

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

Санкт-Петербургский государственный университет

**Палий Дарья Анатольевна**

**Выпускная квалификационная работа**

**ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА  
ПОДЗЕМНЫХ ВОД  
КЕРЧЕНСКО-ТАМАНСКОГО РЕГИОНА**

Основная образовательная программа бакалавриата

Направления 05.03.01. «Геология»

Кафедра: «Инженерная геология, гидрогеология и грунтоведение»

Научный руководитель:

доц. каф. гидрогеологии

Института наук о Земле СПбГУ

к.г.-м.н. Е.П. Каюкова

Рецензент:

доц. каф. инж. и экол. геологии

МГУ им. М.В. Ломоносова

доцент/с.н.с. Т.А. Барабошкина

Санкт-Петербург

2023

## Содержание

Введение.....	3
1. Геолого-гидрогеологическая изученность.....	4
1.1. Геологическая изученность.....	4
1.2. Гидрогеологическая изученность.....	5
2. Физико-географический очерк.....	7
2.1. Общие сведения.....	7
2.2. Климат.....	8
2.3. Геоморфология.....	10
2.4. Растительность.....	11
2.5. Гидрография.....	12
3. Геолого-тектонические условия.....	13
3.1. Тектоника.....	13
3.2. Геология.....	14
3.3. Грязевой вулканизм.....	16
3.3.1 Распространение в мире.....	16
3.3.2. Строение грязевых вулканов.....	17
3.3.3. Опробованные вулканы.....	19
4. Гидрогеология.....	21
4.1. Гидрогеология.....	21
4.2. Гидрогеологогеологическое районирование.....	22
5. Методы исследования.....	24
5.1. Полевой этап.....	24
5.2. Лабораторные.....	25
Интерпретация данных.....	32
Заключение.....	40
Литература.....	41

## Введение

Курортный Керченско-Таманский регион располагается в южной части России и омывается с юга водами Черного моря, а с севера Азовского. Район находится в благоприятных климатических условиях и богат различными лечебными ресурсами: минеральными и термальными водами, также сульфидными и сопочными глинами, чью ценность недооценивают. На формирование подземных вод территория влияет большое разнообразие физико-географических, геологических и гидрогеологических условий.

Несмотря на все богатства, существуют серьезные проблемы с засухой и нехваткой питьевой воды, что осложняет жизнь, как местного населения, так и приезжих. Острее ситуация ощущается на Керченском п-ове, где единственное водоснабжение было перекрыто в 2014 г.

Целью данной работы является изучение особенностей химического и изотопного состава подземных вод Керченско-Таманского региона. Для ее выполнения были поставлены следующие задачи:

1. Изучение и сбор литературных данных по теме исследования
2. Подготовка и проведение полевого опробования
3. Гидрохимического анализа
4. Обработка полевых и лабораторных данных
5. Выявление особенностей формирования химического состава подземных вод региона

Объектом исследования выступают природные и сопочные воды Керченско-Таманского региона. Предметом исследования является химический и изотопный состав вод.

Пробы отбирались из колодцев, скважин, ручьев, источников и сопок грязевых вулканов.

## 1. Геолого-гидрогеологическая изученность

### 1.1. Геологическая изученность

В истории исследования Керченско-Таманского региона выделены 4 периода.

Первый период (XVII в.- середина XIX в.) характеризуется в основном описательными работами П.С. Паласса (1795, 1881, 1883) и Дюбуа де Монпере (1937). Палассом была издана книга, в которой приводятся данные по грязевым сопкам региона и объяснен генезис соленых озер Керченского п-ова. Дюбуа де Монпере в своих работах подробно описал характеристики отдельных участков Керченско-Таманской области.

Подробная стратиграфия Таманского п-ова представлена в книге Воскобойникова и Гурьева (1832), так же в ней приводятся характеристики лиманов и грязевых сопок полуострова.

Второй период исследования (конец XIX – началу XX в.) характеризуется трудами Г.В. Абих и Н.И. Андрусов, которые создали основу современных знаний о геологии региона.

Г.В. Абиха (1865) впервые дал цельное и подробное описание рельефа и геологического строения Керченско-Таманского региона. В своих работах Н.И. Андрусова дал структурно-морфологическую характеристику и детально описал отдельные структуры региона с поярусным делением, иллюстрируемые схемами. Он также разработал подробную стратиграфическую схему третичных и четвертичных отложений Керченско-Таманской области. В этом периоде еще отмечают работы И.М. Губкина, который составил короткую, но подробную сводку по геологии Таманского п-ова (1913).

В третий послереволюционный период начинается систематическое изучение геологии территории. В этот период значительные успехи были достигнуты в изучение стратиграфии четвертичных морских отложений, корреляция морских черноморских отложений со средиземноморскими и каспийскими, а также в выяснение генезиса грязевых вулканов.

Исследованием Керченского п-ова в 1925-1927 гг. занимаются К.А. Прокопов и А.Д. Архангельски. Они развивали представления Н.И. Андрусова и впервые изучили геологию Юго-Западной равнины. Изучением тектоники и стратиграфии Таманского п-ова в это время занимались И.М. Губкин, Н.Б. Вассоевич и М.И. Варенцовый. Результатом работ является значительное уточнение геологического строения района, составление ряд детальных карт и детализирована стратиграфия. В 1936 г. В.В. Белоусов и Л.А. Яроцкий составили подробный каталог грязевых сопок Керченско-Таманского региона.

Новый этап исследований наступает с использованием новейшей техники в послевоенные годы. В монография М.В. Муратова (1949 г.) значительное место отводилось

Керченско-Таманской области. В работе З.Л. Майма (1951) представлен обширный фактический материал по стратиграфии и тектонике Керченского и частично Таманского п-ова.

В 1945 г. в результате работ М.В. Ускова территория Таманского и Керченского полуострова впервые покрывается комплексной геологической съемкой масштаба 1:50 000, а в 1946 г. Г.З. Марташвили проводит съёмку масштаба 1:200 000 на территории листов L-37 XXIX, XXV, XXVI.

Е.Ф. Шнюков и др. (1981 г.) привели геологическую карту акватории Черного и Азовского морей, составленную по материалам геофизических работ, бурения и отбора проб в пределах акватории.

В 1995-2000 годах С.Г. Корсаковым и др. проведены работы по геологическому доизучению масштаба 1: 200 000, в результате составлен комплект карт листов L-37-XIX (Керчь), L-37-XXV (Аршинцево) второго издания.

## **1.2. Гидрогеологическая изученность**

Первые работы по изучению гидрогеологических условия Таманского п-ова принадлежат С.А. Гатуеву (1927 г.) и С.А. Шагоянцу (1937 г.). В 1942-1944 г.г. специальными работами АЧГУ и отрядами «Спецгео» установлено наличие во многих водопунктах Таманского п-ова пресных подземных вод, приуроченных к четвертичным и верхнеплиоценовым отложениям. В 1946 г. М.В. Усковым была комплексно изучена западная часть Таманского п-ова. В рамках его работы охарактеризованы водоносные горизонты от голоцена до палеогена.

В 1955 г. В.И. Подгородниченко были составлены первые карты основных водоносных горизонтов 1:1 500 000.

В 1959-1962 гг. в результате поисково-разведочных гидрогеологических работ на территории Таманского п-ова Лободиным В.А. были выявлены месторождения пресных и слабосолоноватых подземных вод и составлена гидрогеологическая карта п-ова в масштабе 1:200 000. В 1969 г. Сафронова Т.М. занималась рекогносцировочным обследованием лиманов и выявлением их влияние на химический состав и минерализацию подземных вод.

В 1971 г. уточнением уточнения условий формирования, распространения и химизма водоносных горизонтов на южной части Таманского п-ова занимался Тимохин В.Г.

Первые гидрогеологические исследования Керченского п-ова связаны с именами Альбова В.С., Павленко В.В., Милевского Г.И. и Шкруко В.П.

В VII томе монографии «Гидрогеология СССР» (А.В. Сидоренко, 1971 г.) собрана и обобщена вся детальная характеристика гидрогеологических условий Керченского п-ова. В ней рассматриваются вопросы практического значения подземных вод и произведено гидрогеологическое районирование.

Важную роль в истории гидрогеологического исследования Керченского п-ова имеет Крымская комплексная геологоразведочная экспедиция, проведенная в 1975 г.. В ее результате был составлен отчет, включивший подробное описание гидрогеологических особенностей Керченского п-ова. В нем были обобщены данные о водоносных комплексах различного геологического возраста, сведения о запасах подземных вод, глубины и мощности залегания водоносных горизонтов.

После развала Советского союза исследование подземных вод Керченского п-ова приостановилось.

## 2. Физико-географический очерк

### 2.1. Общие сведения

Керченско-Таманский регион располагается в южной части России и омывается с юга водами Черного моря, а с севера Азовского. Он охватывает два полуострова – Керченский и Таманский, которые разделены Керченским проливом (Рис. 2.1). Территория отличается особыми социально-экономическими и природными условиями, что связано с ее географическими характеристиками.

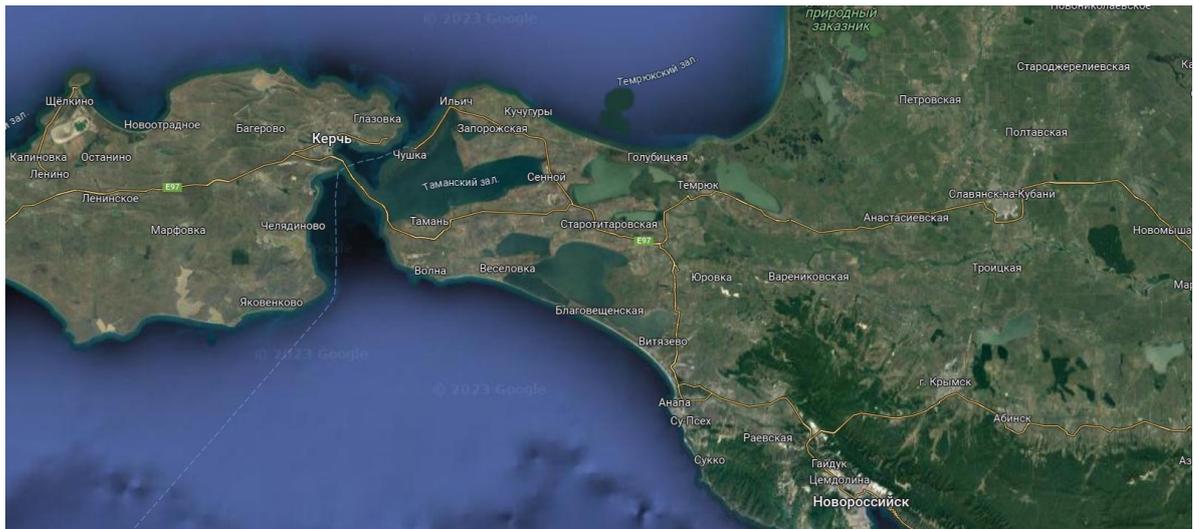


Рис 2.1. Физико-географическая схема Керченского-Таманского района (Google map)

Керченский полуостров протягивается с запада на восток почти на 100 км, а с севера на юг на 30-45 км. Береговая линия полуострова имеет относительно простые очертания и представляет собой чередование обширных заливов и скалистых мысов, выступающих далеко в море (Благоволин, 1962).

