полосе умеренного климата. Незамерзающее Черное море оказывает значительное влияние на климат, смягчая его, особенно, в прибрежной полосе. Главная Гряда является естественным климатическим барьером между Равнинным Крымом и Южным берегом (Гидрогеология..., 1971).

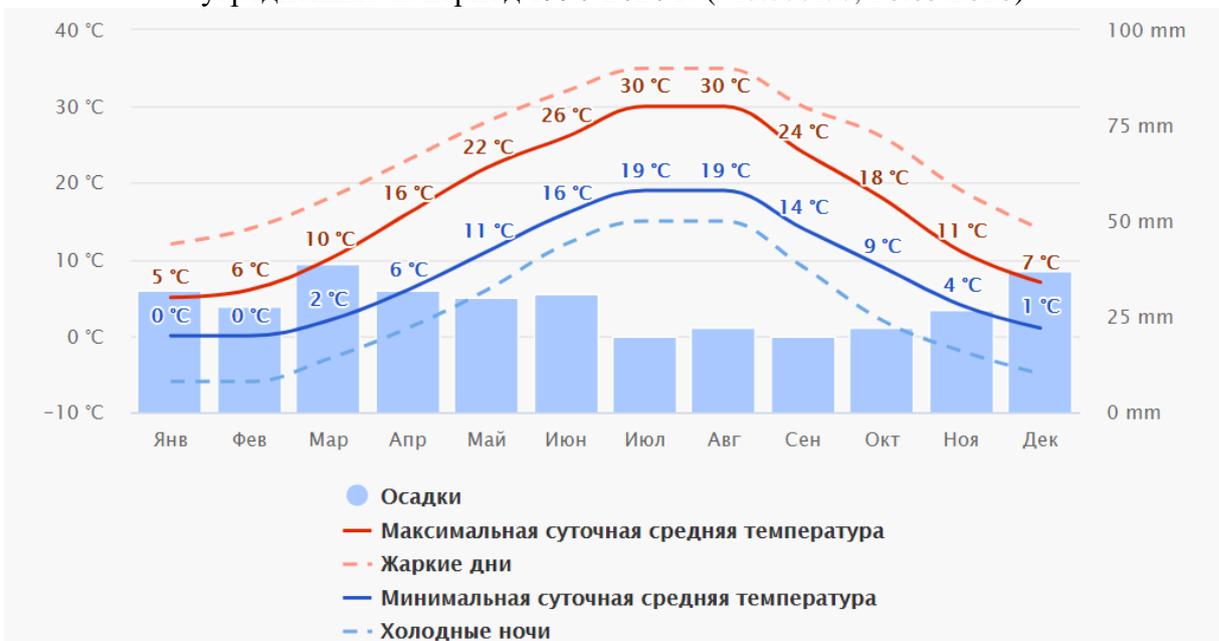
По А.А. Борисову Крымский полуостров принято разделять на следующие климатические районы: степной, предгорный, горный, южнобережный (Гидрогеология..., 1971).

*Степной район* характеризуется степным (антициклональным) климатом с субтропической циркуляцией. В данном климатическом районе выделяют несколько подрайонов: Сивашский, Западный, Центральный, Восточный, Керченский прибрежный, Керченский полуостровной. Среднегодовая температура составляет +10°C. Самый холодный месяц – январь (-10°C), самый жаркий месяц – июль (+34°C). В районе г. Саки за 2019 году годовое количество выпавших осадков составило около 250 мм. Наиболее обводненные месяцы – январь и декабрь. *Предгорный район* охватывает северную часть Крымских гор. В данном районе климат маловлажный, теплый, является переходным от степного к горному. Среднегодовая температура составляет +12°C. Самый холодный месяц – январь (-2°C), самый жаркий месяц – июль (+35°C). В районе г. Симферополь за 2019 год среднегодовое количество выпавших осадков – 340-370 мм, немного больше чем в степном Крыму. *Горный район* располагается в пределах Главной гряды, характеризуется влажным, умеренно теплым климатом. В этом районе лето относительно прохладное, а зима более суровая, чем в других частях полуострова, среднегодовое количество осадкой увеличивается местами на 100 мм за 100м над уровнем моря. *Южнобережный район* протягивается узкой полосой вдоль побережья от Севастополя до Феодосии. Климат данного района засушливый, умеренно жаркий, дневные температуры несколько снижаются под воздействием морского бриза. Южнобережный климатический район делится на следующие подрайоны: западный, центральный, восточный. В центральном подрайоне количество осадков варьирует в пределах 450-700 мм. К западу и востоку количество осадков резко уменьшается, что связано с их незащищенным расположением (Гидрогеология..., 1971; Meteoblue, 16.03.2020).

Исследуемые нами объекты располагаются в районе г. Саки и г. Керчь, поэтому ниже приводятся данные по климату этих городов усредненные за тридцатилетний период (рис. 2, рис. 3).



**Рис. 2.** Среднегодовая температура и количество выпадающих осадков в г. Саки усредненные за период 1990-2020 г. (Meteoblue, 16.03.2020)



**Рис. 3.** Среднегодовая температура и количество выпадающих осадков в г. Керчь усредненные за период 1990-2020 г. (Meteoblue, 16.03.2020)

### 1.3 Геоморфология

По характеру рельефа Крымский полуостров подразделяют на 3 неравных части: равнинный Крым, горный Крым, Керченский полуостров. *Горный Крым* протягивается на 160 км вдоль побережья Черного моря, ширина гор местами достигает 50-60 км. Максимальные абсолютные отметки достигают 1545м (г. Роман-Кош).

В основании *равнинного Крыма* лежит Скифская плита, осадочный чехол которой сложен породами мезозой-кайнозойского возраста. Здесь выделяются следующие

геоморфологические элементы: Западно-Крымская, Восточно-Крымская, Центральная, Тарханкутская и Северо-Крымская равнины. *Западно-Крымская низменная равнина* приурочена в геолого-структурном отношении к Альминской впадине. Это слаборасчлененная, почти плоская местность, прорезанна балками и низовьями рек Бельбек, Альма, Кача, Западный Булганак. В прибрежной зоне располагается значительное количество соляных озер: наиболее крупное Сасык-Сивашское, Сакское, Соленое, Ойбурское, Майнакское, Кизил-Ярское и др. *Восточно-Крымская низменная равнина* в геолого-структурном отношении приурочена к Индольской впадине, на западе ограничена долиной реки Большая Карасу, постепенно понижается на северо-восток к Сивашу. Равнина прорезается длинными балками рек, обычно пересыхающим в летний период. *Центральная повышенная равнина* приурочена к Симферопольскому поднятию, располагается в центральной части Крымского полуострова. Равнина постепенно понижается с юга на север, изрезана балками реки Салгир и ее притоками. *Тарханкутская возвышенная равнина* с востока ограничена балкой Чатырлык, на севере – Бакальской косой, на юге начинается севернее Евпатории. Возвышенность обладает сложным строением. На востоке располагается Восточно-Тарханкутское плато, высоты которого достигают 120-130 м. В западной части возвышенности располагаются четыре гряды, сменяющие друг друга с юга север. Тарханкутская возвышенная равнина довольно сильно расчленена, изрезана длинными, извилистыми, пологими балками, широко распространены карстующиеся неогеновые известняки, и формы рельефа с ними связанные. В прибрежной зоне на западе Крымского полуострова распространены соляные озера: Джарылгач, Бакальское, Панское, Лиман, Донузлав. *Северо-Крымская низменная равнина* в геолого-структурном отношении является Присивашской впадиной, с юга ограничена Бакальской косой. Данная территория представляет собой область плиоценовой и четвертичной аккумуляции. При отступлении Сиваша в современное время произошло поднятие низменности с образованием террасы высотой 1,5-2,5 м., перекрытой лиманно-морскими отложениями. Равнина обладает слабым волнообразным расчленением речными балками. Речки впадают в залив, образуя лиманы. Для данной территории характерны прибрежные озера лиманного происхождения (Геология..., 1969).

По геоморфологическим условиям *Керченский полуостров* разделяется на 2 участка: юго-западный и северо-восточный, которые разграничиваются Парпачским гребнем. Он простирается в субширотном направлении от с. Владиславовка до с. Марфовка с последующим изгибом на юг к мысу Опук. *Юго-западный район* представляет собой волнисто-холмистую, эрозионно-денудационную равнину. Здесь

распространены пологие возвышенности и холмы высотой до 50-80 м, разделенные плоскодонными обширными понижениями. Поверхность равнины незначительно расчленена небольшими балками с пологими склонами. Также здесь располагаются действующие грязевые вулканы, крупнейший из которых – Джау-Тепе. На побережье восточнее мыса Чауда встречаются морские террасы четвертичного возраста, высота которых достигает 20 м над ур. м (Чаудинская). Юго-западный район в структурном отношении соответствует восточному периклинальному замыканию Крымского мегантиклинория. *Северо-восточный район* представляет собой холмисто-грядовую равнину со сложным сочетанием антиклинальных котловин и разделяющих их синклинальных долин. Равнина расчленена короткими речными долинами. Здесь широко распространены конусовидные грязевые сопки, приуроченные к антиклинальным структурам, местами достигают в высоту 30-40 м. Вблизи побережья Азовского моря располагается большинство соляных озер Керченского полуострова. Крупнейшие из них: Чокракское, Акташское, Чурубашское, Тобечикское и др. Северо-восточная часть Керченского полуострова более холмистая, по сравнению с юго-западной, с более расчлененным вертикальным и горизонтальным рельефом (Геология..., 1969).



Рис. 4. Геоморфологическая схема Крымского полуострова (Геология..., 1969)

## 1.4 Гидрография

Крымский полуостров беден поверхностными водами в связи с особенностями его климатических условий, таких как малое количество выпадающих осадков и продолжительное сухое лето. Из-за особенностей рельефа Крыма размещение поверхностных вод делят на две зоны: равнинную, со слабо развитой речной сетью и горную, содержащую в себе большое число водотоков. На территории всего полуострова насчитывается около 1700 рек и временных водотоков, общей протяженностью около 6000 км. Большинство рек относится к горному типу, из-за небольших запасов, а также незначительной протяженности (до 10 км). После стекания со склонов Крымских гор текут по равнине в северном направлении, впадают в Сиваш, но часто теряются из-за своих небольших запасов, не достигая его (Тарасенко и др., 2003).

На Керченском полуострове выделяются только маловодные и сухие балки, наиболее длинные располагаются в его северной и северо-восточной частях. Самые протяженные из них Самарли (51 км), Али-Бай, Сарайминская и др. Со значительной долей условности здесь можно назвать только одну речку — Мелек-Чесме, в долине которой находится город Керчь (Подгородецкий, 1988).

## 1.5 Растительность

Растительность Крымского полуострова различается в зависимости от зоны. В равнинной части распространена степная растительность. Для предгорий характерна лесостепь, для нагорий – лугостепная растительность. Лесная зона принадлежит северным склонам гор, южному берегу Крыма. На Крымском полуострове широко распространены соляные озёра. Для близлежащих территорий характерны заросли солероса европейского (рис.). Самые низкие участки вблизи Сивашского и Каркинитского залива заняты солевыносливной растительностью. Для северной части полуострова характерны полынные и полынно-типчаковые степи. Полынные степи распространены на западе до Тарханкутской возвышенной равнины, на востоке заходят на Керченский полуостров. В центральной части полуострова распространена ковыльная степь, которая в настоящее время значительно распахана (Гидрогеология..., 1971).



**Рис. 5.** Заросли солероса европейского вокруг озера Чокрак (фото Матюниной В.А)



**Рис. 6.** Солерос европейский (фото Матюниной В.А)

# ГЛАВА 1. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ КРЫМСКОГО ПОЛУОСТРОВА

## 2.1 Геологические условия Крымского полуострова

Существует две основных концепции для описания структурного строения Крымского полуострова: фиксистская и мобилистская. В фиксистской теории определяющими элементами считаются разноориентированные крутопадающие разломы, сформированные в результате вертикальных движений блоков земной коры. Согласно структурно-мобилистской концепции структуры Крыма представляются как серия тектонических пластин, надвинутых с юга на север, в результате мощного горизонтального сжатия. В настоящее время блоковые вертикальные движения не отрицаются, а рассматриваются, как малоамплитудные и разнонаправленные сколы торшения в тектонических пластинах, образованных при значительных горизонтальных перемещениях, причем системы сколов в каждой пластине автономные (Юдин, 2011).

Крымский полуостров имеет сложное геологическое строение. Его южная горная часть вместе с Керченским полуостровом принадлежат структурам кайнозойской Альпийской складчатости, которая протягивается от Европы до Азии, огибая Средиземное и Черное моря. Равнинная часть Крыма является частью эпипалеозойской Скифской плиты, которая расположена между докембрийской Восточно-Европейской платформой на севере и Альпийской складчатостью на юге.

*Керченский полуостров* по особенностям геологического строения делится на две части. Низменная *юго-западная* часть отсекается от холмогорядовой равнины северо-востока Керченского полуострова моноклинально залегающим Парпачским гребнем. Сложена отложениями майкопской серией глин, смятых в антиклинальные складки субширотного залегания. Антиклинальные складки группируются в зоны, в пределах которых располагаются кулисообразно. Часто в замках антиклиналей располагаются так называемые «вдавленные синклинали», сложенные неогеновыми песчаниками и известняками, а также сопочными брекчиями. *Северо-восточная* часть Керченского полуострова сложена преимущественно осадками неогенового возраста. Антиклинальные складки группируются в зоны. В северной части полуострова простираются субширотно также как Парпачский гребень, далее уходят в северную часть Таманского полуострова. Здесь также присутствуют складки диапирового типа с вдавленными синклиналями, которые представляют собой обширные пологие мульды,

соединяющиеся между собой. В северо-восточной части Керченского полуострова расположено множество действующих грязевых вулканов (Гидрогеология..., 1971).