Площадь Таманского п-ова составляет 548 км<sup>2</sup>. Суша представляет полого-холмисто-грядовую поверхность с высотными отметками от 0 до 160 м. Высшая точка суши – гора Комендантская с абсолютной отметкой 164,0 м (Корсаков и др, 2013).

В регионе развито сельскохозяйственное производство зерново-животноводческого направления. На Таманском полуострове в экономике основную роль играет виноградарство, садоводство, овощеводство, кормопроизводство, в Керчи распространено выращивание южных технических культур – преимущественно крымской розы, лаванды, мускатного шалфея. (Подгородецкий, 1988).

Керченский полуостров вносит большой вклад в пищевую промышленность, машиностроение, химическую и горнорудную индустрию Крыма. Заслуженной славой

пользуется железорудная продукция железорудной, предприятие природных строительных материалов.

На территории Таманского п-ова располагаются осадочные проявления железа, россыпи граната, титана и циркония. В регионе имеется промышленное месторождения нефти, месторождения газа и большое количество незначительных проявлений нефти и газа.

Для хорошего урожая необходимо большое количество воды, в Крыму всегда существовала проблема засухи, для ее решения в 1971 г. на территории начал работу Северо-Крымский канал (СКК), который должен был решить проблему водоснабжения населения Керченского п-ова. Канал частично решил проблему нехватки воды, но все еще большинство сельских населенных пунктов оставались без водоснабжения, так как водопровод был построен только до Керчи и отсутствовала сеть водопроводов. Не меньшей проблемой является то, что за долгое время работы Северо-Крымский канал и все подключенные к нему водопроводы пришли в крайне неудовлетворительное состояние, это стало причиной низкого качества вода, вплоть до непригодности в использовании в питьевых целях. Так же из-за отсутствия фильтрационного покрытия в СКК поднялся уровень грунтовых вод, что привело к подтоплению территорий, заболачиванию и засолению почв (Кудрик, Ошкадер, 2014).

В 2014 г полуостров столкнулся с дефицитом пресной воды, после присоединения Крыма к России и перекрытия СКК. Это проявилось не сразу. Первые несколько лет выпадало большое количество осадков, но в августе 2021 г без воды остались Симферопольский и Бахчисарайский районы. Спустя месяц водный кризис дошел до северной и восточной части Крыма. Только в октябре власти Севастополя официально признали проблемы с водоснабжением, введя режим повышенной готовности. Для наглядного примера критичности ситуации стоит упомянуть, что из 64,2 млн м<sup>2</sup> воды в Чернореченском водохранилище, осталось только 9,8 (Полуостров..., 2020).

Таким образом проблема засухи на Крымском полуострове все еще актуальна и на сегодняшний день. На Таманском полуострове не такая критичная ситуация.

## **2.2. Климат**

Основные факторы, влияющие на формирование климата Керченско-Таманской области Черное и Азовское море. Теплые течения способствуют образованию осадков, делая климат более влажным и мягким, холодные течения препятствуют образованию осадков и проникновению влажного воздуха на материк, приводят к формированию пустынь и областей с аридным климатом (Орленок, 1998).

Таманский полуостров находится в области умеренно-континентального климата с жарким засушливым летом и относительно мягкой и пасмурной зимой с редкими заморозками. Средняя температура летом + 24°С., зимой -5°С. Район считается недостаточно увлажненным, следствием являются периоды засухи в основном в летний сезон. Среднегодовое количество осадков распределяется равномерное (от 26 до 67,3 мм), выпадая в весенние месяцы на 20 мм меньше. Характер выпадения осадков в основном ливневый и при высоких летних температурах. В регионе преобладают ветра северо-восточного и юго-западного направления, их средняя скорость достигает 5-7 м/с, но в период с октября по апрель скорость может быть более 20 м/с.

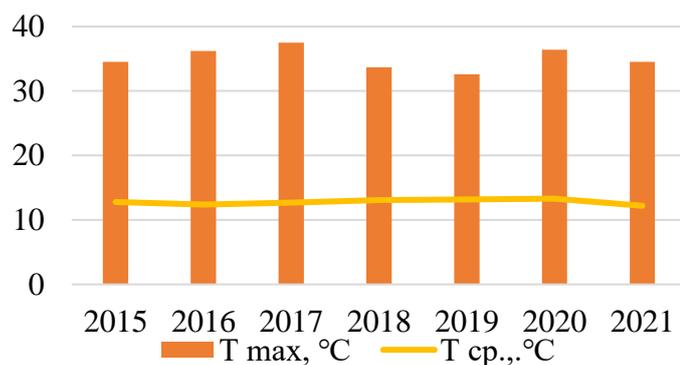
Керченский полуостров расположен в границах степной климатической зоне, но южнобережная зона полуострова отличается мягкостью и имеет черты средиземноморского климата. В степной зоне господствует умеренно-континентальный климат. Лето жаркое и засушливое, зато зима непродолжительная, малоснежная, но довольно морозная. Характерным явлениям для этой зоны – сильные ветра. По данным метеостанции города Керчи в период 2015-2021 гг. средняя температура воздуха летом +22 и +23, но может достигать и +40°С. Зимой минус доходит до -15°С (Росгидромет..., 25.02.2022).

В период 2015-2021 гг. на территории Керченского п-ова по данным Керченской метеостанции наблюдается небольшой рост средней температуры, а затем снова спад. Средняя температура за рассматриваемый период была 12,8, норма осадков около 250 мм. К сожалению, выбранный мною период не показывает полной динамики изменения температуры и выпавших осадков, но основываясь на него можно отметить, что самое большое количество осадкой 768 мм. выпало в 2021 г, хотя перед ним был самый засушливый год с минимальным количеством осадков, всего 238 мм ( Рис.2.3.) Некоторые данные за последние 7 лет представлены в Табл. 2.1., а также на Рис. 2.4. можно проследить небольшое изменение температуры за выбранный мной период. Был вязал такой диапазон, так как после 2014 г. был перекрыт Северо-Крымский канал.

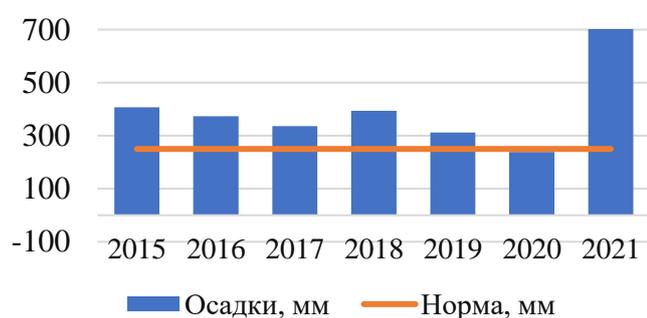
**Таблица 2.1**

Вариация температур и осадков воздуха на Керченском полуострове (2015-2021 гг.)

	Т max, °С	Т ср, °С	Осадки, мм
2015	34,5	12,8	407
2016	36,2	12,4	374
2017	37,5	12,7	336
2018	33,7	13,1	394
2019	32,6	13,2	312
2020	36,4	13,3	238
2021	34,5	12,2	768



**Рис 2.2.** Изменения максимальной и средней температуры на Керченском полуострове в период 2015-2021 гг.



**Рис 2.3.** Количество выпавших осадков относительно нормы на Керченском полуострове в период 2015-2021 гг.

### 2.3. Геоморфология

Керченско-Таманская область находится на стыке нескольких геоморфологических областей: Большого Кавказа, Горного Крыма, Степного Крыма и Кубанской низменности. Керченский пролив разделяет территорию на две части.

В геоморфологическом положении Керченский полуостров разделен Парпачаским гребнем на две части. С юга от него простирается Юго-Западная равнина, ограниченная гребнем с севера и востока. Однообразие рельефа на этой территории связано с майкопскими глинами, слагающими эту территорию. Сверху они прикрыты плащом четвертичных суглинков (Краткий..., 1930).

В строение Южной равнины имеются водораздельные увалы и отдельные холмы, такие как Дюрмень, Джау-Тепе, Ак-Тубе и другие.

На севере от Парпачского гребня рельеф неоднородный. Выделяют два участка, сменяющие друг друга в широтном направлении.

В восточной области находится долина Керченской мульды, ограниченная резкими гребнями. К северу от нее простирается холмистый район Карадархской антиклинали, а к югу холмистая площадь, окруженная рифом и гребнем. Появление холмов связано с существованием антиклинальных поднятий, в строение которых принимают участие

породы, отличающиеся друг от друга по способности противостоять выветриванию и размыву.

Большая часть средней части северной полосы занята низменной плоской равниной, широко открывающаяся на севере к Азовскому морю и суживающиеся на юго-запад. С севера запада она ограничена рядом возвышенностей.

В отличие от Керченского п-ва, который имеет довольно контрастный рельеф, Таманский п-ова обладает более низким и сглаженным рельефом, также большая площадь занята широкими протяженными лиманами. Район соответствует области развития интенсивной плиоцен-четвертичной брахискладчатости, на отдельных участках осложненной складчатостью диапирового типа. В большом разнообразии представлены антиклинальные денудационные гряды, разделяющие их синклинали понижения, конусовидные и плосковершинные холмы и сопки, обширные придельтовые равнины, замкнутые лагуны, протяженные обрывы абразионных участков побережья. Градиент высот не превышает 100-150 м. Самым распространённым является низменный аккумулятивный и аккумулятивно-денудационный рельеф (Корсаков и др, 2013).

На полуострове распространены лиманы, являющиеся морскими заливами в прошлом. Характерную особенность рельефа доставляют многочисленные холмистые гряды высотой до 165 м, вытянутые в западно-юго-западном направлении.

Самой северной является гряда мыса Каменского, протяженностью в широтном направлении почти на 11 км. Южнее от нее располагается Фонталовская гряда, вытянутая в западно-юго-западном направлении на 20 км. Самые высокие «горы» полуострова располагаются в пределах Центральной гряды и достигают 165 м. Многие из них имеют на вершинах грязевые вулканы в виде отдельных мелких конусов и грязевых озер (Краткий..., 1930).

#### **2.4. Растительность**

Природа Керченского-Таманской области довольно разнообразна. Это связано с резким различием свойств горных пород, слагающих данную территорию. Большую часть территории занимают степи: средиземноморские и евразийские. Наиболее широко распространены травянистые виды растений.

На юго-Западной равнине Керченского п-ова распространены галофитные луга и пустынные степи, на востоке полуострова – в основном луговые степи, а на севере – козально-типицковые и отчасти петрофитные степи, а также галофитные луга (Подгородецкий, 1988).

Большая часть Таманского п-ова занята агрофитоценозами., только в районе приморского склона сохранились типичные для полуострова сухие разнотравно-злаковые степи, что связано с сильно расчлененным рельефом, который затрудняет хозяйственное освоение территории. В основном рисовые чеки, засажена овощами и бахчевыми культурами и виноградниками.

## 2.5. Гидрография

Поверхностные воды Таманском п-ова включают бассейны Черного и Азовского морей с большим количеством озер лиманного типа, р. Кубань, р. Казачий Ерик, р. Переволока, р. Кубанка, озера и водохранилища. Основным гидрографическим объектом является бассейн реки Кубань. Коэффициент густоты речной сети бассейна равен 0,8 км/кв.км.

В настоящее время в бассейне Кубани функционирует 25 водохранилищ. Преобладающая часть создана для обеспечения водных мелиораций (Краснодарское, Варнавинское, Крюковское и др.), судоходства и мелиорации (Краснодарское), гидроэнергетики (Белореченское, Ганженское). В бассейне р. Кубань построено более 2 тыс. прудов для сохранения воды весеннего половодья, предназначенных, в основном, для целей орошения, водоснабжения, рыбозаведения. Вода в небольших прудах в течение года полностью расходуется на хозяйственные нужды, испарение и фильтрацию, а в более крупных остается до следующего года, осуществляя не только сезонное, но и многолетнее регулирование стока рек.(Нагалеvский, 2011).

Гидрография Керченского п-ова представляет собой редкую балочную сеть с временными водотоками и небольшими пересыхающими летом реками. Отсутствие рек с постоянным поверхностным стоком связано с недостатком увлажнения, так как атмосферных осадков выпадает в среднем около 400 мм/г. На Керченском полуострове густота речной сети не превышает 0,15–0,28 км/км<sup>2</sup> (Поверхностные..., 2007). Главный водораздел Керченского п-ова проходит по Парпачскому хребту. Водотоки несут воды в трёх направлениях: на север – в Азовское море, на восток – в Керченский пролив и на юг – в Чёрное море.

### 3. Геолого-тектонические условия

#### 3.1. Тектоника

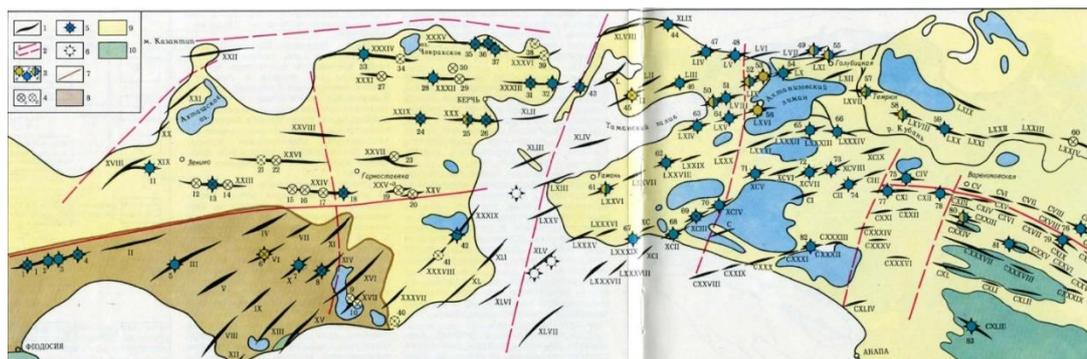
Тектоническое строение данной территории во многих аспектах дискуссионное в связи с отсутствием надёжных данных о глубинном строении. Существует три точки зрения на тектоническое положение Керченского и Таманского п-овов. В работе Хаин и Попков (2009) предполагается, что структура Керченского п-ова связана со складчатым сооружением Крыма, а Таманского п-ова — сооружением Северо-Западного Кавказа. В работе (Милановский, 1968) показано, что и Керченский и Таманский п-ова относятся к области периклинального замыкания Горного Крыма. Третье направление взглядов связано с идеей о том, что структуры Керченского и Таманского п-овов образуют единую складчатую зону. Эта теория представлена в работах Благоволина (1962), Шнюкова и др., (1986) (Гайдаленок, 2021).

В тектоническом отношении структура осадочного чехла Керченско-Таманской области представляет весьма сложное строение (Рис. 3.1.). Ниже рассмотрена отдельно тектоника каждого полуострова.

Сейчас существует две концепции о строение Крыма – мобилистская и фиксисткая. Фиксисткая разработана Муратовым М.В. и хорошо описана в монографии «Геология СССР» (1969).

Согласно фиксистской концепции Керченский полуостров разделяется разломом, выраженным с поверхности моноклиналью Парпачского гребня, в продольном направлении на две части. Северная относится к области Скифской плиты, на которой развивался Индоло-Кубанский краевой прогиб. По северному побережью Керченского п-ова южный край этого прогиба осложнен рядом складок (Геология..., 1969).

Южную часть от Парпачского гребня относят к мегантиклинорию Горного Крыма. Она сложена майкопской серией, эоценом и мелом, образующими ряд длинных узких складок. По М.В. Муратову, (1969) – погружающаяся к востоку оконечность ядра мегантиклинория Горного Крыма, окаймленная моноклинально залегающими слоями среднего миоцена Парпачского гребня, образующими крыло этого погружения (Рис. 2.1).



**Рис.3.1.** Тектоническая схема Керченско-Таманского региона: 1-антиклинальные складки, 2-разрывные нарушения (а-достоверные, б-предполагаемые), 3-грязевые вулканы (локбитанский тип, б-булганакский тип, в-шугийский тип), 4-вдавленные синклинали (а-достоверные, б-предполагаемые), 5-грязевые вулканы с вдавленными синклиналями, 6-предполагаемые подводные грязевые вулканы, 7-Парпачский гребень, 8- майкопские отложения, 9-другие кайнозойские отложения, 10-меловые отложения (Грязевые..., 1986)

Структурно-мобилистская концепция строения Крыма разрабатывалась Ю.В. Казанцевым и В.В. Юдиным. Согласно их концепции, структура Крыма представляется, как серия тектонических пластин, надвинутых с юга на север и сформированных мощным горизонтальным сжатием земной коры. В.В. Юдин подробно описал ее в своей книге Геодинамика Крыма.

Согласно Юдину В.В. на Керченском полуострове различают Южнокерченскую зону с пологими неоген-четвертинчыми разрывами северного падения и Северокерченскую – со встречным южным наклоном надвигов. Они формируют чешуи – дуплексы и пологие принадвиговые складки. На полуострове образовались надвиги, меланжи, принадвиговые складки с суммарным сжатием более чем на 50 км (Юдин, 2001).

Главной особенностью тектоники северо-восточной окраины Керченского п-ова является распространенность хорошо образованных грязевых сопок, которые относятся к большинству имеющихся там складок.

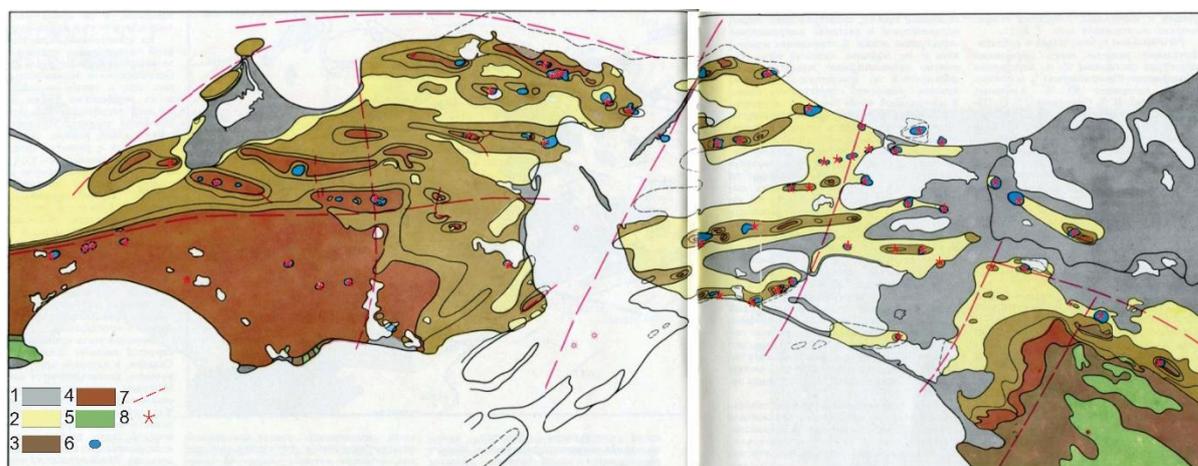
На территории Таманского п-ова антиклинальные складки образуют несколько холмистых гряд, а синклинали заполнены заливами и лиманами.

Складки Таманского п-ова продолжают на восток Азовской складчатой зоной. Северная группа антиклиналей Таманского п-ова (севернее Таманского залива и Ахтанизовского лимана), выполаживается к востоку. Две южные цепи, отождествляемые с двумя южными зонами складок Таманского п-ова, простираются дальше, достигая района г. Крымска. Здесь в строении складок, осложненных разломами, участвуют толщи от меловых до миоценовых, а отложения плиоцена (киммерия и куяльника) перекрывают их с несогласием и деформированы слабо. Очевидно, главные фазы складчатости завершились в начале плиоцена. Восточнее г. Крымска антиклинальные складки предгорий Кавказа теряют выражение в рельефе и строении позднекайнозойских моласс. Складки продолжают на восток, деформируя майкопские и более древние отложения, и окончательно исчезают севернее восточной границы Северо- Западного Кавказа (Материалы..., 2019).

### **3.2. Геология**

Вся территория Керченско-Таманской области сложена морскими осадками возраста от верхнемелового до четвертичного, мощность которых составляет местами

более 6 км (Рис.3.2). Самые древние обнажающиеся породы датируются верхним мелом, но глубокие скважины вскрывают юрские образования. Наиболее широко распространены отложения верхнего миоцена и плиоцена, выполняющие все мульды Керченского и Таманского п-ова. (Благоволин, 1962).



**Рис.3.2.** Геологическая карта Керченско-Таманского региона: 1-четвертичные, 2-плиоцен, 3-олигоцен-миоцен, 4-палеоцен-эоцен, 5-мел, 6-поля четвертичных сопочных брекчий, 7-грязевые вулканы, 8-крупнейшие флексурно-разрывные зоны (Грязевые..., 1986)

Верхнемеловые породы перекрываются майкопской серией – олигоцен-нижнемиоценового возраста, которые обнажаются на юго-западе области, а на остальной поверхности залегают лишь в ядрах брахиантиклиналей. В основном, отложения представлены бескарбонатными глинами, с мощным горизонтом песчаников в нижней части разреза.

Отложения среднего миоцена-плиоцена распространены наиболее широко. Ими сложены все мульды региона. Отложения среднего миоцена представлены тарханским, чокракским, караганским и конкским регионарусам, которые в развитии преимущественно в северной части Керченского и Таманского п-овов (Гайдаленок, 2020).

Тарханский регионарус сложен глинами и мергелями, с редкими прослоями биогенных известняков или песчаников. Породы выходят обнажаются в ядре антиклинальной складки на Таманском п-ове и на северном участке Керченского п-ова.

Чокракские отложения на Керченском п-ове в нижней части разреза представлены песчано-биогермной толщей, которые перекрываются глинами с прослоями мергелей. В Таманской части региона чокракский регионарус сложен слоистыми глинами.

Караганские породы на Керченском п-ове представлены преимущественно толщами стоматолитовых известняков, распространённых в западной и центральной части. Так же встречается чередование известняков и глин с песчаными прослоями. На Таманском полуострове разрез состоит из тонкозернистых карбонатных пород и глин.

Отложения Конкского региона представлены глинами, на Керченском п-ове в разрезе еще имеются прослой мергелей, мощность которых варьируется от 80 до 150 м.

Верхнемиоценовые отложения также подразделяют на три региона: сарматский, мэотический и понтический (Гайдаленок, 2020). Сарматские отложения в нижней части разреза представлены глинистой толщей, переходящие в известковые и известково-глинистые. Верхние слои сложены карбонатными породами. Регионарус развит на юго-восточной части Керченского п-ова и Таманском п-ове.

Характерной чертой мэотических отложений является глыбовый горизонт. Глыбы сложены в основном водорослево-мшанковыми известняками. Выше по разрезу залегают известняки, переслаивающиеся с глинами и мергелями и слагающие мульды западной и северной части Керченского п-ова. На Таманском п-ова и юго-восточной части Керченского отложения представлены глинами с прослоями диамитов и известняков. Верхний мэотис сложен известняками с чередующимися с прослоями глин и песков на большей части Керченского п-ова и глинами с прослоями диатомитов и иногда известняков на Таманском.