*Скифская плита* является частью эпигерцинской платформы, протягивающейся вдоль края Восточно-Европейской платформы. Она включает в себя равнинный Крым, Азовское море, а также протягивается на восток захватывая равнинную часть Северного Кавказа. Фундамент плиты является складчатым образованием, сложенным породами палеозоя, начиная с девона. Платформенный чехол Скифской плиты по возрасту и строению разделяется на два этажа: к первому относятся узкие грабенообразные впадины, сложенные породами триас-юрского возраста, ко второму – пологие, обширные депрессии, горстовые поднятия, валы, сложенные породами мел-палеоген-неогенового возраста. Грабены распространены вдоль северной границы Скифской плиты. В пределах равнинного Крыма находятся два крупных поднятия фундамента: Тарханкутско-Новоселовское и Симферопольское, между которыми располагаются глубокие депрессии. На севере Скифской плиты расположена пологая Сивашская впадина, продолжающаяся в Азовское море. Значительная площадь Скифской плиты охвачена предгорными прогибами, на Крымском полуострове - это Индоло-Кубанский прогиб, заполненный неогеновыми отложениями, наложен на Керченский полуостров и равнинный Крым. Наиболее глубокая его часть располагается в поперечной депрессии, разделяющей Крымское и Кавказское горные сооружения (Геология..., 1969).

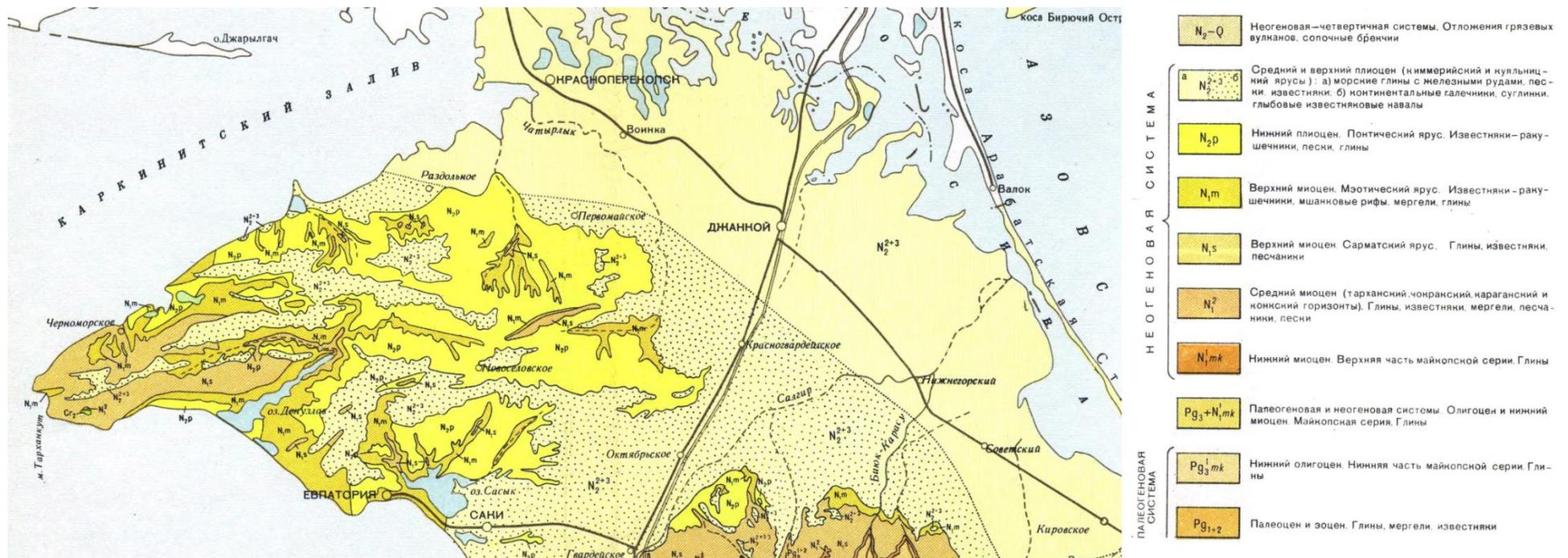


Рис. 7. Геологическая карта Равнинного Крыма, масштаб 1:1 000 000 (Архипов и др., 1967)

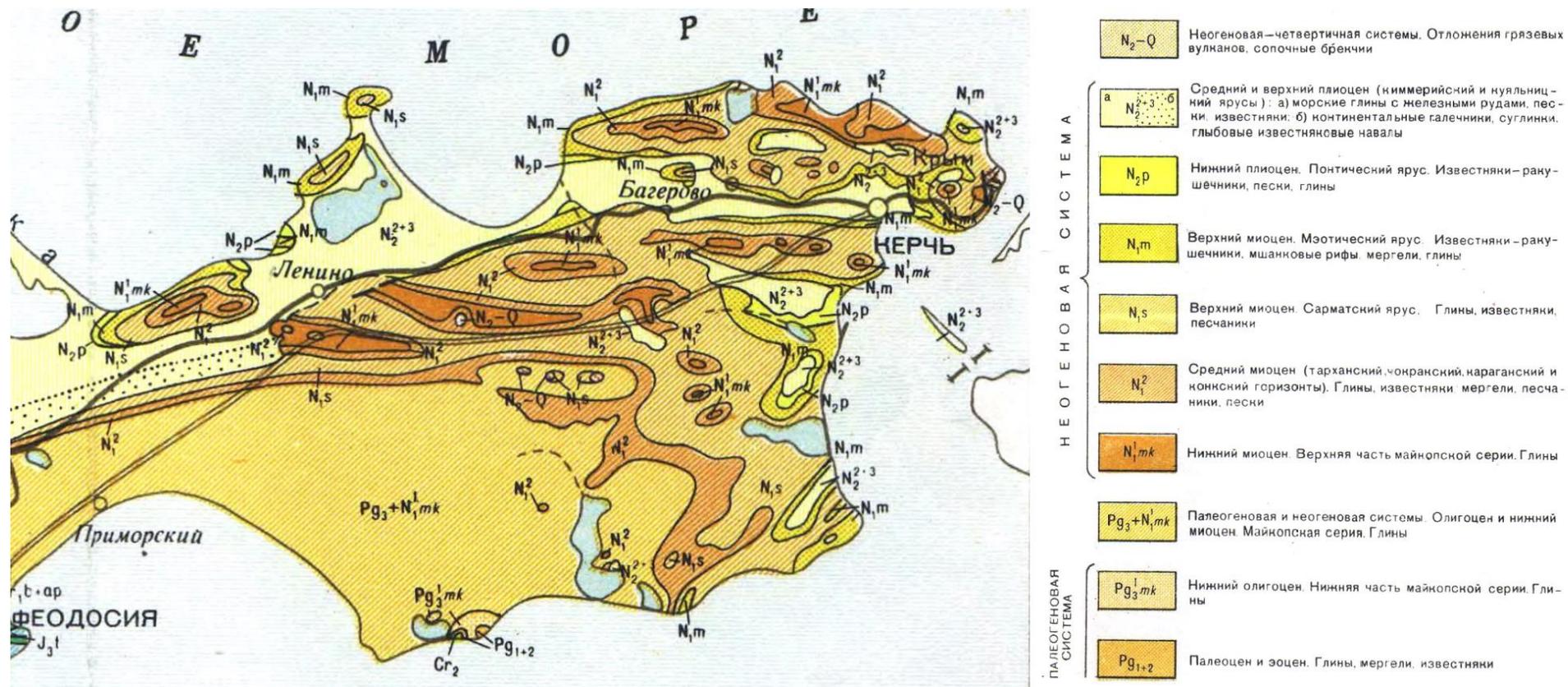


Рис. 8. Геологическая карта Керченского полуострова, масштаб 1:1 000 000 (Архипов и др., 1967)

## 2.2 Гидрогеологические условия Крымского полуострова

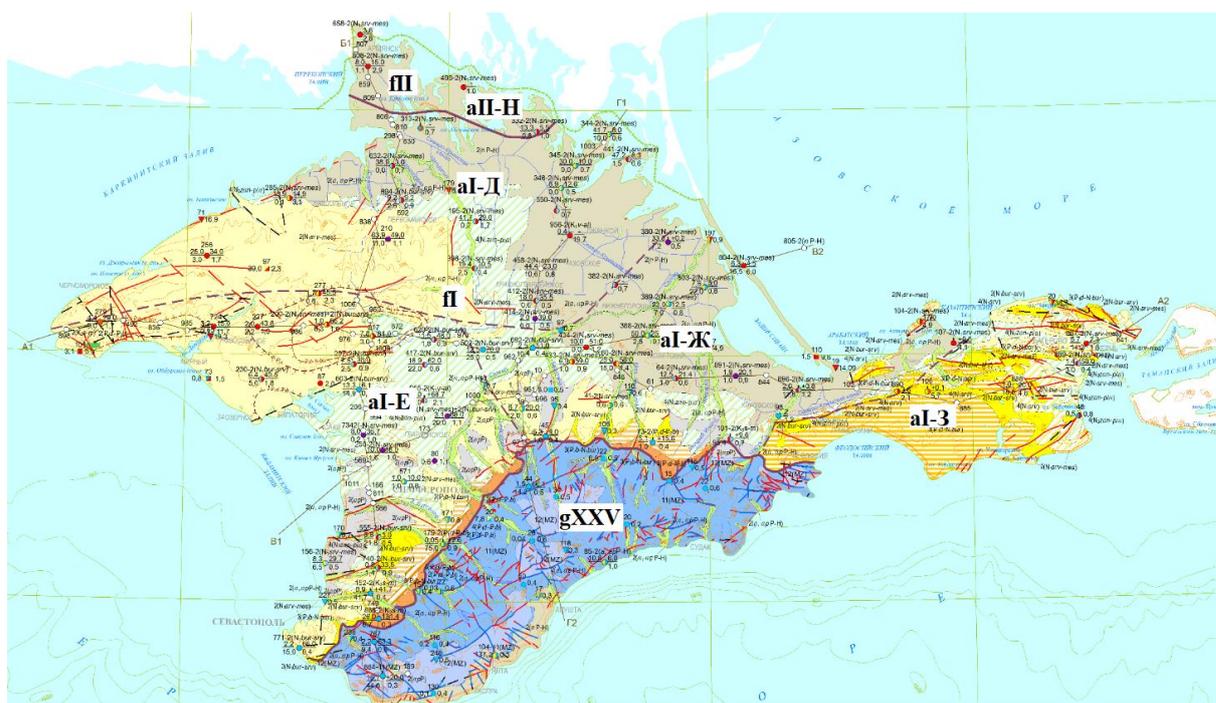
Гидрогеологическое районирование Крыма основывается на разделении по геолого-структурному признаку. Районы выделяются в пределах следующих таксонометрических единиц: артезианские бассейны платформ, артезианские бассейны складчатых областей, горноскладчатые области; которые в свою очередь подразделяются на элементы I, II, III порядков. Гидрогеологические таксонометрические единицы I порядка (провинции) делятся на структуры II порядка (области), которые в свою очередь подразделяются на элементы III порядка (районы) (Гидрогеология..., 1971).

На сегодняшний день выделяются три гидрогеологические провинции согласно гидрогеологической карте, размещенной на сайте о состоянии недр Российской Федерации (рис. 9): Скифский сложный артезианский бассейн, Восточно-Европейский сложный артезианский бассейн, Крымская сложная гидрогеологическая область. В данной работе основное внимание будет уделено первой провинции из вышеперечисленных, так как объекты исследования располагаются в данной области. Скифский сложный артезианский бассейн подразделяется на следующие структуры II порядка: Северо-Крымский артезианский бассейн, Альминский артезианский бассейн, Индольский артезианский бассейн, Керченская гидрогеологическая складчатая область.

На территории Равнинного Крыма подземные воды в основном приурочены к артезианским бассейнам. Слагающие их напорные горизонты находятся в меловых, палеогеновых и неогеновых отложениях. Зона питания артезианских бассейнов располагается на юге в районах предгорий: южная часть Альминской впадины, Белогорский прогиб, Симферопольское поднятие. Район Новоселовского поднятия и прилегающие части Северо-Сивашского прогиба являются зонами питания для понт-мэотических и сарматских водоносных комплексов, которое происходит за счет инфильтрации атмосферных осадков, а также в местах обнажения данных отложений в руслах рек. В районе Северо-Сивашского прогиба в гидрогеологических окнах, приуроченных к участкам выклинивания нижнесарматских глин, получает питание среднемиоценовый водоносный горизонт. Также, его питание происходит со стороны Причерноморского артезианского бассейна. В районе Перекопского перешейка в отложениях понта-мэотиса встречаются два потока подземных вод, движущихся с севера и с юга. Далее они расходятся на запад к Каркинитскому заливу и на восток к Азовскому морю. От областей питания подземные воды, находящиеся в меловых, палеогеновых,

неогеновых водоносных горизонтах движутся к центральным частям артезианских бассейнов. После чего разгружаются в Черное и Азовское моря.

Керченский полуостров по гидрогеологическим условиям принято разделять на две части: юго-западную и северо-восточную. В юго-западной части полуострова воды, приуроченные к песчаным прослоям в верхней части толщи майкопских глин пополняются за счет атмосферных осадков. Однако условия питания вод затруднены из-за необильных осадков, а также слабой водопроницаемости пород. Северо-восточная часть полуострова представляет собой ряд малых разобщенных артезианских бассейнов, основаниями которых служит мощная толща глин майкопа. Питание подземных вод происходит на крыльях синклиналей (среднемиоценовые, сарматские, мэотические, понтические отложения). Площади областей питания водоносных горизонтов по сравнению с областями распространения отдельных бассейнов чрезвычайно малы (Гидрогеология..., 1971).



**ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СТРУКТУРЫ**

- Границы гидрогеологических структур I-ого порядка: Скифский сложный артезианский бассейн (fl); Восточно-Европейский сложный артезианский бассейн (fII); Крымская сложная гидрогеологическая складчатая область (gXXV)
- - - Границы гидрогеологических структур II-ого порядка: Северо-Крымский артезианский бассейн (aI-D); Индольский артезианский бассейн (aI-J); Керченская гидрогеологическая складчатая область (aI-Z); Альминский артезианский бассейн (aI-E); Причерноморский артезианский бассейн (aII-H);

**Рис. 9.** Карта гидрогеологического районирования Крымского полуострова, масштаб 1:1 000 000 (Информационный..., 2.04.2020)

## ГЛАВА 3. ГИДРОМИНЕРАЛЬНЫЕ РЕСУРСЫ КРЫМА

### 3.1 Гидроминеральные ресурсы

Крымский полуостров богат такими гидроминеральными ресурсами как минеральные, термальные воды, а также лечебными грязями. Минеральные воды Крыма чрезвычайно разнообразны по газовому и химическому составу, температуре. Они используются как лечебные, а также являются сырьём для промышленных целей. Минеральные воды в зависимости от состава встречаются в различных частях полуострова. В равнинном Крыму выделяют области распространения азотных, азотно-метановых, метановых вод, приуроченных к артезианским бассейнам. Азотные и метаново-азотные воды распространены в Горном Крыму. К Керченскому полуострову приурочены азотные, азотно-метановые воды, также встречаются локальные проявления углекислых вод. Минеральные воды в основном вскрываются скважинами в отложениях от среднемиоценового до палеозойского возраста. Крупнейшими являются следующие 5 месторождений: Сакское слабощелочных хлоридно-натриевых вод, Евпаторийское типа морских и субтермальных вод, Феодосийское сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатно-натриевых вод, Чокракское. Разведанные запасы по данным пяти месторождениям составляют 20,8 тыс. м<sup>3</sup>/сут. Отдельно рассматриваются месторождения термальных вод. Запасы Новоселовского месторождения термальных вод составляют 8412 м<sup>3</sup>/сут. Также эти воды являются минеральными, так как содержат в своем составе йод, бром и бор. Термальные воды используются в лечебных целях, а также как топливно-энергетическое сырьё. Перспективным горизонтом на термальные воды является базальная пачка нижнего мела. Лечебные грязи подразделяются на иловые озёрные и сопочные, являющиеся продуктом грязевого вулканизма. Грязи соляных озёр широко распространены на полуострове. Выделяют 4 группы озёр: Тарханкутская, Евпаторийская, Перекопская, Керченская. Разведано 26 соляных озёр, их запасы составляют 34,9 м<sup>3</sup>. В настоящее время эксплуатируется только два месторождения: Сакское и Чокракское (Хмара, 2001).

### 3.2 Генезис соляных озёр и их типы

На территории Крымского полуострова находится около 50 соленых озер. Соляные озера – это водоемы содержание растворенных минеральных солей в которых превышает 35‰, то есть соленость Мирового океана. Благоприятными условиями их образования является территория с аридным климатом, где испаряемость преобладает

над выпадением атмосферных осадков (Гроховский, 1972). Соляные озера Крыма в зависимости от типа питания подразделяются А.И. Дзенс-Литовским на две генетические группы: К первой группе относятся *континентальные водоемы*, которые питаются за счёт поверхностного и подземного стока. К ним относятся озера Перекопской и частично Керченской групп. Ко второй группе относятся *морские водоемы*, в их питании принимают участие морские воды, а также воды поверхностного и подземного стока. Они также подразделяются на две подгруппы: лиманы и заливы, имеющие связь с морем в виде протоков (Сиваш), и озера, отделенные от моря сплошными пересыпями, через которые идет фильтрация морской воды. К данному подтипу относится большинство Крымских соляных озер (Понизовский, 1965).

Образование соляных озер происходило в четвертичный период. В конце послеледникового периода территории Крымского полуострова была опущена, вследствие чего затоплялись устья рек и балки морской водой. Впоследствии эти водоемы под воздействием выравнивающей деятельности моря отделялись косами и пересыпями, постепенно превращаясь в закрытые и полузакрытые водоемы – озера, лиманы, заливы (Дзен-Литовский, 1957).

Вследствие значительного многообразия соляных озёр всегда стоял вопрос о необходимости их классификации. Вернадским В.И. в 1933 г. была предложена классификация соляных озер по концентрации в воде растворенных солей. По его классификации воды подразделялись на: пресные, слабо минерализованные или солоноватые, минерализованные или соленые и рассолы, содержащие соответственно 0,001—0,1; 0,1—1,0; 1—5 и 5—40 вес. % солей. В дальнейшем сразу несколькими учеными были созданы классификации, основанные на разделении по преобладающим катионам и анионам, таким как:  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $(CO_3)^{2-}$ ,  $(HCO_3)^-$ ,  $(SO_4)^{2-}$ ,  $Cl^-$ . К ним относятся классификации: Н.И. Толстихина (1937), В.И. Сулина (1948), О.А. Алёкина (1948) и др. (Гроховский, 1972).

Однако, положение с классификацией соляных озер представляется значительно сложнее, так как воды различного состава и происхождения в озерах увеличивают концентрацию в них солей, превращаются в рассолы, соли из них переходят в твердую фазу, активно взаимодействующую с жидкой фазой озера. Начало обоснованной гидрохимической классификации соляных озер, увязывающей химический состав рапы с направлением развития соляных озер, было положено Н.С. Курнаковым, подразделившим соляные озера по составу рапы на два основных класса:

1. К *первому классу* он относил озера, рассолы которых содержат хлориды натрия и магния, сульфаты кальция, магния и натрия. Коэффициент метаморфизации

рапы характеризуется следующим отношением:  $K = \frac{MgSO_4}{MgCl_2}$ . Величина данного коэффициента для крымских озёр варьирует в пределах 0,03-1,21. Если в рапе озера первого класса содержание  $MgCl_2$  равно 0, процесс метаморфизации такой рапы выражает так называемый «сульфатный» коэффициент  $K = \frac{Na_2SO_4}{MgSO_4}$ .

2. Ко *второму классу* относятся озёра, в рассолах которых количество сульфат-иона достаточно только для образования  $CaSO_4$  и содержится  $CaCl_2$ . Рассолы озёр первого класса постепенно теряют сульфат-ион и переходят в рассолы второго класса. Коэффициент метаморфизации рапы характеризуется следующим отношением:  $K = \frac{CaCl_2}{MgCl_2}$ . Его величина варьирует для озёр Крыма в пределах 0,04-0,33 (Гроховский, 1972; Понизовский, 1965).

Дальнейшее развитие, разработка и совершенствование гидрохимической классификации соляных озёр начиная с 1932 г. осуществлялись М. Г. Валяшко. Им были выделены три типа рассолов соляных озёр — карбонатный, сульфатный и хлоридный (Понизовский, 1965). Рассмотрим каждый из этих типов:

1. *Карбонатный, или содовый тип.* Главными компонентами являются  $(CO_3)^{2-}$ ,  $(HCO_3)^-$ ,  $(SO_4)^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$  ( $K^+$ ),  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  в пределах растворимости их карбонатов. Коэффициент метаморфизации находится следующим образом  $K = \frac{Na_2(K_2)CO_3 + Na(K)HCO_3}{Na_2K_2SO_4}$ .

2. *Сульфатный тип.* Главными компонентами являются  $(SO_4)^{2-}$ ,  $Cl^-$ ,  $Na^+$  ( $K^+$ ),  $Mg^{2+}$ ,  $(CO_3)^{2-}$ ,  $(HCO_3)^-$  в пределах растворимости кальциевых и магниевых солей,  $Ca^{2+}$  - в пределах растворимости карбоната, бикарбоната и сульфата. Здесь выделяют два подтипа: сульфатнонатриевый, характеризующийся коэффициентом метаморфизации  $K = \frac{Na_2(K_2)SO_4}{MgSO_4}$ , сульфатномагниевый описываемый коэффициентом Курнакова  $K = \frac{MgSO_4}{MgCl_2}$ .

3. *Хлоридный тип.* Главными компонентами являются  $Cl^-$ ,  $Na^+$  ( $K^+$ ),  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $(CO_3)^{2-}$ ,  $(HCO_3)^-$  в пределах растворимости кальциевых и магниевых солей,  $(SO_4)^{2-}$  - в пределах растворимости кальциевой соли (Валяшко, 1962).

В настоящий период жизни Земли наиболее многочисленная группа озёр (в том числе Мировой океан) относятся к сульфатному типу с устойчивым равновесием натрия и магния и неустойчивым равновесием анионов, среди которых преобладают сульфатные ионы. При этом сульфатно-натриевый подтип может перейти в сульфатно-магниевый. В то же время простым концентрированием или разбавлением нельзя

перейти из одного типа в другой. Только процессы метаморфизации приводят к превращению типов друг в друга. В сухом климате метаморфизация ведет к потере раствором ионов  $(\text{CO}_3)^{2-}$ ,  $(\text{SO}_4)^{2-}$ , т.е. изменяет состав рассола от карбонатного через сульфатный к хлоридному типу (прямой путь метаморфизации). При увлажнении климата этот процесс идет в обратном направлении, меняя состав от хлоридного через сульфатный к карбонатному типу (обратный путь метаморфизации) (Каюкова, 2015).

## ГЛАВА 4. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРНЫХ ДАННЫХ

### 4.1 История изучения соляных озёр

На Крымском полуострове расположено большое количество соляных озёр. С древних времён люди использовали самосадочную минеральную соль для хозяйственных нужд, а озёрные рассолы и минеральные илы для лечения различных болезней. Поэтому изучение соляных озёр всегда представляло практический, а также научно-теоретический интерес. Исследования соляных озёр Крыма начались уже в 18 веке и носили описательный характер. В 1793-1794 годах академик П.С. Паллас посетил Азовско-черноморское побережье, сделал множество ценных наблюдений о минеральных озёрах. Палласом впервые была верно высказана мысль о морском происхождении озёр, которые были отделены нанесенным песком и илом. Затем в 1828 г. Гаеком было дано наиболее полное решение проблемы происхождения лиманов. В 1834 г. профессором Дерптского университета Гебель посетил минеральные озёра Крыма. В его работах представлено более 40 анализов химического состава рапы и новосадки минеральных озёр. Начиная с 1840 г. начинается новый период исследования соляных озёр, он носит характер геологического познания озёрной рапы и отдельных провинций. Р. Мурчисон выделяет 2 типа соленакопления минеральных озёр: континентальное и морское. Профессор Г.П. Федченко в 1863 г. провел большую полевую работу по исследованию соляных озёр Азовско-черноморского побережья, Степного Крыма. Комплексное геологическое и гидрохимическое изучение минеральных озёр начинается с работы Л. Першке, изданной в 1880 году. Он описывает соляные промыслы, подробно останавливается на происхождении озёр и лиманов. Л. Першке впервые классифицирует озёра по химическому составу. Изменения в составе рапы связывает с взаимодействием растворенных солей с элементами, находящимися в воде, питающей озеро. После исследований Першке появляется ряд специальных геохимических исследований минеральных озёр. В 1894 г. И.Н. Вноровским было впервые произведено бурение Сакского озера, Сассык-Сиваша и Красного озера. В то же время Н.С. Курнаковым были проведены химические анализы иловых донных отложений, И.В. Мушкетовым произведено геологическое обследование, а позже опубликована в Горном журнале статья «Заметки о происхождении различных типов крымских соляных озёр». На основании анализа лабораторных данных Н.С. Курнаковым впервые были описаны процессы, которые происходят в рапе минеральных озёр, вызывая колебания в составе их солей. Позже Курнаковым был разработан метод, рассматривающий озеро, как

равновесную физико-химическую систему. Начиная с 20-х годов 20 века изучение соляных озёр приобретает широкий размах, в связи с возможностью их использования в химической промышленности как сырья. В 1927 г. по инициативе Е.С. Бурксера в Одессе была организована озёрная комиссия по исследованию соляных озёр Черноморского и Азовского побережий, а также проводилась большая комплексная работа по комплексному познанию Присивашья. В 1929 г. по инициативе С.А. Щукарева и С.А. Пастак была организована Сакская озёрная станция. С тех пор на станции ведутся режимные наблюдения за Сакским озером, а также изучение донных иловых отложений. Под руководством А. И. Дзен-Литовского в 1930-1933 гг. работала Крымская комплексная гидрогеологическая экспедиция, которая вела исследования в тесном контакте с физико-химической экспедицией Академии Наук под руководством академика Н.С. Курнаковым. В результате были исследованы минеральные озёра Евпаторийского побережья и Тарханкутского полуострова. В то же время велись работы по комплексному обследованию озёр Перекопкой группы (М.И. Боженко) и озёр Керченского полуострова (И.Н. Гладин). А.И. Дзен-Литовским и М.Г. Валяшко в 1934 году была разработана методика комплексного изучения минеральных озёр, которая нашла широкое применение в полевых исследованиях. Также, М.Г. Валяшко была дополнена разработанная академиком Н.С. Курнаковым физико-химическая классификация. Коэффициенты Курнакова-Валяшко впервые устанавливают границы между типами озёр и объясняют условия метаморфизации и формирования рапы. Поэтому, при обследовании минеральных озёр имеются конкретные поисковые признаки, по которым можно разделить озёра на химические типы и давать прогнозы практического характера. Выше были описаны основные исследования по соляным озерам, проведенные в СССР для понимания природы данного явления. В настоящее время проводятся исследования изотопного, химического состава, а также ведется экологический мониторинг за данными природными объектами (Дзен-Литовский, 1946).

#### **4.2 Евпаторийская группа соляных озёр**

Озёра Евпаторийской группы располагаются на берегу Каламитского залива Черного моря в районе городов Саки и Евпатория. Группа содержит в себе 14 водоемов, крупнейшим из которых является оз. Сасык-Сиваш. С данной группой соляных озёр связана история развития советской соляной химической промышленности, а также бальнеологии. В настоящее время для добычи соли используются озера Сакское и Сасык-Сиваш, для добычи лечебной грязи – Сакское. Водоёмы Евпаторийской группы соляных озёр имеют морское происхождение, отделяются от моря песчано-гравийными

пересыпями шириной 0,17-1,6 км. Уровень рапы располагается ниже уровня моря на 0,6-0,8 м. Почти все озёра содержат мощную толщу донных илов, мощность которых достигает 12-17 км. Питание озёр происходит в результате инфильтрации морской воды, поступающей через пересыпи (3-8% общего притока вод), за счет подземных и поверхностных вод (45-60%), общий баланс вод и осадки (35-45%). Питающие воды содержат большое количество сульфатов. Коэффициент метаморфизации больше единицы. Реже встречаются хлоркальциевые воды. Они представлены в озере Кизыл-Яр, имеют значительное влияние на состав рапы, изменяя его до 2 класса по классификации Курнакова. По химическому составу озёра Евпаторийской группы в основном относятся к 1 классу с различной степенью сульфатности (Понизовский, 1965).