Завещающий разрез понтический регионарус сложен двумя различными фациями. На Керченском п-ове широко распространены рыхлые ракушечники, на Таманского п-ове представлены валенциеннезиевые глины.

Плиоцен представлен киммерийским и куяльницким регионарусами. Киммерийский сложен в основании глинами, частично ожелезненными, с прослоями песка и бурых известняков. В разрезе их сменяют хорошо сортированные кварцевые песчаники, в которых встречаются корочки железняков, редко линзы железняковых конгломератов и прослойки глин.

Куяльницкий регионарус сложен толщей песчанистых глин, ракушнякав, песков и прослоев песчано-глинистого конгломерата в нижней части разреза. В верхней части отложениям представляю собой прослаивание грубозернистых плохо сортированных полимиктовых слюдистых песков и глин.

Заканчивается разрез территории четвертичными в основном континентальными и аллювиально-морскими отложениями. В пределах Керченского п-ова широко распространены верхнеплейстоценовые образования пролювиального, делювиального, грязевулканического и озерного генезиса. Породы голоцена, помимо перечисленного, представлены еще коллювиальными образованиями, которые распространены повсеместно

### **3.3. Грязевой вулканизм**

#### **3.3.1 Распространение в мире**

Грязевой вулканизм представляет собой довольно широко распространенное геологическое явление. По данным Р.Р. Рахманова на Земле сейчас известно около 700

грязевых вулканов, находящихся в пределах Альпийского, Гималайского и Тихоокеанского подвижных поясов (Рис.3.3.), приуроченных к некоторым нефтегазоносным бассейнам (Рахманов, 1982).

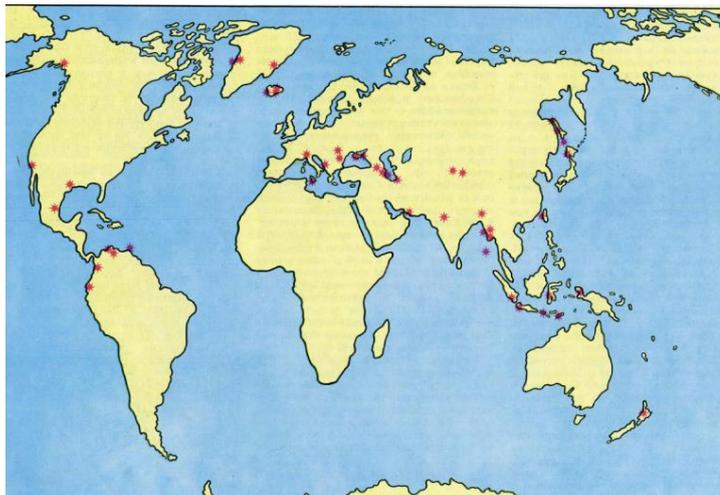


Рис.3.3. Области грязевого вулканизма на Земле (Грязевые..., 1986)

В России грязевой вулканизм известен на территории Краснодарского края, Ставрополья, на юге о-ва Сахалин, Таманского и Крымского полуострова.

Точный возраст вулканов неизвестен, это связано с особенностями литологических отложений. По этой причине имеются только предположительные данные о наиболее древних грязевых образованиях. На данный момент по исследованиям Р. А. Циммерман и Г.С. Амштутца самым древним является грязевой вулкан Лекайтер-Вилл, находящийся в США, он относится кембрийско-ордовикскому периоду (Zimmermann, 1972).

### 3.3.2. Строение грязевых вулканов

В данное время разные ученые еще спорят по поводу формулировки определения грязевого вулканизма. В геологическом словаре представлена следующая трактовка: «Вулкан грязевой – большой холм, сложенный целиком или только с поверхности сопочными отложениями и обладающий на вершине воронкообразным кратером и уходящими на глубину каналами, из которого периодически или непрерывно выделяются газ, вода, иногда с пленками нефти, обломки пород, сопочная грязь, последняя растекается по склону сопки, наращивая сопочный конус. Через некоторые промежутки происходят извержения, сопровождающиеся весьма бурными выделениями газов (взрывами) и выбросами на значительную высоту обломков пород» (Геологический, 1973).

Грязевой вулкан чаще всего представляет собой конусовидную постройку, размеры которой колеблются в широких пределах. В высоту от 5-10 м, до 400-500 м. На вершине грязевулканического конуса располагается площадка – кальдера; ее размеры могут

достигать 300–350 м. в поперечнике. На ней находятся многочисленные сальзы – микроповторения основной постройки, которые непрерывно извергают грязь, воду, нефть и газовые пузыри (Холодов, 2019).

Существует вторая тип грязевых вулканов, когда он является впадиной или болотом. Они могут быть заполнены водой, глинистыми растворами или нефтью. Такой тип иногда может превращаться в «вдавленные синклинали».

Место, через которое на поверхность поступает грязь и глинистый раствор называется жерлом вулкана. Они всегда уходят на большие глубины и приурочены к зонам трещиноватости и тектоническими разломами.

Для образования грязевых вулканов требуются определенные условия. Такими являются благоприятная тектоническая обстановка, а именно диапировые структуры, и нефтеносные пласты. Реже деятельность вулканов может быть вызвана землетрясениями, обвалами, биохимическими процессами и гидромерзлотными явлениями. С грязевым вулканизмом связывают развитие оригинальных глинистых брекчий, которые являются продуктом перетирания диапировых складок, надвигов и сбросов, но ошибочно их считают продуктом извержения грязевых вулканов.

Для действия вулкана необходимы: залежи газа, а именно метана, в недрах с аномально высокими пластовыми давлениями, водоносные горизонты и разрывные нарушения, служащие каналами миграции продуктов грязевого вулканизма.

В процессе тектонических процессов газ под большим давлением прорывается наружу, увлекая за собой разжиженную атмосферными водами глину, переработанную в брекчие. В процессе перемещения на вверх они дезинтегрируются, окатываются, превращаясь в типичные брекчевидные сопочные глины, пелиты, содержащие различное количество крупных обломков твердых пород.

Современные грязевулканические проявления – это лишь верхний этаж сложной многоярусной постройки, нижние этажи, образованы в геологическом прошлом. Часто грязевулканический очаг не функционирует, а фиксируется он только по ископаемым сопочным отложениям (Рис. 3.4.).

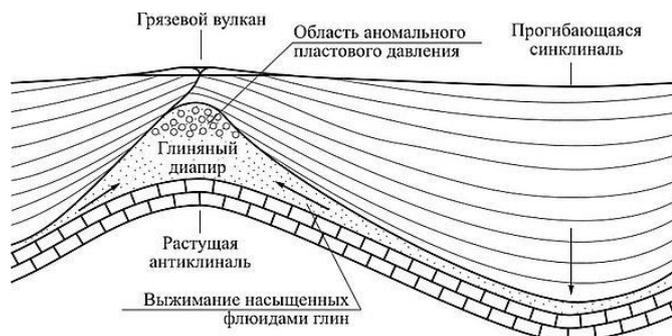


Рис.3.4. Модель формирования глиняного диапира и грязевого вулкана (П.А. Фокин)

В грязевом вулканизме значительный интерес представляет механизм образования наложенных отрицательных структур – вдавненных синклиналей. Формирование антиклинальной структуры и проявление грязевого вулканизма создают исходные предпосылки возникновения компенсационного прогиба. Действие вулканизма формирует депрессию и приводит к изгибам пластов пород, слагающих сводовую часть антиклинали. Дальнейшая деятельность вулкана приводит к продолжающемуся опусканию и нивелировке местности (Грязевые..., 1986).

### 3.3.3. Опробованные вулканы

Керченско-Таманский регион включает около 70 грязевых вулканов, чьи корни уходят на глубины до 8-10 км (Рис.3.5.). Сейчас данная территория считается зоной затухающего грязевого вулканизма. В рамках исследования были опробованы 3 вулкана Таманского п-ова (с. Шуга, с. Гнилая, с. Солонец) и Булганакский вулкан Керченского п-ова. В работу были включены литературные данные о вулканах Гладовский, Карабетова гора, Кучугурский, Бугазский и Поливадин и данные предыдущих вулкана Тобечик.

Распределение грязевых вулканов определяется наличием в Керченско-Таманской зоне новейших зон сжатия и сдвига. Они приурочены главным образом к антиклиналям, связанным с диапиризмом глин майкопской серии.

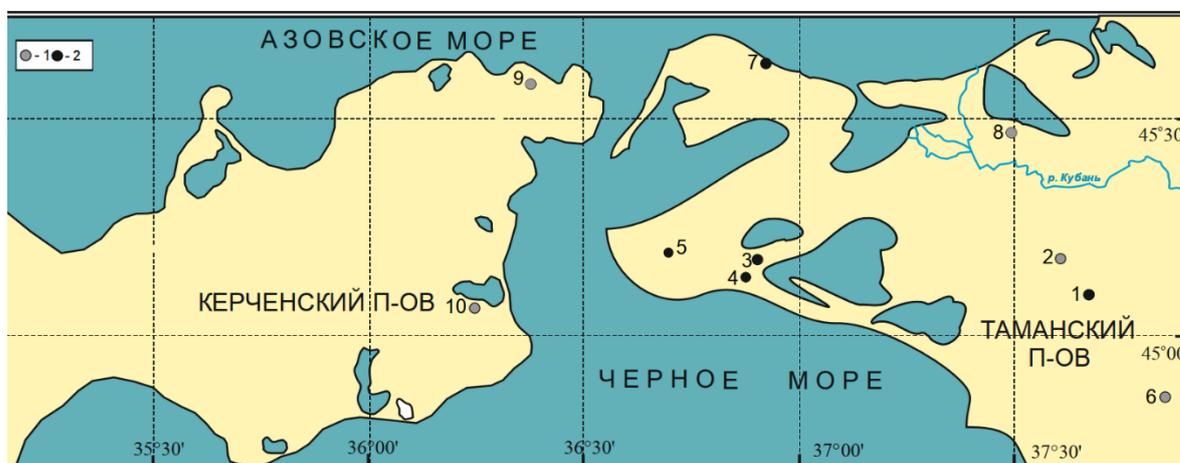


Рис.3.5. Схема точек грязевулканических сопки Керченско-Таманского региона. 1 - грязевые вулканы: опробованные (2 - Шуга, 6 – Солонец, 8- Гнилая, 9 - Булганаксий, 10 – Тобечик), 2-литературные данные (1-Гладковский, 3-Бугазский, 4-Поливадина, 5-Карабетова гора, 7-Кучугурский) (Кивкадзе, 2016)

Булганакские вулканы расположены в 9 км к северу от г. Керчь и в 2-х км северо-восточнее села Бондаренко. Они приурочены к вдавненной синклинали и лежат вдоль южного крыла Булганакской антиклинали.

Булганакский грязевулканический очаг имеет овальную форму около 4 км в широтном направлении. Всего на площади располагаются 10 грязевых сопок, из которых выделяют несколько обособленных групп. В работе пробы отобраны из 4 сопок: Ольденбура, Тищенко, Центрального озера и Обручева.

Вулканы этого поля относятся к булганкскому типу. В этом случае при относительно невысокой разнице давлений газы движутся вверх медленно, путем своеобразного перелива. Вулканы характеризуются постоянством действия, систематичностью, в течение длительного времени выбрасывая газы и сопочную грязь с незначительным содержанием грубообломочного материала. (Грязевые, 1986).

По сравнению с Керченским п-овом грязевой вулканизм на Таманском п-ове распространен более широко. Исходя из количества известных грязевулканических объектов (грязевых вулканов и вдавленных синклиналей) и площадей Керченского И Таманского п-овов (площадь Керченского п-ова 2700–3000 км<sup>2</sup>, Таманского – 2000 км<sup>2</sup>) плотность проявлений грязевого вулканизма на Керченском п-ове составляет 1,9% на 1 км<sup>2</sup>, на Таманском – 2,1% на 1 км<sup>2</sup>, но при этом на Керчи действующих вулканов больше. Грязевые вулканы Тамани представлены объектами различной морфологии – от мелких грифонов до крупных сопок, от небольших луж до обширных грязевулканических полей. (Тверитинова, 2020).

Грязевой вулкан Шуго расположен в 6 км к югу от станции Варениковская. Шуго — один из крупнейших грязевых вулканов Таманского п-ова. Вулкан представляет собой обширное грязевулканическое поле (плоский относительно невысокий конус), который располагается к северу от Шугинской антиклинали, входящей вместе с находящейся на ее юго-восточном продолжении Гладковской антиклиналью в Шугинско-Гладковскую зону концентрации деформаций сжатия (Собисевич, 2014).

На восточной окраине г. Темрюк расположен действующий грязевой вулкан г. Гнилая (Гефест). Он представляет собой усеченную конусообразную возвышенность. Поверхность имеет овальной формы, площадью в несколько км<sup>2</sup>, на которой имеется множество кратеров разной величины. Большинство салз, грифонов и озер расположено по окружности в краевой части вулкана. Одни центры извержений засохла, в других стоит вода, третьи находятся в стадии полусна, а есть и такие в которых грязь постоянно сочится и булькает.

## 4. Гидрогеология

### 4.1. Гидрогеология

Гидрогеологические особенности Керченско-Таманского региона связаны с геолого-тектоническим и геоморфологическим строением территории, литологическим составом пород, в которых находятся водоносные горизонты, и климат.

В строение Керченского артезианского бассейна выделяют 4 водоносных горизонта.

Первый от поверхности горизонт приурочен к четвертичным отложениям. У него довольно высокий уровень воды, из-за чего происходит частое подтапливание территории. Минерализация воды по данным исследования 2009 г. колеблется от 1,5 до 3,9 г/дм<sup>3</sup>. Вода в большинстве случаев используется для технических целей (Ошкадер, 2016).

Второй горизонт приурочен к плиоценовым отложениям. Они довольно водообильные, что объясняется их дебитами скважин. Например, в юго-восточном крыле мульды он составляет 0,2–1 л/сек., при понижении уровня 0,56 и 19,8 л. Вода из этого горизонта никак не используется в практических целях из-за высокой минерализации, ее значения колеблется от 3,5 – 9,0 г/дм<sup>3</sup> (Ошкадер, 2016).

Следующий водоносный горизонт относится к понтическим отложениям. Он встречается на глубине 21,0–30 м в юго-восточном крыле мульды. Этот горизонт уже напорный, дебит скважин составляет 2,5–3 л/сек, а при понижении уровня 1,7–9,6 м. Воды высоко минерализованы 3–5 г/дм<sup>3</sup>. Водоносный горизонт считается не пригодным для водоснабжения (Ошкадер, 2016).

Интересным является напорный водоносный горизонт, приуроченный к мезотическим известнякам. Он считается третьим от поверхности земли. Заинтересованность к нему связана с тем, что он служит основным эксплуатационным на территории Керченского полуострова. Дебиты скважин колеблются от 3,8– 6, 4 л/сек, при понижениях 12,0–25,3 м. (Ошкадер, 2016).

Областями питания Керченского п-ова являются высокие гребни, окружающие синклинали и Парпачский гребень. Разгрузка напорных вод происходит в смыывающие Керченский полуостров водные бассейны, которыми срезаны крылья большинства синклиналей (Геологическая..., 1973).

На территории Таманского п-ова ограниченное развитие имеют подземные воды в отложениях миоцена, а наиболее широко распространены подземные воды в породах плиоцена, приуроченные к акчагыльскому и киммерийскому ярусу.

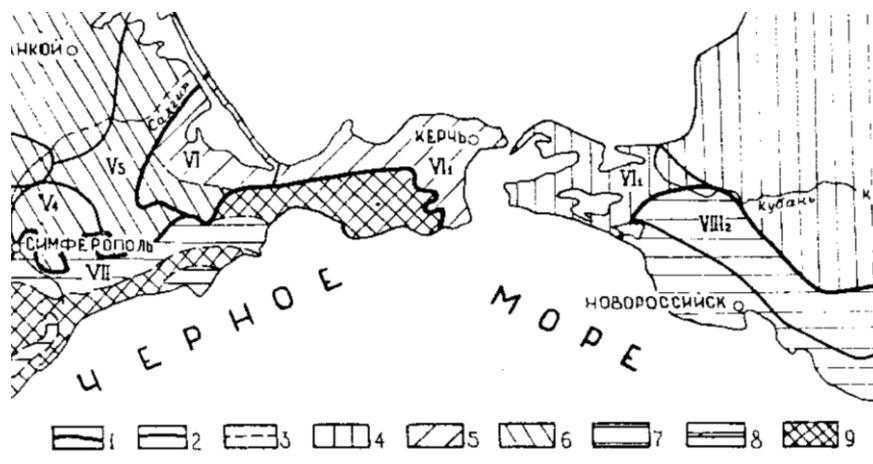
Северная часть п-ова бедна пресными водами, только в районе хут. Кучугуры и ст. Фонталовской выявлены слабосоленоватые напорные воды, с минерализацией 1,4 г/дм<sup>3</sup> и залегающие на глубине 40 м (Корсаков и др, 2013).

В южной части полуострова гидрогеологическая обстановка лучше. Напорные воды выделяют в верхнеплиоценовых и надпонтических отложениях, с минерализацией от 0,9 до 2, 5 г/дм<sup>3</sup>. В основном в межрядовых понижениях развиты слабосоленоватые воды, а в верхних частях склонов гряд воды с минерализацией от 0,2 до 1,5 г/дм<sup>3</sup>.

Формирование вод в основном происходит в предгорьях Кавказа, осуществляется в краевых зонах синклиналильных структур, и на западном склоне ставропольского поднятия за счет морских вод и атмосферных осадков. С помощью тех же источников происходит питание грунтовых вод, залегающих неглубоко от поверхности и развитых в эоловых, морских, аллювиальных и делювиальных отложениях. Разгрузка водоносных горизонтов довольно затруднено из-за слабой расчленённости рельефа, от чего минерализация повышается. Напорные воды, залегающие неглубоко от поверхности, частично разгружаются в четвертичные отложения.

#### 4.2. Гидрогеологическое районирование

Керченско-Таманская регион представляет собой систему малых артезианских бассейнов и выделяется на юго-западе Азово-Кубанскому бассейна (Рис.4.1.), мощность осадочного чехла которого варьируется от 150 м в его северной части до 7000-8000 м на юге (Гидрогеология...,1970.).



**Рис.4.1.** Карта-схема гидрогеологического районирования (Александров, 1986)

Границы районов первого (1), второго (2) порядков и распространения подземных вод (3): Основные типы их скоплений: 4-порово-пластовые воды, 5- порово-трещино-пластовые, 6- трещино-пластовые и карстово-пластовые, 7-трещино-карстовые и пластово-трещинные, 8- трещино-жилльные и пластово-трещинные, 9-водоупорные породы.

V<sub>4</sub>-V<sub>5</sub>-Равнино-Крымский артезианский бассейн (V<sub>4</sub>-Симферопольское поднятие, V<sub>5</sub>-Белогорский бассейн), VI-Азово-Кубанский артезианский бассейн и Керченско-Таманская система малых артезианских бассейнов (VI<sub>1</sub>), VII-гидрогеологическая складчатая область мегантиклинория Горного Крыма, VIII<sub>2</sub>-система бассейнов трещинных, пластово-трещинных и пластовых подземных вод Б. Кавказа

На Таманском п-ове малые артезианские бассейны приурочены к синклиналям, сложенными плиоценовыми и четвертичными отложениями, которые разделяют восемь антиклинальных зон западного – юго-западного простирания, расположенных с севера на юг и осложнённых диапировыми куполами, грязевыми вулканами и дизъюнктивными нарушениями. В четвертичных отложениях подземные воды относятся к аллювиальным супесям и пескам, а в верхнем и среднем плиоцене они содержатся в песчаниках, ракушечниках и песках. Водоупорными являются отложения мэотического, сарматского и понтического возраста.

Разобшённые артезианские бассейны Керченского п-ова также относятся к отдельным синклиналям. Водоносные комплексы приурочены к средне-, верхнеплиоценовым, сарматским, понтическим и мэотическим отложениям. По условиям распространения подземных вод полуостров подразделяют на две части: юго-западную и северо-западную.

В Юго-западной части соленые грунтовые и высокминерализованные воды относятся к песчаным прослоям в майкопских глинах. В мульдах северо-восточной части полуострова воды, приуроченные к отложениям неогена, имеют минерализацию от 3-10 г/л., что является следствием их длительного соприкосновения с водовмещающими породами. Активные зоны водообмена находятся только в краевых частях микробассейнов, в мэотических отложениях. В таких местах минерализация не превышает 2 г/л (Гидрогеология...,1970).

## 5. Методы исследования

Для изучения химического состава подземных вод и жидкой составляющей грязевулканических выбросов в работе использовались полевые и лабораторные методы исследования.

В летний сезон 2022 г. было отобрано 27 проб: 16 подземных вод, 6 из грязевых сопок и 5 проб поверхностных вод. Все образцы были пронумерованы и внесены в лабораторный журнал. (Рис. 5.1.).



Рис. 5.1. Отобранные пробы (Фото Д.А. Палий)

### 5.1. Полевой этап

При подготовке к полевому сезону сначала была изучена литература по району исследования и были выделены объекты опробования. На основе выбранных мест составлялся маршрут. Все необходимые точки заранее вносились в Google карту (Рис.5.2.).

После утверждения карты опробования была подготовлена необходимая посуда, проведена калибровка оборудования. Заключительным этапом был сбор вещей и подготовка полевого дневника.



Рис.5.2. Схема точек опробования

Непосредственно у водного объекта измеряли температуру, рН, Eh и удельную электропроводность. Для определения Ph мы использовали карманный Ph-метр рНер4 Hanna Instrument (Рис. 5.3.А.), а УЭП определялось с помощью карманного кондуктометра-солемера DIST2 Hanna Instrument (Рис 5.3.Б.).



**Рис.5.3.** А: Карманный Ph-метр рНер4 Hanna Instrument; Б– Карманный кондуктометр-солемер DIST2 Hanna Instrument(Фото Д.А. Палий)

В лаборатории на базе СПбГУ в поселке Трудолюбовка были определены гидрокарбонаты и карбонаты у части проб.

## **5.2. Лабораторные**

В лаборатории физико-химических методов анализов СПбГУ определяли гидрокарбонаты, карбонаты, хлор, жесткость и кальций методом титрования; сульфаты – гравиметрическим; нитриты и аммоний методом колориметрии; нитраты, бром и йод - потенциометрическим методом; магний, а также суммарно натрий и калий, расчетным. При необходимости вода фильтровалась через узко пористые фильтры синяя лента.