### **4.3 Керченская группа соляных озёр**

На Керченском полуострове располагаются более 10 соляных озёр различного происхождения. Озёра морского происхождения находятся преимущественно в северо-восточной части полуострова между Парпачским хребтом и Азовским морем (Акташское, Чокракское, Чурубашское, Тобечикское). В юго-западной равнинной части Керченского полуострова располагаются следующие озёра континентального происхождения – Марфовка, Карач, Ачи. Также здесь расположены озёра морского происхождения – Узунзарское, Кояшское, Качикское и тд. Озёра данной группы имеют неправильную форму в плане, мелководны (глубина до 1 м). Озёра морского происхождения отделены песчаными фильтрующими пересыпями шириной от 0,3 до 2 км. Мощность иловых отложений достигает 8-20 м. Иловые отложения Чокракского озера по бальнеологическим свойствам превосходят лечебные грязи Сакского озера. По химическому составу рассолы Керченского полуострова относятся к двум типам: хлоридно-сульфатному и сульфатному. Первый тип характерен для озёр морского происхождения, второй тип – для озёр континентального происхождения. Коэффициент метаморфизации Кояшского и Чокракского озёр составляет 0,65-0,8. Коэффициент метаморфизации озёр Акташского, Узунларского, Чурубашского, Аджиголь составляет 0,2-0,4. Коэффициент метаморфизации Тобечикского озера превышает единицу. Рассолы континентального происхождения характеризуются повышенной сульфатностью, изменчивым коэффициентам метаморфизации (Понизовский, 1965).

## ГЛАВА 5. ПОЛЕВОЕ ОПРОБОВАНИЕ И МЕТОДЫ АНАЛИЗА

### 5.1 Подготовительный этап

На подготовительном этапе в городе была изучена литература по геологическому строению исследуемой местности, по соляным озёрам. По прибытии на базу изучалась карта местности, подготавливались бутылки для взятия проб, этикетки для подписи на бутылки. Также велось приготовление реактивов для последующего анализа и калибровка приборов.

### 5.2 Полевое опробование

В ходе производственной практики в Крыму летом 2019 г. было произведено гидрогеологическое опробование соляных озёр, источников, колодцев и т.д. расположенных в Равнинном Крыму, а также на Керченском полуострове. Опробование проводилось в ходе выездных маршрутов, и на полученных данных основана эта дипломная работа.



**Рис. 10.** Полевое опробование на Кояшском озере (фото Л. Бондаренко)



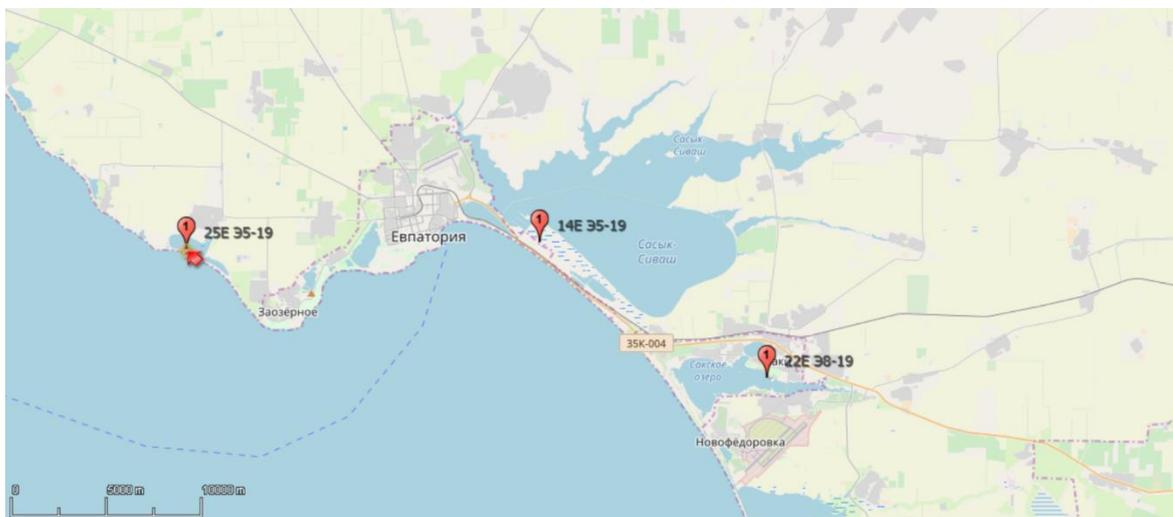
**Рис. 11.** Полевое опробование родника, г. Судак (фото М.А. Гольм)

Непосредственно в поле на точке опробования производились замеры координат точек с помощью GPS, температура воды, рН, УЭП, велись записи в полевом дневнике. Пробы воды, рапы и грязи набирались в пластиковые бутылки объема 0,5-1,5 литра, затем наклеивалась этикетка с номером пробы и краткими данными о месте опробования. В дальнейшем все точки были нанесены на карту в программе SASPlanet (рис. 13-15).

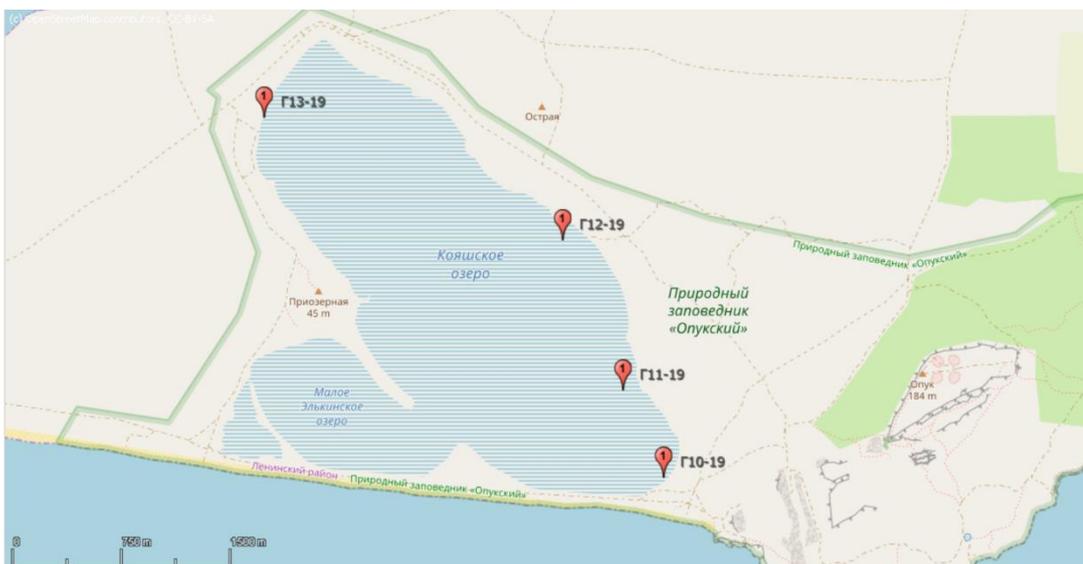


**Рис. 12.** Полевая лаборатория на базе СПбГУ в д. Трудолюбовка (фото М.А. Гольм)

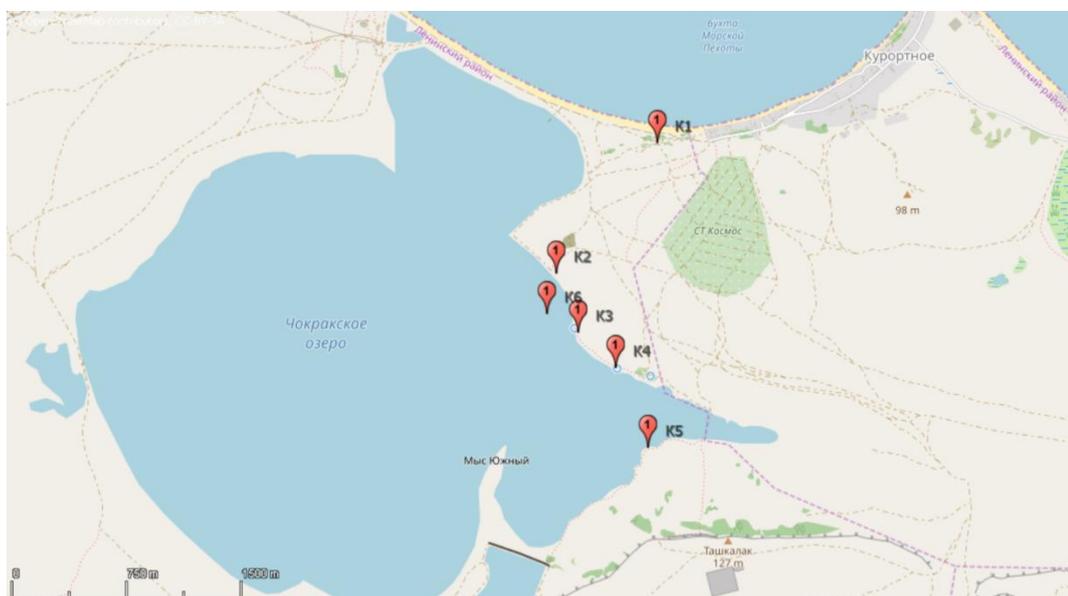
В результате опробования было отобрано 18 проб рапы и грязи. Из них 1 проба рапы из озера Солёное в пос. Молочное, 2 пробы рапы из озера Сасык-Сиваш, 1 проба рапы и 1 проба грязи из Восточного водоема озера Саки, 4 пробы рапы и 1 проба грязи из Кояшского озера, 1 проба грязи из Киркояшского озера, 2 пробы рапы и 1 проба грязи из Чокракского озера, а также 3 пробы воды из источников и 1 проба воды из колодца близ озера Чокрак. Список точек опробования за 2019 год приведен в Приложении 1.



**Рис. 13.** Карта опробования соляных озер западной части Крыма



**Рис. 14.** Карта опробования Кояшского озера



**Рис. 15.** Карта опробования Чокракского озера и близлежащих источников

### **5.3 Определение химического состава**

В полевой лаборатории на базе СПбГУ в деревне Трудолюбовка были отфильтрованы отобранные пробы. После чего проводился химический анализ на некоторые макрокомпоненты такие как: гидрокарбонаты, карбонаты, общая жесткость, кальций, хлор. С помощью расчета мы получили концентрацию магния. Также с помощью ионометра HI 98202 (pNa) была определена концентрация ионов натрия. В дальнейшем осенью в лаборатории СПбГУ под руководством Н.И. Суминой были проведены анализы на содержание сульфатов, нитратов, нитритов и аммония. Определение плотности рапы проводилось в химической лаборатории РГПУ им. А.И. Герцена.

Для определения макрокомпонентного анализа воды использовался ряд методов таких как: титриметрический метод, гравиметрический метод, потенциометрический метод, колориметрический метод.

*Титриметрический метод* – это объемный метод анализа, который основан на объемном взаимодействии исследуемого компонента с реактивом. Реактив в виде раствора заданной концентрации (титрующий раствор) добавляется в исследуемый раствор до того момента, пока количество прибавленного реактива не станет эквивалентно количеству определяемого компонента в растворе. Этот процесс называется – титрованием, а момент окончания титрования – точкой эквивалентности. Конец титрования определяют по изменению цвета индикатора, то есть вещества, изменяющего свою окраску при концентрациях реагирующих веществ, близких к точке эквивалентности (Никаноров, 2001).

В зависимости от реакций выделяют несколько типов титрования. В данной работе использовался кислотно-основной метод титрования для определения концентрации карбонат-иона, гидрокарбонат-иона. Данные компоненты определялись в соответствии с ГОСТ Р 52963-2008 «Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов» (ГостЭксперт, 18.05.2020).

Метод осаждения использовался для определения хлорид-иона, основан на образовании нерастворимого осадка при взаимодействии ионов серебра с хлорид-ионом. Хлорид-ион определялся в соответствии с ПНД Ф 14:1:2.96-97 «Количественный химический анализ вод. Методика измерений массовой концентрации хлоридов в пробах природных и сточных вод аргентометрическим методом» (ГостЭксперт, 18.05.2020).

Метод титрования с образованием комплексов использовался для определения общей жесткости, а также концентрации иона кальция. Жесткость определялась в соответствии с ГОСТ Р 52407-2005 «Вода питьевая. Методы определения жесткости» (ГостЭксперт, 18.05.2020). Ион кальция определялся в соответствии с ПНД Ф 14:1:2.95-97 «Методика измерений массовой концентрации кальция в пробах природных и сточных вод титриметрическим методом» (ГостЭксперт, 18.05.2020).

*Гравиметрический анализ* – это метод количественного анализа, основанный на точном измерении массы аналита или его составных частей, выделенных в виде соединений точно известного, постоянного состава (Радион, 2013). Существует несколько видов гравиметрического анализа. При определении концентрации сульфатов использовался метод осаждения. В этом методе к раствору определяемого вещества добавляют раствор осадителя. В результате химической реакции образуется малорастворимый продукт – осаждаемая форма определяемого вещества (Беляева, 2004).

Сульфат-ион был определён в соответствии с РД 52.24483-2005 «Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом» (ГостЭксперт, 18.05.2020) (рис. 16).



**Рис. 16.** Процесс осаждения сульфатов (фото Матюниной В.А)

*Потенциометрический метод* анализа основан на изменении потенциала электрода, изменяющегося в результате химических реакций от температуры и концентрации анализирующего раствора (Никаноров, 2001). В данной работе определение концентрации нитратов проводилось данным методом с помощью ионселективных электродов на иономере «Аквилон И-500». (рис. 17)



**Рис. 17.** Иономер «Аквилон И-500» (фото Матюниной В.А)

Фотометрический метод основан на законе Бугера-Ламберта-Бэра, который устанавливает зависимость между оптической плотностью исследуемого вещества, его концентрацией и толщиной слоя раствора вещества. Измерение данным методом включает в себя две процедуры: переведение вещества с соединением, поглощающее свет, а также нахождения его концентрации путем изменения светопоглощения раствора. Фотометрический метод основан на определении спектра поглощения или измерении светопоглощения в видимом участке спектра (Никаноров, 2001). Концентрация нитритов и аммония были измерены с помощью колориметра HACH DR890. Нитриты измерялись в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:3-95 «Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации нитрит-ионов в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Грисса» (ГостЭксперт, 18.05.2020). Аммоний измерялся в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:1-95 «Методика измерений массовой концентрации ионов аммония в природных и сточных водах фотометрическим методом с реактивом Несслера» (ГостЭксперт, 18.05.2020).