Хлориды определялись аргентометрическим титрование с присутствием хромата калия согласно ГОСТ 4245-72.

В колбу наливалось 10 мл исследуемой пробы, добавлялась капля индикатора хлорид калия, который окрашивал воду в лимонный цвет. Титрование проводили раствором  $AgNO_3$ . После добавления раствора образовывался белый творожный осадок лимонного оттенка, титрование проводилось до момента окрашивания раствора в оранжево-коричневый цвет (Рис 5.4.).



**Рис. 5.4.** Протитрованные растворы (Фото Д.А. Палий)

Гидрокарбонаты и карбонаты определялись титрование по ГОСТ 31957 – 2012.

Работа строилась следующим образом. Для определения карбонатов в колбу наливалось 50 мл исследуемой пробы, добавлялись 2-3 капли индикатора фенолфталейна. Если вода окрашивалась в розовый цвет, то начиналось титрование раствором соляной кислоты. После добавления раствора образовывался белый творожный осадок лимонного оттенка, титрование проводилось до момента окрашивания раствора в оранжево-коричневый цвет.

Для определения карбонатов, также помещалось 50 мл исследуемой воды в колбу. Добавлялись 2-3 капли индикатора на  $\text{HCO}_3^-$ . Вода приобретает зелено-голубой цвет. Титрование проводится соляной кислоты до перехода окраски в желтый цвет.

Общая жесткость определялась титрованием по ГОСТ 4151-72.

В колбу помещалось 50 мл воды, после к ней добавлялось 5 мл буферного раствора и 5-7 капель индикатора хромогена, после чего вода окрашивалась в фиолетовый цвет. Титрование проводилось трилоном Б до перехода окраски в синий цвет

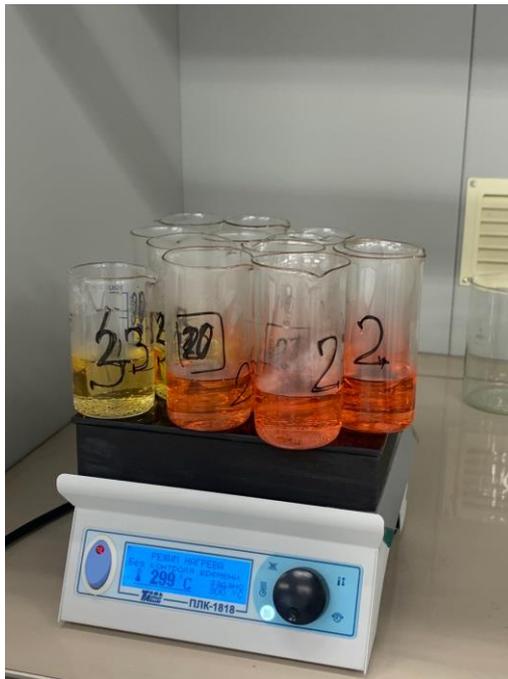
Кальций определялся методом титрованием с по ГОСТ 23268.5-78.

В колбу наливали 50 мл воды и добавляли столько мл соляной кислоты, сколько ушло на титрование гидрокарбонатов. Затем раствор кипятили в течение 2 минут, после охлаждали и добавляли 10-15 мг мурексида. Раствор приобретал красно-малиновый цвет. Титровали трилоном Б параллельно взбалтывая раствор до перехода окраски в лиловый цвет.

Для определения сульфатов использовался гравиметрический метод по РД 52.24.483-2005.

В колбы наливалось 50 мл воды с помощью пипетки. Добавляли 1-2 капли раствора метилоранда и по каплям раствор соляной кислоты 1:1 до перехода окраски в розовый. После этого колбы нагревали до кипения (Рис. 5.5.) и добавляли 3 мл раствора хлорида бария. Затем проба отстаивалась некоторое время, и к прозрачной жидкости вводились еще 3-4 капли раствора хлорида бария. Если проявлялась муть еще добавляли 0,2 мл хлорида

бария. После чего смесь перемешивали в течение 1 мин и накрывали стакан часовым стеклом, нагревали 2 ч на кипящей водяной бане и оставляли при комнатной температуре до следующего дня.



**Рис. 5.5.** Нагревание проб на сульфаты (Фото Д.А. Палий)

На следующий день жидкость над осадком, не взмучивая последний, фильтровали через фильтр «синяя лента»

Осадок сульфата бария 2-3 раза промывали декантацией. Просветлевшую жидкость над осадком осторожно сливали. Затем к осадку добавляли небольшое количество дистиллированной воды, взбалтывали и, не давая отстояться, переносили на фильтр.

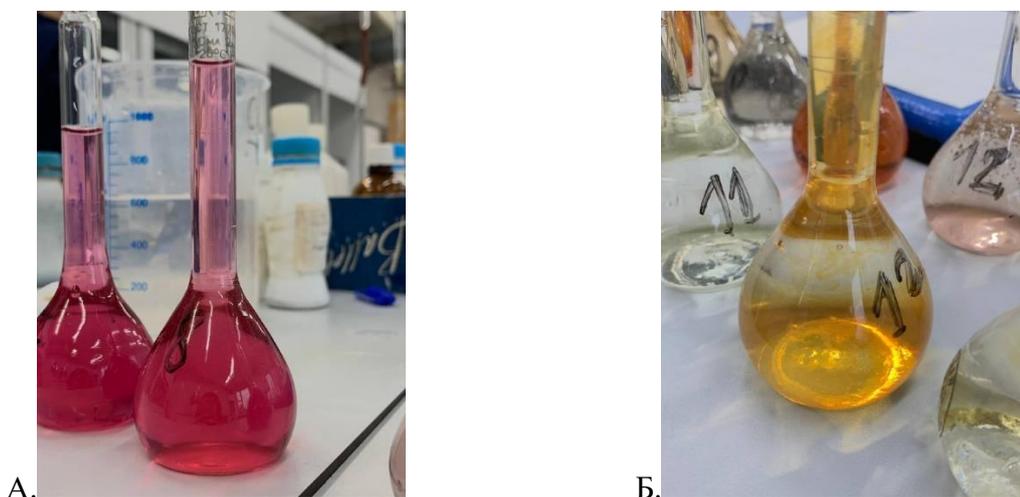
Фильтр с осадком перемещали в предварительно прокалённый до постоянной массы и взвешенный тигель. Пробы высушивали, нагревая на электроплитке, затем осторожно обугливают в муфельной печи и прокаливали до тех пор, пока осадок не станет белым. Охлаждённый тигель с осадком взвешивали и получали финальные значения.

Нитриты и аммонии определялись колориметрическим методом с использованием фотоколориметра НАСН DR/890 ГОСТ 33045-2014 (Рис. 5.6.)



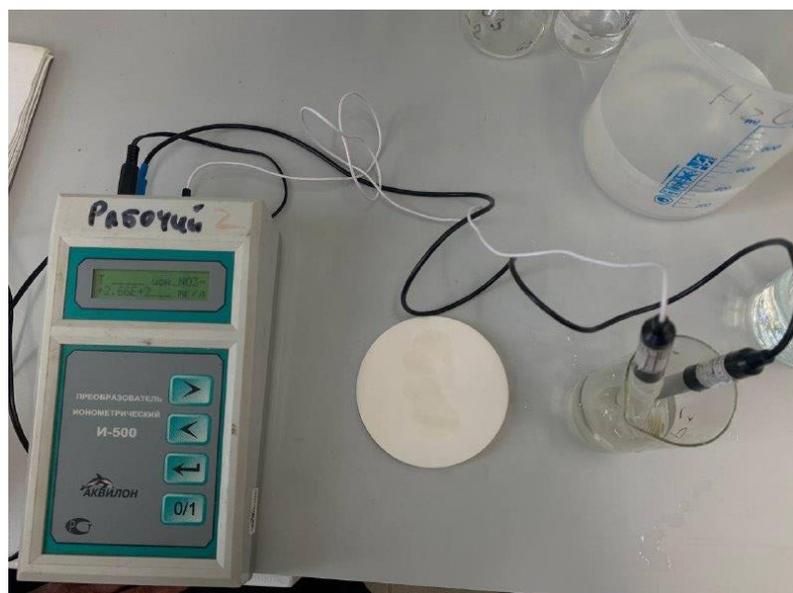
**Рис. 5.6.** Фотоколориметр HACH DR/890 (Фото Д.А. Палий)

Для выявления нитритов в отобранную воду добавляли реактив Грисса в 12% уксусной кислоте, а для аммонитов сегментарную соль, в качестве анализатора, и реактив Несстера. После чего вода приобретала характерный окрас. В пробах, где имелся нитриты вода приобретала розовый оттенок. (Рис. 5.7.А.). В пробах, где имелся аммоний вода сначала желтела, а после чего приобретала оранжевый оттенок (Рис. 5.7.Б.). После выжидалось 15 минут и использовался фотоколориметр.



**Рис. 5.7.** А: Проба на нитриты; Б: Проба на аммоний (Фото Д.А. Палий)

Нитраты определяли потенциметрическим методом с помощью ионометрического преобразователя АКВИЛОН -500 (Рис 5.8.). По ГОСТ 33045-2014.



**Рис. 5.8.** Ионметрический преобразователь АКВИЛОН -500 (Фото Д.А. Палий)

Для определения йода и брома использовался также потенциометрический метод, как и при определении нитратов, с использованием ионметрического преобразователя АКВИЛОН -500.

В пробирку наливали 50 мл раствора, который разбавляли до 100 мл дистиллятом. Во все пробы добавлялся реагент «броис» для регулировки ионной силы (Рис. 5.9.).



**Рис. 5.9.** Подготовленные пробы на бром и йод (Фото Д.А. Палий)

Содержание магния, натрия и калия определены расчётным методом. Для определения концентрации магния из значения общей жесткости вычитали содержание кальция,

Для расчета калия и натрия из общей суммы анионов макрокомпонентов вычитали общую жесткость

Помимо измерения компонентов, с использованием рефрактометра (Рис.5.10.) были получены показатели удельного содержания соли и ее удельного веса.



Рис.5.10. Рефрактометр (Аналитпромприбор..., 16.05.2023)

Работа прибора основана на принципах рефрактометрии – исследования количественного и структурного анализа на основе определения показателя преломления или солнечного света. Суть в то, что луч света, переходя из одного вещества в другое, меняет направление, образуя угол, величина которого зависит от состава и концентрации изучаемого раствора.

Соотношение угла входа к углу преломления на  $n$  плотность вещества. границе раздела двух сред — это коэффициент преломления, с помощью которого и определяется оптическая

Так же в рамках исследования определялось содержание стабильных изотопов дейтерия и 18-го кислорода методом инфракрасной лазерной спектроскопии на приборе Picarro L-2120i (Рис.5.11.). Этот тип спектроскопии основан на поглощении энергии ИК-лазера малыми молекулами при характеристических длинах волн.



Рис.5.11. прибор Picarro L-2120i (Исследование..., 8.05.2022)

Система из трех зеркал и не аксиальное расположение газовых кювет обеспечивают путь пучка лазера в 20 км при размере кюветы в 20 см. При такой длине пути лазерный луч проходит кювету около 100 000 раз и молекулы исследуемых газов успевают поглотить достаточно излучения для образования интенсивных полос поглощения. Это предопределяет высокую чувствительность метода даже для образцов со следовыми концентрациями газов при атмосферном давлении. Поочередно идет измерение поглощения "пустой" кюветы (без исследуемого газа) и кюветы с исследуемым газом. Получаемая функция зависимости поглощения от времени, путем математических преобразований затем переводится в спектр (Исследование, 8.05.2023).

После всех анализов была проведена статистическая обработка полученных результатов с использованием пакета «Анализа данных» в программе Excel... При обработке массива данных по химическому составу вод Керченско-Таманского региона использованы методы: корреляции, графики построение гистограммы, описательная статистика, гистограмма.

В итоге работы мною лично опробовано 30 проб. Не все задуманное удалось выполнить, поэтому для полноты картины химического состава часть информации было получены из литературных источников.

## Интерпретация данных

Все имеющиеся данные были разделены на три группы: сопочные воды, питьевые и хозяйственные. К питьевым были отнесены воды, чья минерализация не превышает 1,5 г/л питьевую. Такая граница связана с тем, что 1,5 г/л является предельно допустимым показателем питьевых вод для нецентрализованного водоснабжения (СанПиН 1.2.3685-21). Сопочные воды были выделены в отдельную группу, потому что являются важным бальнеологическим ресурсом.

Статистические характеристики макрокомпонентов, минерализации (М), удельной электропроводности (УЭП) и жёсткости (Ж) и некоторых других компонентов приведены в Табл.6.1-6.2.

Минерализация сопочных вод Керченско-Таманского региона в среднем составляет 17,7 г/л, с диапазоном от минимального (10) до максимального (35,6), с медианой 16,0 г/л. В отличие от подземных вод сопочные имеют наибольшее значение рН и солёности, но наименьшее Eh. Питьевые воды имеют наименьшее значение минерализации, солёности и жесткости. Их минерализация в среднем составляет 0,8 г/л и входит в диапазон от 0,3 до 1,2 г/л, с медианой 0,8 г/л. У хозяйственных вод минерализация находится в диапазоне от 1,8 г/л до 27,7 г/л., в среднем составляет 6,1 г/л, с медианой 4,7 г/л. Они имеют наибольшее значение жесткости и Eh.

Превышения по жесткости не наблюдается, показателям предельно допустимых значений в нецентрализованном 10 мг/л.

Все изученные воды не соответствуют показателям предельно допустимых значений по Br 0,2 мг/л и I 0,125 мг/л (СанПиН 1.2.3685-21). Показатели Cl тоже превышены (200 мг/л), что доказывает бедность территории на подземные воды, но это территория бедна на питьевые воды. Показатели азотных соединений попадают в допустимый диапазон: NH<sub>4</sub>-1,5-2; NO<sub>2</sub>-3; NO<sub>3</sub>-45 (мг/л). Несмотря на то, что этот показатель сельскохозяйственный, для Керченско-Таманской зоны это не является проблемой. Так как регион беден на поверхностные воды, а подземный сток защищен, то превышения не наблюдается. Предполагаем, что нитраты связана с притоками воды не с загрязнением, а с притоками глубоких горизонтов хозяйственных водах. По Mg наблюдаются эпизодические превышения, его предельно допустимое значение 50 мг/л.

В сопочных водах среди компонентов самые высокие средние значения у Br, Cl и SO<sub>4</sub>, но у них и наибольшее стандартное отклонение. Средние значения наименьшие у нитритов и аммония.

**Таблица 6.1**

Статистические характеристики основных показателей химического состава сопочных вод Керченск -Таманского региона (n=15)

Элемент/ показатель	Среднее	min	max	Медиана	Дисперсия выборки	Стандартное отклонение
Eh	-57,8	-210,0	5,9	-10,0	8903,4	94,4
pH	11,4	6,1	8,3	7,9	99,7	10,0
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,013	1,000	1,023	1,012	0,000	0,006
S, ‰	18,7	13,0	30,0	17,5	39,9	6,3
М-я, г/л	17,7	10,0	35,6	16,0	41,6	6,5
Ж, мг-экв/л	27,9	10,2	49,0	27,0	206,6	14,4
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	9,6	0,0	30,0	5,0	97,8	9,9
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	15,0	0,0	71,3	2,7	786,2	28,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	38,7	0,0	221,0	14,7	4635,3	68,1
Br <sup>-</sup> , мг/л	4420,0	0,0	14100,0	1970,0	28994874,4	5384,7
I <sup>-</sup> , мг/л	31,0	20,4	44,1	31,4	87,2	9,3
Cl <sup>-</sup> , мг/л	6041,2	710,0	14626,0	4970,0	14334949,7	3786,2
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , мг/л	26133,0	0,0	388012,8	196,8	10022329316,3	100111,6
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	3417,4	335,6	6954,0	3355,0	4585698,9	2141,4
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	250,0	0,0	780,0	0,0	106414,3	326,2
Ca <sup>+</sup> , мг/л	244,0	22,0	1443,0	100,0	139894,1	374,0
Mg <sup>+</sup> , мг/л	963,5	0,0	10046,8	280,7	6380579,6	2526,0
Na+K <sup>+</sup> , мг/л	5249,9	2852,0	9543,1	4630,4	4166880,4	2041,3

Питьевые в них практически отсутствуют нитриты, аммоний и йод. Наиболее высокие показатели у Na+K, Cl и HCO<sub>3</sub>. Наибольшая дисперсия и стандартное отклонение наблюдается у хлора, сульфатов, гидрокарбонатов, наименьшая у йода, нитритов и аммония. Хлор, гидрокарбонаты и сульфаты имеют наибольшие показатели стандартного отклонения. Очень высокие показатели у Cl, Na+K и HCO<sub>3</sub>, но они имеют и самые высокие показатели дисперсии. Наименьшее содержание йода, аммония и нитритов, отсутствуют карбонаты. Высокое стандартное отклонение у хлора.

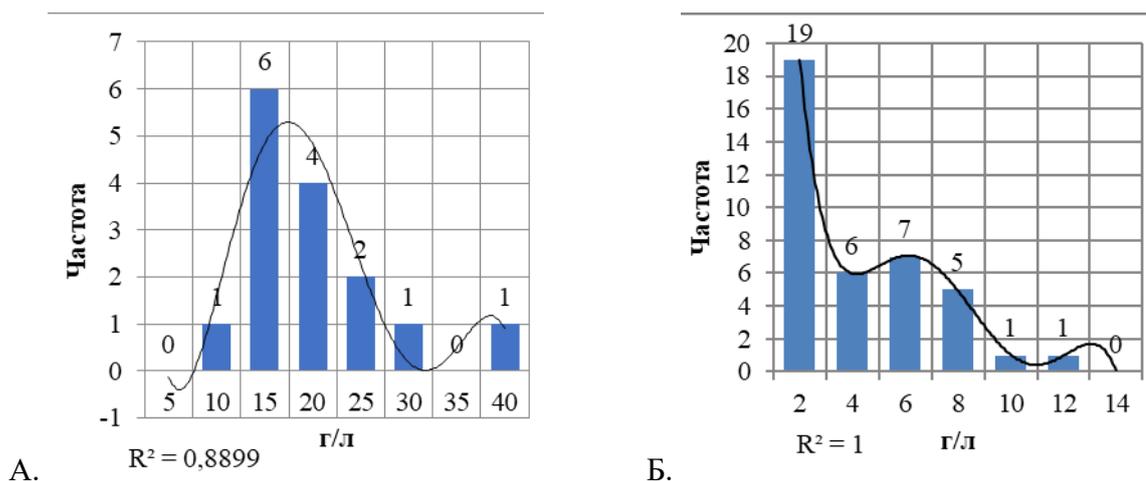
Таблица 6.2

Статистические характеристики основных показателей химического состава подземных питьевых вод Керченск - Таманского региона (n=14)

Элемент/ показатель	Питьевые (n=14)					Подземные (n=20)				
	Среднее	min	max	Медиана	Стандартное отклонение	Среднее	min	max	Медиана	Стандартное отклонение
Eh	61,6	-100,0	123,0	73,5	71,1	81,0	-170,0	230,0	122,0	67,5
pH	7,9	7,0	9,0	7,4	0,8	7,3	6,5	8,1	7,2	0,2
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	1,001	1,000	1,002	1,001	0,001	1,006	1,000	1,019	1,005	0,005
S, ‰	1,5	0,0	3,0	1,5	1,2	6,3	3,0	14,0	4,5	1,4
М-я, г/л	0,8	0,3	1,2	0,8	0,3	6,1	1,8	27,7	4,7	1,3
Ж, мг-экв/л	5,2	0,2	7,8	5,2	1,8	32,0	3,4	72,0	31,5	5,2
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , мг/л	0,2	0,0	2,0	0,0	0,7	1,0	0,0	6,0	0,0	0,7
NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , мг/л	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	2,2	0,0	11,5	0,1	1,3
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	10,5	1,9	24,0	8,0	8,7	25,6	0,9	74,0	16,5	6,3
Br <sup>-</sup> , мг/л	5,8	2,9	16,8	3,5	4,6	72,9	4,3	550,0	25,0	38,3
I <sup>-</sup> , мг/л	0,5	0,0	0,7	0,5	0,2	2,3	0,0	23,8	0,5	1,7
Cl <sup>-</sup> , мг/л	220,8	39,1	571,6	172,2	154,6	2626,0	213,0	15620,0	1540,0	813,1
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , мг/л	29,9	4,8	174,8	13,4	45,2	283,0	9,3	1929,5	64,0	114,2
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	360,8	158,6	671,0	384,3	150,3	597,5	317,2	1464,0	488,0	65,9
CO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	3,4	0,0	24,0	0,0	8,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Ca <sup>+</sup> , мг/л	60,0	0,2	124,0	60,0	36,8	180,2	1,8	440,0	120,0	36,7

Mg <sup>+</sup> , мг/л	22,9	0,0	56,9	19,4	17,3	185,5	22,0	607,5	133,7	39,6
Na+K <sup>+</sup> , мг/л	142,6	12,9	299,5	128,5	96,3	1476,2	181,1	9176,9	798,4	471,1

Для минерализации была выполнена гистограмма, которая позволяет сделать выводы о закономерности распределения вод (Рис.6.1.). Для сопочных вод минерализация в основном входит в диапазон 10-20 г/л, сильно выделяются показатели с. Гнилая (25 г/л) и с. Обручева (35 г/л). Минерализация подземных вод находится в пределах 2 г/л, исключениями являются воды, отобранные в районе о. Чокрак.



**Рис.6.1** Частотные распределения минерализации вод Керченско-Таманского региона

А-сочных (n=15), Б- подземных (n=33)

■ - минерализация, — -полиномиальная линия

Для более подробной характеристики были составлены формулы Курлова (Табл.6.4.) и посчитаны генетические коэффициенты (Табл.6.3). Генетический коэффициент получился больше единицы в двух случаях, гидрокарбонатно-натриевая вода.