#### **5.4 Изотопные исследования**

Исследования изотопного состава проводились в ресурсном центре СПбГУ на инфракрасный спектрометр Picarro L-2120 i, который предназначен для определения изотопного состава воды (одновременного измерения дейтерия и кислорода-18 в пробе). Его работа основана на методе CRDS (Cavity Ring Down Spectroscopy) то есть на измерении времени затухания излучения в ячейке (кювете) с тремя высокоотражающими зеркалами при многократном прохождении света между ними. CRDS имеет три отличительных признака. Во-первых, CRDS обеспечивает очень большую длину пути луча лазера в оптической кювете, луч лазера проходит путь ~12 км со временем затухания ~40 мкс. Длина волны перестраиваемого диодного лазера 1392 нм. Вторым отличительным признаком анализатора является измерение времени затухания, а не ослабление интенсивности излучения, как это происходит в обычной оптической абсорбционной спектроскопии. Поэтому результаты измерения концентрации поглощающего газа не зависят от флуктуаций интенсивности источника света, что особенно важно при использовании импульсных лазеров. Третья выгодная особенность анализатора на основе CRDS – это высокая разрешающая способность. Изотопный состав выражается как отношение  $^{18}\text{O}$  к  $^{16}\text{O}$  и D к H. В качестве эталона используется отношение  $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$  и D/H для осреднённого состава океанической воды (SMOW, standard mean ocean water). Точность определения величины  $\delta\text{D}$  составляет 1,5‰, величины  $\delta^{18}\text{O}$  0,3‰ (Научный..., 10.05.2020).

## ГЛАВА 6. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ

### 6.1 Химический состав рапы соляных озёр

Проанализированы данные химического состава рапы соляных озёр и некоторых близлежащих водных объектов, полученные в ходе собственных исследований, а также использованы данные с кафедры гидрогеологии СПбГУ за 2013 год. Были рассмотрены такие озера как: Саки, Сасык-Сиваш, Солёное, Кояшское, Чокракское по данным 2019 года; Саки, Сасык-Сиваш, Ерофеевское, Аджиголь, Тобечик, Кояшское, Чокракское, Мойнакское, Ачи по данным 2013 года. Данные химического состава рапы соляных озёр и других водных объектов представлены в Приложении 2.

Минерализация озёрной рапы варьирует в пределах 197-342 г/л. Значения pH изменяются от 7,5 до 8,6. Температура и Eh на месте не измерялись. В таблице 1 приведены основные статистические данные по макрокомпонентам, содержащимся в рапе.

**Таблица 1**

Статистические данные рапы соляных озёр морского генезиса, г/л  
(июль 2019)

	NO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	HCO <sub>3</sub>	SO <sub>4</sub>	Cl	Ca	Mg	Na+K(расч.)
Кол-во проб	9	9	9	9	9	9	9	9
среднее значение	0,07	0,11	5,56	26,82	143,19	1,29	15,01	77,7
медиана	0,1	0	4,9	24,3	166,9	1,2	13,4	81,2
дисперсия	0,002	0,043	7,68	134,58	1098,08	0,24	42,24	311,1
минимум	0	0	2,4	14,8	99,4	0,8	7,8	54,8
максимум	0,1	0,5	12,2	57,2	177,5	2,4	29,9	102,3

По преобладающим компонентам озёрная рапа в основном относится к Cl-SO<sub>4</sub>/Na-Mg типу. Формулы Курлова представлены в таблице 2. По классификации Сулина – к хлор-магниевому типу. По классификации Курнакова-Валяшко рассмотренные соляные озера относятся к хлоридно-магниевому подтипу сульфатного типа.

**Таблица 2**

Формулы Курлова соляных озёр, июль 2019

Формула Курлова	Название объекта, номера точек опробования
$M_{193} \frac{Cl^- 83SO_4^{2-} 13}{(Na^+ + K^+) 71 Mg^{2+} 26} pH_{8,6}$	Оз. Солёное, посёлок Молочное (25E Э5-19)
$M_{204-221} \frac{Cl^- (80 - 88) SO_4^{2-} 13}{(Na^+ + K^+) (67 - 87) Mg^{2+} (17 - 30)} pH_{7,5 - 7,6}$	Оз. Сасык-Сиваш (14E Э6-19, 13E Э7-19)

$M_{197} \frac{Cl^{-}87SO_4^{2-}11}{(Na^{+} + K^{+})76 Mg^{2+}22} pH_{7,58}$	Оз. Саки, вост. водоем (22Е Э8-19)
$M_{309-319} \frac{Cl^{-}(88 - 90)SO_4^{2-}10}{(Na^{+} + K^{+})(66 - 79) Mg^{2+}(20 - 32)}$	Оз. Кояшское (Г10-19, Г11-19, Г12-19, Г13-19)
$M_{329-342} \frac{Cl^{-}(79 - 87)SO_4^{2-}(10 - 19)}{(Na^{+} + K^{+})(58 - 78)Mg^{2+}(21 - 40)}$	Оз. Чокракское (К5, К6)

Также были изучены источники и колодцы, находящиеся вблизи Чокракского озера. Значения pH варьируют в пределах 6,8-8,1. Величина минерализации колеблется в пределах 4,6-11,1 г/л. Подземные воды –соленоватые, соленые. Это обусловлено влиянием фильтрации морской воды через пересыпь, а также близостью соляного озера. По классификации Сулина воды относятся к сульфатно-натриевому типу. В таблице 3 приведены формулы Курлова.

**Таблица 3**

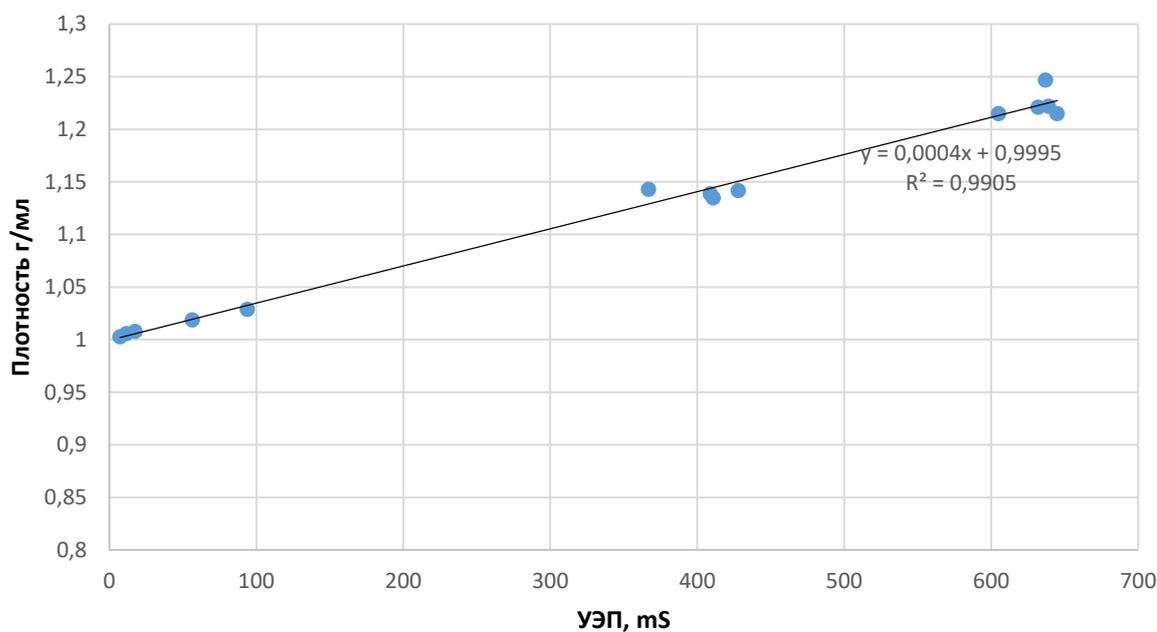
Формулы Курлова для подземных вод вблизи оз. Чокрак, июль 2019

<b>Формула Курлова</b>	<b>Название объекта, номер точек опробования</b>
$M_{11} \frac{Cl^{-}84SO_4^{2-}11}{(Na^{+} + K^{+})74 Mg^{2+}19} pH_{7,6}$	Колодец, северо-восточная часть озера (К1)
$M_{27} \frac{Cl^{-}93}{(Na^{+} + K^{+})84 Mg^{2+}10} pH_{6,8}$	Источник 1, северо-восточная часть озера (К2)
$M_7 \frac{Cl^{-}51SO_4^{2-}34HCO_3^{-}13}{(Na^{+} + K^{+})54Mg^{2+}31 Ca^{2+}13} pH_{8,1}$	Источник 2, северо-восточная часть озера (К3)
$M_{4,7} \frac{Cl^{-}64SO_4^{2-}24HCO_3^{-}10}{(Na^{+} + K^{+})48 Mg^{2+}32 Ca^{2+}19} pH_{7,4}$	Источник 3, северо-восточная часть озера (К4)

## **6.2 Интерпретация данных гидрохимического состава**

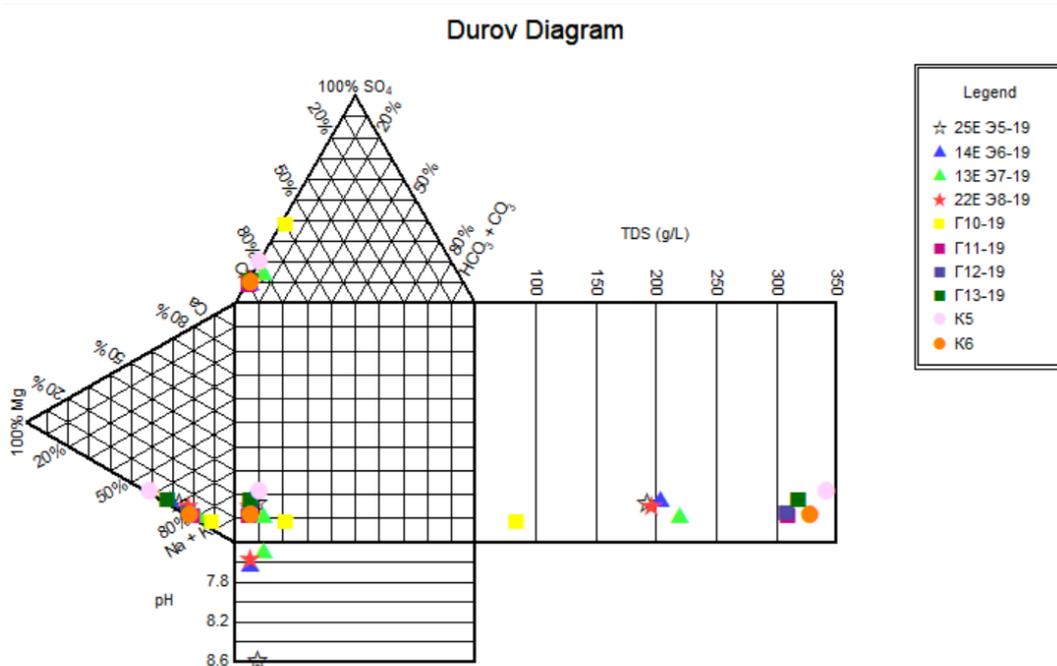
### **6.2.1 Рапа соляных озёр**

График зависимости плотности рапы от удельной электропроводности указывает на их линейную зависимость (рис. 18). УЭП измерялась в пробах разбавленных в 100 раз, если их минерализация больше 15 г/л.



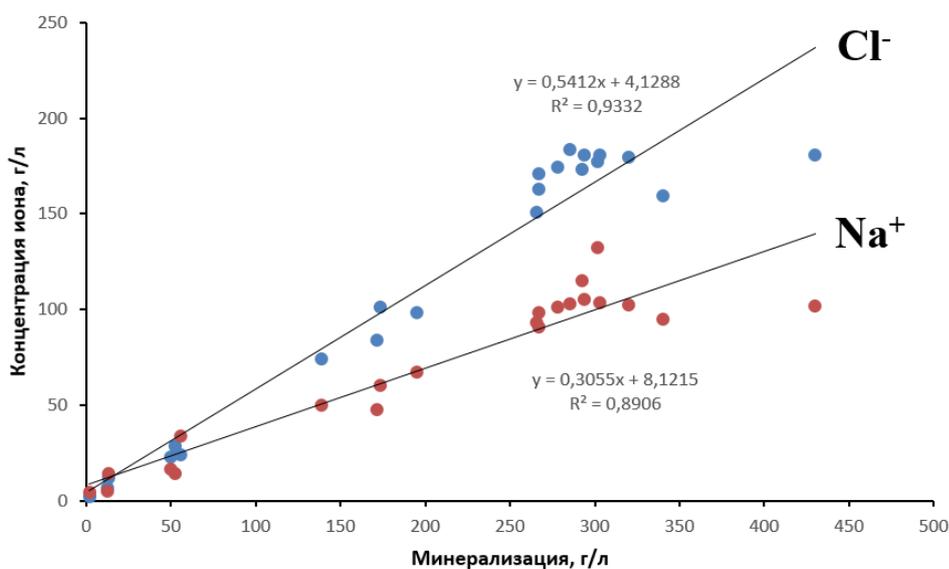
**Рис. 18.** График зависимости плотности от удельной электропроводности, разбавленной в 100 раз пробы (июль, 2019)

На рисунке 19 приведена диаграмма Дурова для рапы соляных озёр из которой видно, что основными макрокомпонентами, формирующими химический состав, являются ионы хлора, натрия. Наибольшей изменчивостью обладают концентрации  $\text{Cl}^-$  иона, на что указывает его наибольшая дисперсия. Содержание иона хлора варьирует в пределах 60-90%, суммарное содержание  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  варьирует в пределах 60-90 %. Прослеживается следующая закономерность относительно концентрации макрокомпонентов: для анионного состава  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{HCO}_3^-$ ; для катионного состава  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ .



**Рис. 19.** Диаграмма Дурова для рапы соляных озёр морского генезиса (июль 2019)

Концентрация ионов хлора варьирует в пределах 99,4-177,5 г/л, среднее значение составляет 131,7 г/л, медиана – 140,25 г/л. Концентрация ионов натрия варьирует в пределах 77,7-102,3 г/л, среднее значение составляет 81,2 г/л, медиана 311,1 г/л. Ион натрия и хлорид-ион имеют высокую корреляционную связь со значением минерализации рапы. Их линейная зависимость, которая представлена на графике (рис. 20), построено по данным 2013 года для соляных озёр Керченской, Евпаторийской группы

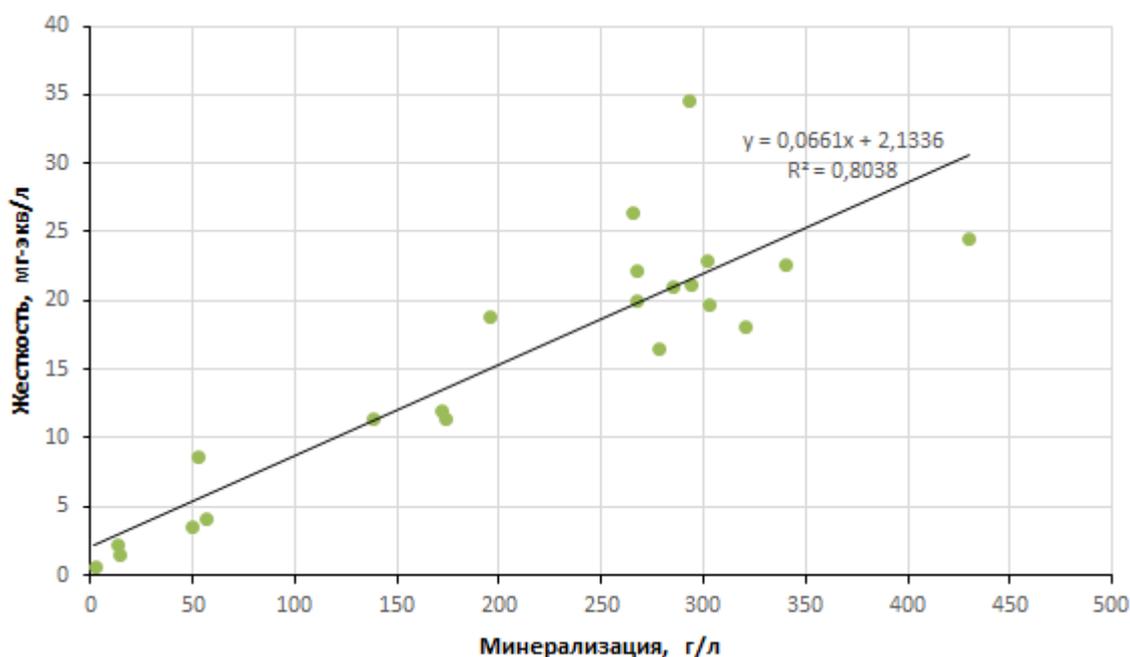


**Рис. 20.** График зависимости концентрации ионов  $\text{Na}^+$  и  $\text{Cl}^-$  в рапе соляных озёр от величины минерализации (июль 2013, июль 2019)

Концентрация сульфат-ионов варьирует в пределах 14,8-57,2 г/л, среднее значение составляет 26,6 г/л, медиана – 24,45 г/л. Между величиной минерализации и концентрацией сульфат-иона прослеживается слабая корреляционная зависимость.

Концентрация гидрокарбонат-иона варьирует в пределах 2,4-12,2 г/л, среднее значение составляет 5,56 г/л, медиана – 4,9 г/л. Зависимость между величиной минерализации и концентрацией гидрокарбонат-иона не наблюдается. Концентрация карбонат-иона достигает 0,5 г/л, встречается в единичных пробах.

Жесткость формируется в основном за счет ионов магния, ионы кальция находятся в подчиненном значении. Жесткость варьирует в пределах 40-2500 мг-экв/л. Концентрация ионов магния варьирует в пределах 7,8-29,9 г/л, среднее значение составляет 15 г/л, медиана – 13,4 г/л. Между жесткостью и величиной минерализации прослеживается корреляционная зависимость (рис. 21).



**Рис. 21.** График зависимости жесткости в рапе соляных озёр от величины минерализации (июль 2013)

Для некоторых соляных озёр (Сасык-Сиваш, Саки и др.) был произведен расчет гипотетических солей, данные представлены в таблице 4.

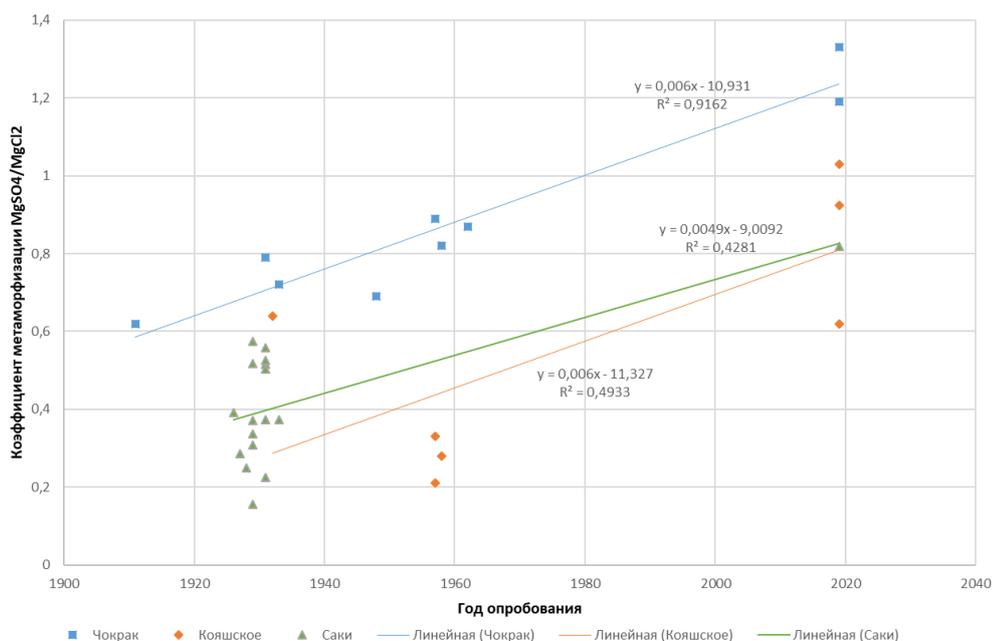
Таблица 4

Расчетные данные по гипотетическим солям в рапе соляных озёр, июль 2019

Название объекта	CaCO <sub>3</sub>	Ca(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	Mg(HCO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	CaSO <sub>4</sub>	MgSO <sub>4</sub>	MgCl <sub>2</sub>	Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaCl	MgSO <sub>4</sub> MgCl <sub>2</sub>	NaSO <sub>4</sub> MgSO <sub>4</sub>
	вес. %									
оз. Солёное	0,067	0,464	0,096	-	2,35	1,744	-	12,2	1,34	-
оз. Сасык-Сиваш	0,067	0,333	0,117	-	1,64	3,33	-	12,59	0,49	-
оз. Сасык-Сиваш	-	0,405	0,915	-	2,62	-	0,059	15,33	-	0,023
Саки, Вост. озеро	-	0,279	-	0,479	1,57	1,92	-	13,02	0,82	-
оз. Кояшкое	-	0,28	0,46	-	2,22	2,4	-	20	0,925	-
оз. Кояшкое	-	0,25	0,3	-	1,93	1,88	-	17,31	1,03	-
оз. Кояшкое	-	0,53	-	-	2,93	4,7	-	18,01	0,62	-
Чокракское озеро	-	0,24	0,024	-	5,75	4,85	-	16,56	1,19	-
Чокракское озеро	-	0,28	0,35	-	2,88	2,16	-	21,3	1,33	-

Преобладающими солями в большинстве озёр являются хлориды натрия и магния, а также сульфаты магния. Значительный вклад в питание озёр вносит морская вода, фильтрующаяся через пересыпь, остальную часть составляют питание за счет подземных вод и инфильтрация атмосферных осадков. Озера Евпаторийской группы обеднены хлоридами натрия по сравнению с озерами Керченской группы. Это может быть связано с тем, что из них велась активная добыча соли для хозяйственных нужд, которая продолжается до сих пор. Содержание NaCl в озёрах Евпаторийской группы варьирует в пределах 12,2-15,3 вес.%, в озерах Керченской группы – 16,5-21,3 вес.%.

Для проб 2019 года рапы соляных озёр был произведен расчет коэффициентов метаморфизации. Все рассмотренные озёра относятся к первому классу по Курнакову, это указывает на их морское происхождение. Коэффициенты метаморфизации рапы варьируют в пределах 0,49-1,34.

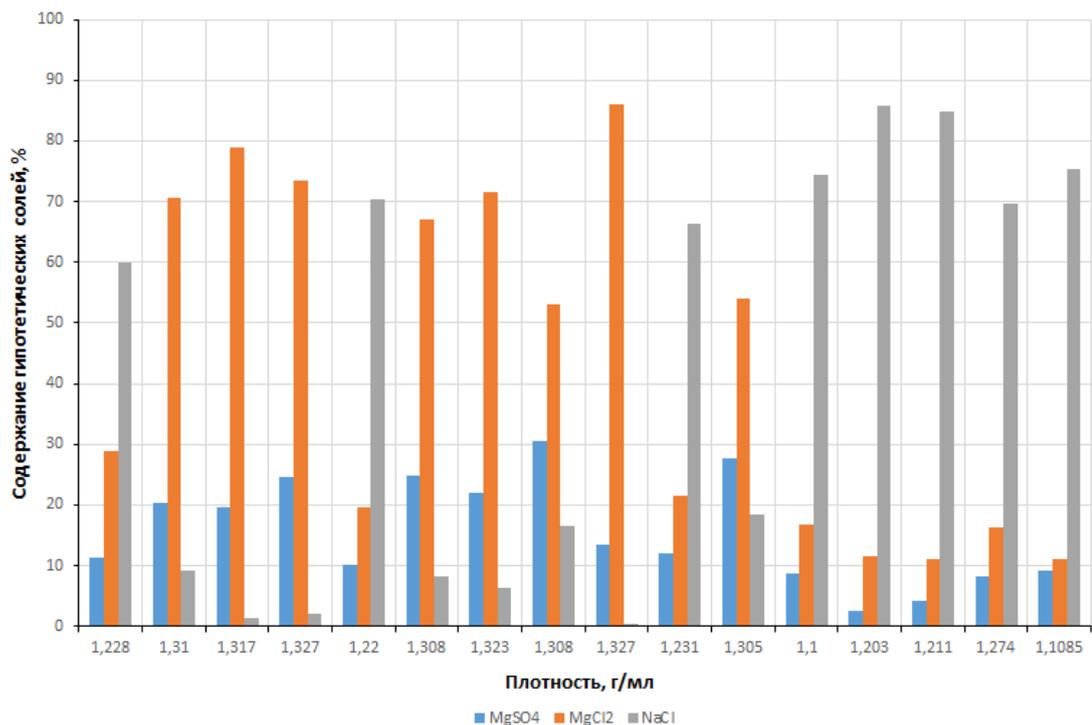


**Рис. 22.** График изменения коэффициента метаморфизации Сакского, Кояшского, Чокракского озёр за последние 100 лет

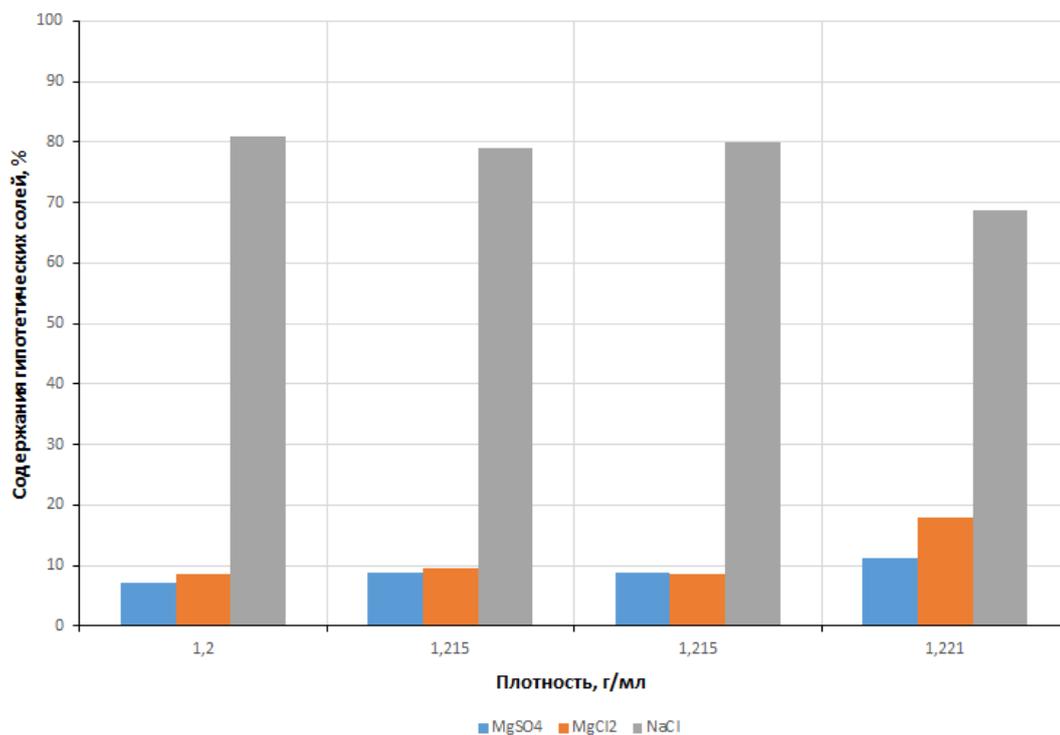
На рисунке 22 представлен график, показывающий изменение коэффициента метаморфизации за последние 100 лет. Данные взяты из литературных источников (Курнаков, 1936; Валяшко, 1953; Понизовский, 1965; Кузнецов, 1997).

Пробы, отобранные из разных частей озера, обладают различным коэффициентом метаморфизации. Данные для Сакского озера сильно изменчивы в 1931 году. Это может быть связано с тем что пробы были отобраны из различных водоемов, в которых величина минерализации поддерживается искусственно. Для всех озёр прослеживается тенденция к увеличению коэффициента метаморфизации с течением времени. Его повышение может быть связан с распреснением озера, обильным вкладом подземных вод, обогащенных сульфатами. В Сакском озере коэффициент метаморфизации изменился не так сильно по сравнению с Кояшским озером и Чокраком. Вероятно, это произошло из-за того, что в Саках существует курорт, величина нужной минерализации поддерживается искусственно.

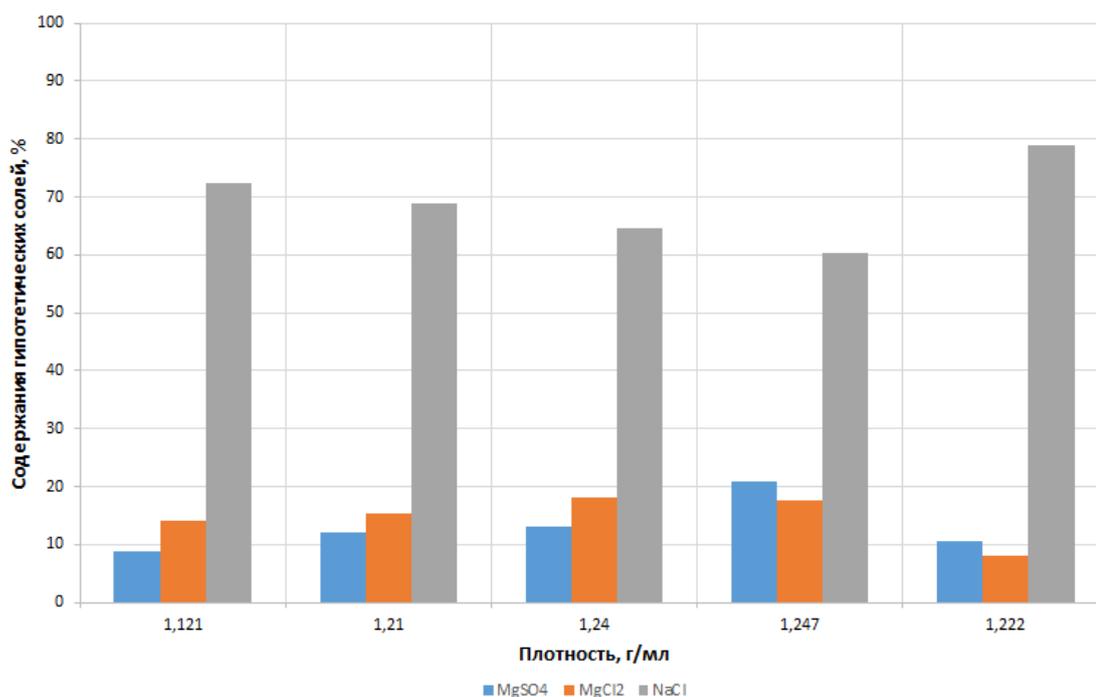
Были построены графики зависимости содержания гипотетических солей от плотности рапы по собственным данным, а также литературным источникам (Курнаков, 1936; Валяшко, 1953; Кузнецов, 1997).



**Рис. 23.** Зависимость содержания гипотетических солей от плотности рапы для Сакского озера (1929-2019)



**Рис. 24.** Зависимость содержания гипотетических солей от плотности рапы для Кояшского озера (1932-2019)



**Рис. 25.** Зависимость содержания гипотетических солей от плотности рапы для Чокракского озера (1911-2019)

Из графиков, представленных на рисунках 23-25, видно, что содержание гипотетических солей коррелирует с плотностью рапы. Изменение плотности напрямую связано с процессами упаривания и увлажнения водоема в зависимости от климатических условий сезона. Содержание NaCl во всех озерах имеет тенденцию понижения при увеличении плотности рапы. Это может быть связано с тем, что NaCl начинает активно выпадать в осадок, тем самым его содержание в рапе уменьшается. Содержание солей MgSO<sub>4</sub> и MgCl<sub>2</sub>, напротив, увеличивается с ростом плотности.

## 6.2.2 Подземные воды

По диаграмме Дурова, составленной для подземных вод (рис. 26), видно, что основными компонентами, формирующими данные воды, являются  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ . Содержание  $\text{Cl}^-$  в подземных водах – 60-90%,  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  - 50-90%

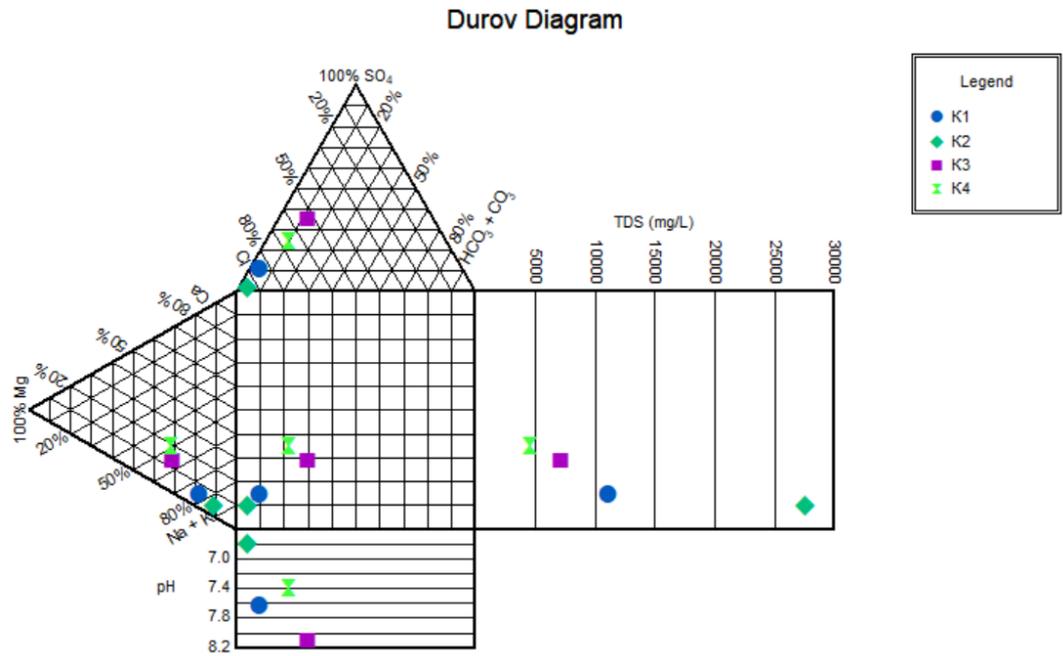


Рис. 26. Диаграмма Дурова для подземных вод у Чокракского озера, июль 2019

Концентрация ионов хлора варьирует в пределах 1,8-15,6 г/л. Концентрация ионов натрия варьирует в пределах 0,9-9,2 г/л. Концентрация ионов магния варьирует в пределах 0,3-0,6 г/л. Вышеперечисленные ионы имеют корреляционную связь с величиной минерализации. График зависимости представлен на рисунке 27.

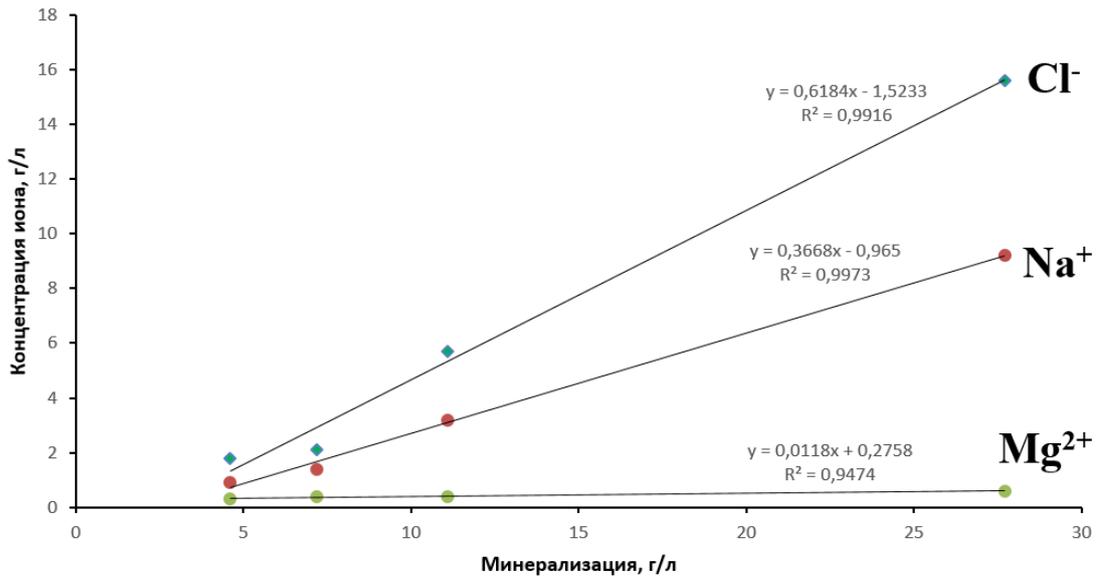


Рис. 27. График зависимости концентрации ионов  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  от величины минерализации подземных вод у Чокракского озера, июль 2019

Концентрация гидрокарбонат-иона варьирует в пределах 0,5-1,5 г/л. Концентрация сульфат-иона варьирует в пределах 0,3-1,9 г/л. Корреляционная зависимость данных ионов с минерализацией не прослеживается.

Как в озёрной рапе, так и в подземных водах в некоторых пробах превышены ПДК по нитратам. Значения концентрации иона  $\text{NO}_3^-$  изменяются в пределах 20-100 мг/л.

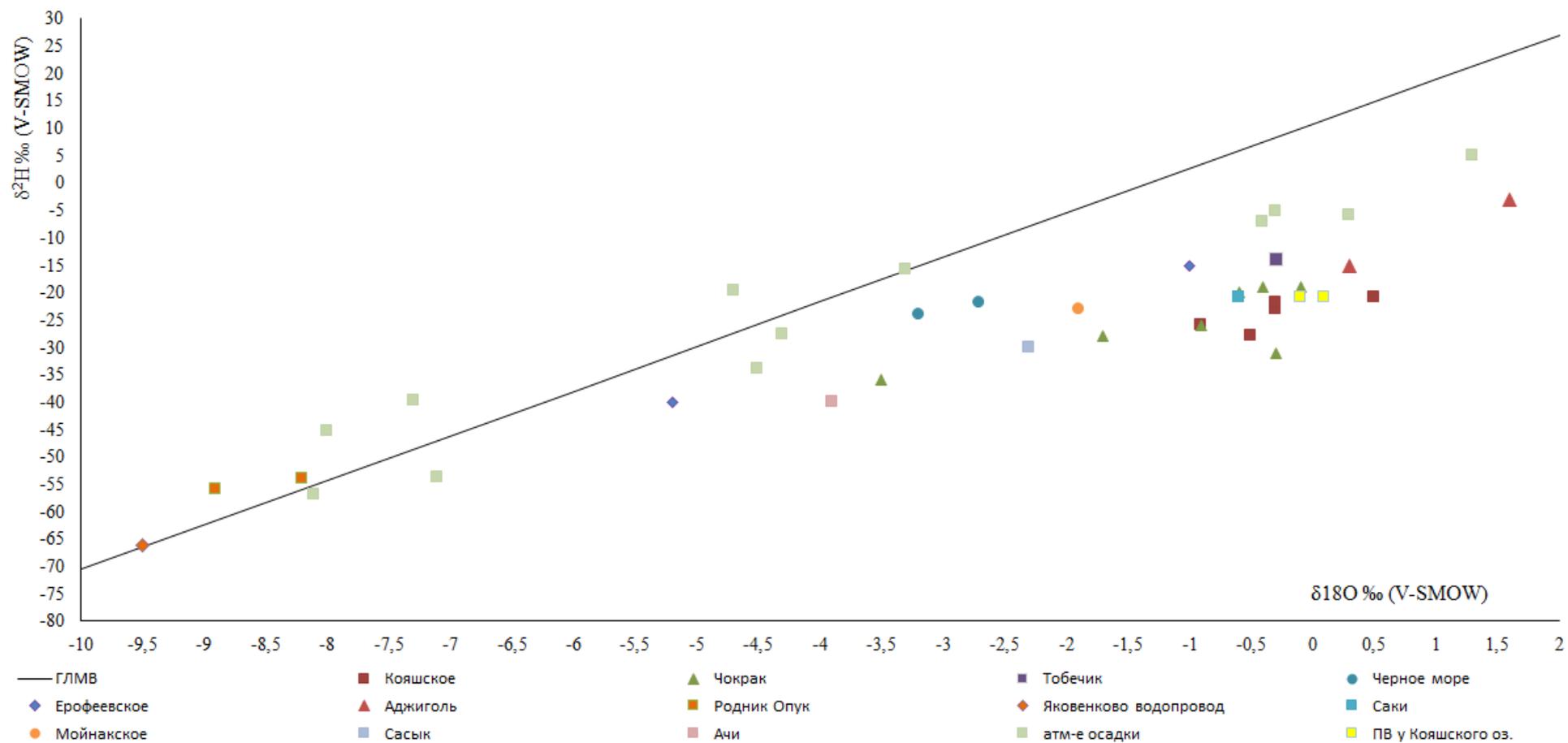
### **6.3 Изотопный состав**

В ходе работы были проанализированы данные по стабильным изотопам  $\delta^2\text{H}$  и  $\delta^{18}\text{O}$  соляных озёр и других водных объектов Крыма за 2013 год. Построен график отражающий зависимость  $\delta^2\text{H}$  от  $\delta^{18}\text{O}$  относительно глобальной линии метеорных вод (ГЛМВ).

Фигуративные точки изотопного состава рапы соляных озёр располагаются на графике (рис. 28) правее ГЛМВ. Это свидетельствует о том, что испарение происходит в неравновесных условиях, из-за чего жидкая вода более интенсивно обогащается  $\delta^{18}\text{O}$  и менее интенсивно  $\delta^2\text{H}$ . Чем интенсивнее испарение, тем интенсивнее точки отклоняются от ГЛМВ. (Никаноров, 1983)

Для рапы соляных озёр содержание  $\delta^2\text{H}$  варьирует в пределах от -15 до -40 ‰, содержание  $\delta^{18}\text{O}$  варьирует в пределах от -5,2 до 0,3 ‰. Из графика (рис. 28) видно, что точки, обозначающие изотопный состав озёр лежат справа от ГЛМВ, а также ниже линии для Черного моря. Следовательно, можно сделать вывод, что в генезисе соляных озёр метеорные воды принимают не значительное участие в формировании изотопного состава.

Также были проанализированы несколько проб подземных вод из родника на г. Опук, водопровод Яковенково, а также выходы подземных вод близ Кояшского озера. На графике они расположены выше линии ГЛМВ (родник Опук) и лежат на ней (Яковенково). Следовательно, их генезис напрямую связан с метеорными водами. Фигуративные точки изотопного состава подземных вод около Кояшского озера располагаются на графике там же, где точки для рапы. Это может быть связано с их схожим генезисом. Данные изотопного состава атмосферных осадков лежат вблизи линии Крейга.



**Рис. 28.** Изотопный состав рапы соляных озёр и некоторых водных объектов Крыма, июль 2013

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Крымский полуостров чрезвычайно богат гидроминеральными ресурсами, такими как минеральные и термальные воды, сопочные воды и грязи, рапа и грязь соляных озёр. Данные ресурсы испокон веков применяются в лечебных целях. Данная работа посвящена основным факторам формирования рапы соляных озёр морского происхождения Евпаторийской и Керченской групп. Озера морского типа располагаются непосредственно вблизи моря, что определяет их наибольшее бальнеологическое значение, так как они являются благоприятными местами для создания на их базе курортов. Также необходимо изучение подземных вод пресных и минеральных, расположенных вблизи соляных озёр в курортной зоне.

Формирование химического состава рапы соляных озёр происходит в большом временном промежутке. Основными факторами, определяющими формирование, являются физико-географические, геолого-гидрогеологические, биологические условия, а также протекающие в водоемах процессы метаморфизации. При прямом процессе сначала происходит потеря наименее устойчивых анионов, затем наиболее устойчивых ( $\text{CO}_3^- \rightarrow \text{HCO}_3^- \rightarrow \text{SO}_4^{2-}$ ), что в дальнейшем приводит к переходу озера от сульфатного типа к хлоридному. Метаморфизация идет медленно на протяжении долгого промежутка времени и зависит от интенсивности питания водоема, от степени различия в составе водоема и питающих вод. Изменение состава озер происходит за счет привноса солей подземными и поверхностными водами. Также скорость метаморфизации зависит от скорости изменения минерализации водоема. Чем медленней увеличивается минерализация, тем больше влияние метаморфизации на состав озера.

В ходе данной работы были проанализированы собственные данные и литературные источники по озерам морского генезиса и сделаны следующие выводы:

1. Рапа рассмотренных соляных озёр относится по классификации Сулина – к хлор-магниевому типу, по классификации Курнакова-Валяшко относится к хлоридно-магниевому подтипу сульфатного типа. Минерализация рапы варьирует в пределах 193-329 г/л.
2. Во всех озёрах морского генезиса основными макрокомпонентами, формирующими химический состав, являются хлор и натрий. По данным химического анализа был выполнен расчет гипотетических солей. Основными гипотетическими солями в рапе являются  $\text{NaCl}_2$ ,  $\text{MgSO}_4$  и  $\text{MgCl}_2$ .
3. Коэффициент метаморфизации варьирует в пределах 0,49-1,34 (2019), для Черного моря он равен – 0,7 (Курнаков, 1936). Коэффициент метаморфизации

озёр изменяется со временем. Наблюдается тенденция к его увеличению за последние 100 лет. Это может быть связано с распреснением озёр.

4. Расположенные вблизи соляных озёр водные объекты оказывают влияние на формирование химического состава соляных озёр. По классификации Сулина воды относятся к сульфатно-натриевому типу. Минерализация варьирует в пределах 4,6-27,7 г/л.
5. Для рапы соляных озёр содержание  $\delta^{2}\text{H}$  варьирует в пределах от -15 до -40‰, содержание  $\delta^{18}\text{O}$  варьирует в пределах от -5,2 до 0,3‰. Сильное отклонение вправо от ГЛМВ говорит о том, что рассмотренные озёра претерпевают сильное испарение. Близлежащие источники оз. Кояшского имеют с ним сходный изотопный состав, следовательно, общий генезис.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Альбов С.В.* Минеральные источники Крыма. Симферополь: Крымиздат, 1956
2. *Архипов И.В., Успенская Е.А.* Приложение к тому Геология СССР Фрагмент геологической карты Крыма, ВСЕГЕИ, 1967
3. *Беляева Т.В.* Аналитическая химия. Расчеты в химическом и инструментальном анализе. Учебное пособие / Санкт-Петербург: СЗГТ, 2004 – 103 с.
4. *Валяшко М.Г., Нечаева А.А., Пельш Г.К.* Исследование физико-химических свойств солей и соляных растворов. Под ред. В.В Вязова, Е.Ф. Соловьевой / Ленинград, Москва, 1953
5. *Валяшко М.Г.* Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. Издательство Московского университета, 1962
6. Геология СССР. Том 8, Крым. Часть 1. Геологическое описание. Изд-во «Недра», 1969. 576 с.
7. Гидрогеология СССР, том 8, Крым. М., «Недра», 1971. 364 стр.
8. *Гороховский Л.М.* Озерные месторождения солей, их изучение и промышленная оценка. М., «Недра», 1972. 168 стр.
9. ГостЭксперт. Единая база ГОСТов РФ. Код доступа: <http://gostexpert.ru/> Дата обращения: 18.05.2020.
10. *Дзен-Литовский А.И.* История геологического изучения минеральных озёр СССР // Журнал «Природа» 1946 – №9 – 59-65 стр.
11. Информационный сайт о состоянии недр Российской Федерации. Код доступа: <http://www.geomonitoring.ru>. Дата обращения 2.04.2020.
12. Каталог векторных карт. Код доступа: <http://www.sharada.ru> Дата обращения: 3.03.2020.
13. *Каюкова Е.П.* Край соляных озер. В сб. Многогранная геология. Выпуск III / Под ред. В.В. Гавриленко – СПб: ФГУП «ВНИИОкеангеология им. И.С. Грамберга», ГБНОУ «Санкт-Петербургский городской Дворец творчества юных», 2015. С. 309-318.
14. *Кузнецов В.А.* Роль ионного обмена при формировании подземных вод и рассолов / НовГУ им. Ярослава Мудрого – Новгород, 1997 – 177с.
15. *Курнаков Н.С., Кузнецов В.Г., Дзен-Литовский А.И., Равич М.И.* Соляные озера Крыма. Издательство АНСССР, 1936 – 278 с.
16. Научный парк СПбГУ. Код доступа: <https://researchpark.spbu.ru>. Дата обращения: 10.05.2020.

17. *Никаноров А.М.* Гидрохимия / Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2001 – 444 с.
18. *Никаноров А.М., Тарасов М.Г., Федоров Ю.А.* Гидрохимия и формирование подземных рассолов / Ленинград: Гидрометеиздат, 1983
19. *Подгородецкий П.Д.* Крым: Природа: Справ. изд. – Симферополь: Таврия. 1988. – 192 с.
20. *Понизовский А.М.* Соляные ресурсы Крыма / Симферополь: Изд-во «Крым», 1965
21. *Попов Ю.В., Гулов О.А, Васенко В.И.* Отечественная геология, № 3. 2015 - 45-52 стр.
22. *Радион Е.В.* Классические методы анализа: практическое применение. Тексты лекций по дисциплинам «Аналитическая химия», «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» для студентов химико-технологических специальностей / Минск: БГТУ, 2013 – 76 с.
23. *Тарасенко В.И, Боровский Б.И. и др.* Устойчивый Крым. Водные ресурсы. – Симферополь: «Таврида», 2003. – 413 с.
24. *Хмара А.Я. и др.* Минеральные ресурсы Крыма и прилегающей акватории Черного и Азовского морей. Атлас, приложение к сборнику «Вопросы развития Крыма». Симферополь: Таврия-плюс, 2001 – 81с.
25. *Щербаков А.И.* Грязелечебные местности Европейской России. М.: Тип. Простакова, 1898 – 47 стр.
26. *Юдин В.В.* Геодинамика Крыма. Монография. – Симферополь: ДИАЙПИ, 2011. – 336 с.
27. Meteoblue. Код доступа: <https://www.meteoblue.com> Дата обращения: 16.03.2020.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

### Список точек опробования за 2019 год

1. ТН №25Е Э5-19. Координаты: N45°11'03.4" E33°12'27.0" Оз. Соленое в посёлке Молочное, близ г. Евпатория. Озеро располагается в 90 метрах от Черного моря (длина пересыпи). Проба рапы отобрана из южной части озера. Дата отбора: 10.07.2019. Параметры: t=25,9°C; pH=8,6; УЭП=428mS.
2. ТН № 14Е Э6-19. Координаты: N45°11'15" E33°26'33.1". Оз. Сасык-Сиваш. Отобранная рапа имеет розоватый оттенок. Дата отбора: 12.07.2019. Параметры: t=25,5°C; pH=7,65; УЭП=411mS.
3. ТН № 13Е Э7-19. Координаты: N45°11'14,6" E33°26'34.9". Оз. Сасык-Сиваш. Отобранная рапа имеет розоватый оттенок, очень плотная. Дата отбора: 12.07.2019. Параметры: t=24,7°C; pH=7,51; УЭП=367mS.
4. ТН № 22Е Э8-19(рапа), №4Е Э9-19(грязь). Координаты: N45°07'25" E33°35'35", Саки. Отобрана рапа и грязь из Восточного водоема. Дата отбора: 12.07.2019. Параметры рапы: t=26,6°C; pH=7,58; УЭП=409mS.
5. ТН № Г10-19. Координаты: N45°02'10.6" E36°12'06.7", Оз. Кояшское. Отобранная рапа прозрачная. Дно озера грязевое. Дата отбора: 16.07.2019. Параметры: УЭП=94mS.
6. ТН № Г11-19(рапа), №Г11-19-2(грязь). Координаты: N45°02'30" E36°11'54.2", Оз. Кояшское. Отобранная рапа имеет розоватый оттенок. Дно озера покрыто коркой кристаллов соли. Грязь отобрана из-под соляной корки. Дата отбора: 16.07.2019. Параметры рапы: УЭП=605mS.
7. ТН № Г12-19. Координаты: N45°03'03.4" E36°11'35.4", Оз. Кояшское, 900 метров от предыдущей точки. Отобранная рапа имеет розовый цвет. Дата отбора: 16.07.2019. Параметры: УЭП=645mS.
8. ТН № Г13-19. Координаты: N45°03'30.6" E36°10'2.1", Оз. Кояшское, около 3 км от предыдущей точки. Отобранная рапа имеет розовый цвет. Дно озера покрыто толстой коркой кристаллов соли. Дата отбора: 16.07.2019. Параметры: УЭП=632mS.
9. ТН № Г14-19. Координаты: N45°04'45.9" E36°12'27", Оз. Киркояшское. Отобрана проба грязи. В озере нет воды, поверхность усеяна трещинами усыхания. Дата отбора: 16.07.2019.
10. ТН № К1. Координаты: N45°28'9.8" E36°19'16.6", Колодец близ озера Чокрак. Колодец круглого сечения, диаметром 1,2 м. Кладка каменная из блоков известняка, закрывается деревянной крышкой. Возвышается над землей на 0,5 м. Высота от устья

колодца до дна – 2,5 м, до воды – 2,1 м. Вода прозрачная, без запаха. Дата отбора: 26.07.2019. Параметры:  $t=21,7^{\circ}\text{C}$ ;  $\text{pH}=7,63$ ;  $\text{УЭП}=17,5\text{mS}$ .

**11.** ТН № К2. Координаты:  $\text{N}45^{\circ}27'42.5''$   $\text{E}36^{\circ}18'46.6''$ , Источник №1 по правому берегу озера Чокрак. Выход подземных вод у подножия холма, наблюдается выход пузырьков сероводорода. Вода темная, мутноватая, присутствует сильный запах сероводорода. Дата отбора: 26.07.2019. Параметры:  $t=17,1^{\circ}\text{C}$ ;  $\text{pH}=6,8$ ;  $\text{УЭП}=56,4\text{mS}$ .

**12.** ТН № К3. Координаты:  $\text{N}45^{\circ}27'30.8''$   $\text{E}36^{\circ}18'53.2''$ , Источник №2 по правому берегу озера Чокрак. Источник каптированный (полутруба) выходит у подножия холма. Дебет небольшой – 0,02 л/сек. Вода немного мутная. Дата отбора: 26.07.2019. Параметры:  $t=19,9^{\circ}\text{C}$ ;  $\text{pH}=8,1$ ;  $\text{УЭП}=11,7\text{mS}$ .

**13.** ТН № К3. Координаты:  $\text{N}45^{\circ}27'22.7''$   $\text{E}36^{\circ}19'4.2''$ , Источник №3 по правому берегу озера Чокрак. Выход подземных вод у подножия холма. Дебет небольшой – 0,02 л/сек. Вода мутноватая, чувствуется запах сероводорода. Дата отбора: 26.07.2019. Параметры:  $t=16,4^{\circ}\text{C}$ ;  $\text{pH}=7,4$ ;  $\text{УЭП}=7,17\text{mS}$ .

**14.** ТН № К5(рапа), №К5-а(грязь). Координаты:  $\text{N}45^{\circ}27'06''$   $\text{E}36^{\circ}19'14''$ , Чокракское озеро (около дамбы). Отобрана проба рапы в 30 м. от берега, глубина озера в данной месте около 2 см. Рапа имеет розоватый оттенок. Грязь отобрана из-под соляной корки на дне озера. Дата отбора: 26.07.2019. Параметры рапы:  $\text{УЭП}=637$ .

**15.** ТН № К6. Координаты:  $\text{N}45^{\circ}27'34''$   $\text{E}36^{\circ}18'44''$ , Чокракское озеро, 1,5 км. на север от предыдущей точки. Отобрана проба рапы, она имеет насыщенный красновато-розовый цвет с примесью органики. Дата отбора: 26.07.2019. Параметры рапы:  $\text{УЭП}=639$ .