**Таблица 6.3.**

Генетические коэффициенты природных вод Керченско-Таманского региона (n=57)

Тип вод	$\frac{rSO_4}{rCl}$	$\frac{rCa}{rMg}$	$\frac{rNa}{rCl}$	$\frac{rNa - rCl}{rSO_4}$	$\frac{rCl - rNa}{rMg}$	Кф-т Сулина	Основные катионы	Основные анионы	n
Сочные	0,06	0,7	1,8	15,5	-4,2	HCO <sub>3</sub> -Na+	Na+K>Mg >Ca	Cl>HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >CO <sub>3</sub>	13
Питьевые (<1,5 г/л)	0,1	2,6	1,9	5,0	4,3	HCO <sub>3</sub> -Na+	Na+K>Ca>Mg	HCO <sub>3</sub> >Cl>SO <sub>4</sub> >CO <sub>3</sub>	14
Хозяйственные (>1,5 г/л)	0,4	0,6	1,0	-1,3	1,4	SO <sub>4</sub> - Na+	Na+K>Mg >Ca	Cl>SO <sub>4</sub> >HCO <sub>3</sub> >CO <sub>3</sub>	19
Поверхностные	0,03	0,2	0,9	-3,6	1,3	Cl-Mg	Na+K>Mg >Ca	Cl>HCO <sub>3</sub> >SO <sub>4</sub> >CO <sub>3</sub>	9

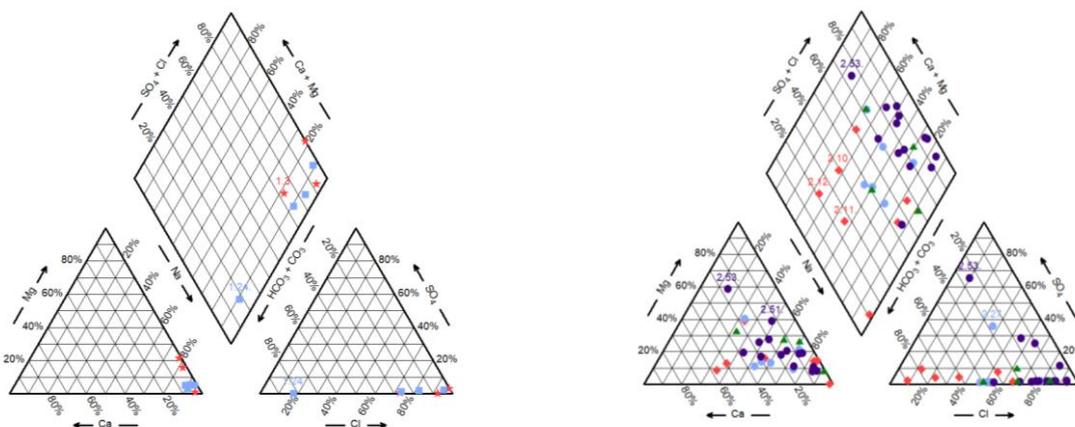
**Таблица 6.4**

Формулы Курлова Керченско-Таманского региона (n=57)

	Eh	pH	Формула	Название	Вг, мг/л	I, мг/л	К-во
Сочные (Тамань)	-11-6	7-8	$M_{13-26} \frac{Cl(3 - 97)SO_4(1 - 97)HCO_3(2 - 49)}{Na + K(33 - 96)Mg(11 - 65)Ca(1 - 17)}$	Гидрокарбонатно-сульфатнохлоридные с магниевонатриевые	2050-14100	21-38	8 3 (Палий) 5 (литр. дан)

Сопочные (Керчь)	-210 - (-5)	<b>6-10</b>	$M_{10-36} \frac{Cl(15 - 95)HCO_3(5 - 67)CO_3(8 - 18)}{Na + K(83 - 94)Mg(3 - 14)}$	Гидрокарбонатно-хлоридные натриевые	1300-9990	29-44	7 (Палий-Каюкова)
Питьевая (Тамань)	44-123	7,1-8,7	$M_{0,4-1} \frac{HCO_3(39 - 84)Cl(8 - 54)}{Na + K(34 - 98)Ca(2 - 52)Mg(8 - 39)}$	Хлоридно-гидрокарбонатные магниевые-кальцито-натриевые	3,5	1	5 (Палий)
Питьевая (Керчь)	-100-77	7-9	$M_{0,7-1} \frac{Cl(37 - 79)HCO_3(19 - 51)}{Na + K(33 - 90)Mg(9 - 46)Ca(7 - 36)}$	Гидрокарбонатно-хлоридные кальцито-магниевые-натриевые	4-17	1	9 (Палий-Каюкова)
Солоноватые (Керчь)	-170-230	6,5-80	$M_{2-28} \frac{Cl(10 - 94)SO_4(11 - 65)HCO_3(10 - 55)}{Na + K(15 - 94)Mg(6 - 59)Ca(5 - 37)}$	Гидрокарбонатно-хлоридные магниевые-натриевые	4-550		19 (Палий-Каюкова)
Поверхностные (Керчь)	0,85	7,5-8,9	$M_{01-53} \frac{Cl(49 - 97)HCO_3(7 - 49)}{Na + K(33 - 92)Mg(7 - 38)Ca(12 - 34)}$	Гидрокарбонатно-хлоридные кальциево-магниевые-натриевые	14-720	1-10	9 (Палий-Каюкова)

Для визуального представления химического состава вод с использованием программы Aq Qa были построены диаграммы Пайпера (Рис.6.2.).



**Рис.6.2.** Диаграмма Пайпера вод региона Таманского п-ова слева (n=17): ★ - сопочные, ■ -питьевые (<1,5 г/л) Керченского п-ова справа(n=24): ● - питьевые (<1,5 г/л), ● - хозяйственные (>1,5 г/л), ◆ - сопочные, ▲ -поверхностные

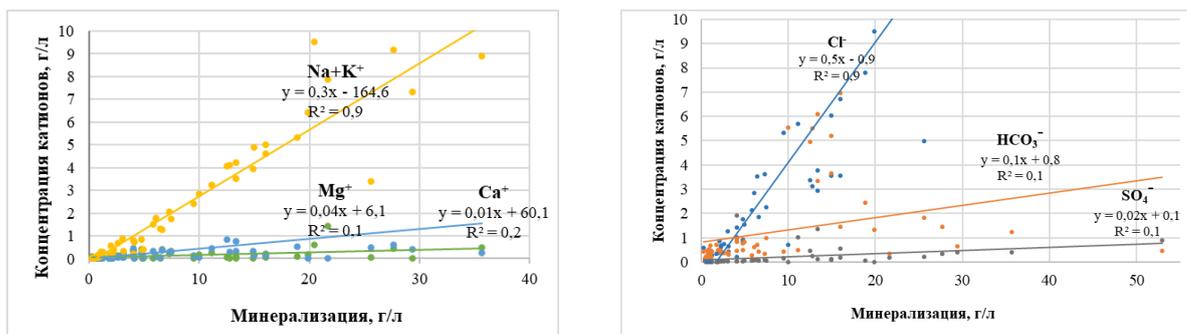
В приложение 1 приведена корреляционная матрица основных показателей химического состава вод Керченско-Таманского региона (n=58). Для более точного рассмотрения были составлены корреляционные матрицы отдельно (Приложение 2,3) для сопочных и подземных вод.

В сопочных водах сильная положительная корреляционная связь наблюдается между рН и NO<sub>2</sub>, жесткость имеет сильную положительную связь с Mg и сильно отрицательную с NO<sub>2</sub>. На минерализацию особо влияние оказывает хлор и бром, наименьшее гидрокарбонаты. УЭП имеет сильную положительную связь с NH<sub>4</sub> и Ca, минерализация с Cl и Br. На солёность в основном влияет содержание Na+K, Cl и NH<sub>4</sub>. Между сульфатом и магнием наблюдается сильная положительная связь

С подземными водами ситуация отличается. Основной вклад в минерализацию (УЭП) воды вносят следующие компоненты Cl и Na+K. Наблюдается положительная связь между нитритами и бромом

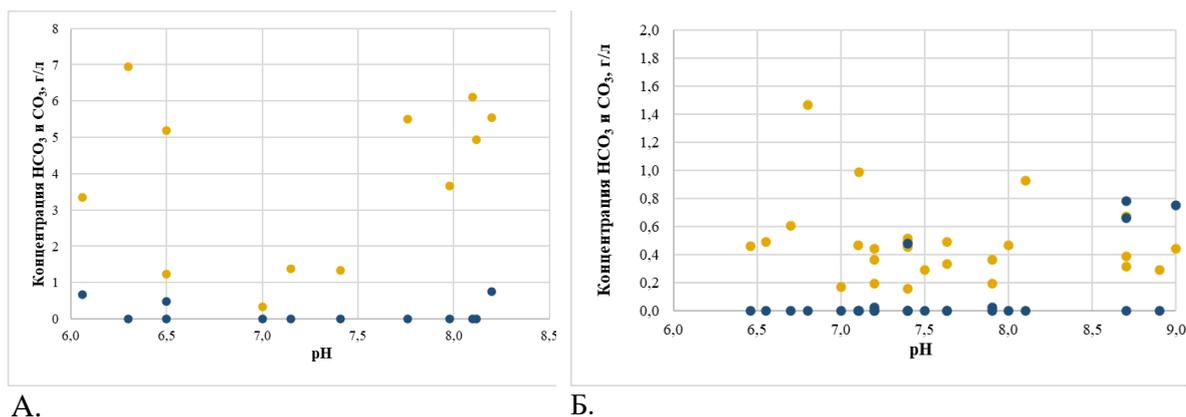
Для более подробного рассмотрения взаимосвязь компонентов были построены различные графики, на основе которых можно сделать некоторые заключения.

Из катионного состава минерализацию определяют Na и K, из анионного состава в основном влияет Cl, наиболее слабое действие оказывают Ca и SO4 (Рис.6.3.).



**Рис.6.3.** Связь минерализации и катионного состава слева и анионного справа вод Керченско-Таманского региона (n=56)

У подземных и поверхностных вод значение pH находится в диапазоне 6,5-9, у сопочных 6-8,5 (Рис.6.4.). Графики показывают, что концентрация гидрокарбонатов выше в сопочных водах, но при этом их процентное содержание больше в подземных. Показания карбонатов практически одинаково. Следовательно, наличие гидрокарбонатов свидетельствует о глубинном происхождение вод и их связи с грязевым вулканизмом.

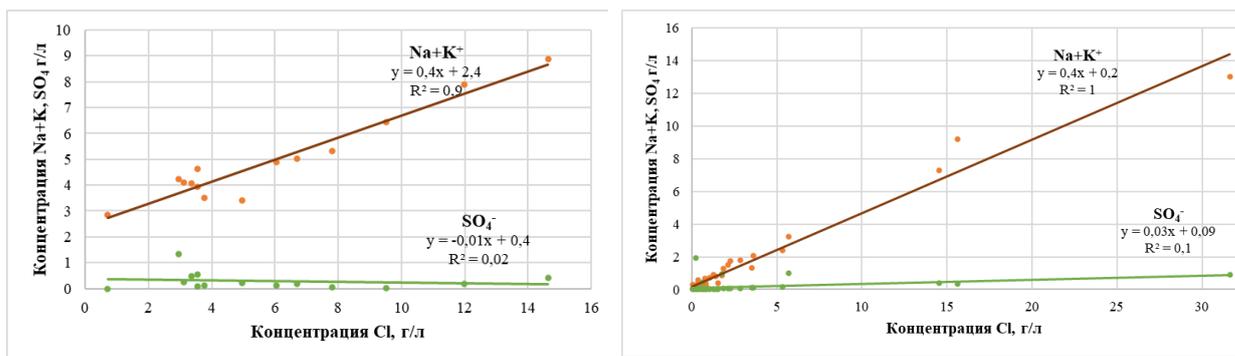


**Рис.6.4.** Связь pH и концентрации HCO₃⁻ и CO₃²⁻ вод Керченско-Таманского региона

А-сочных вод(n=15), Б-подземных и поверхностных(n=27)

● HCO₃⁻ ● CO₃²⁻

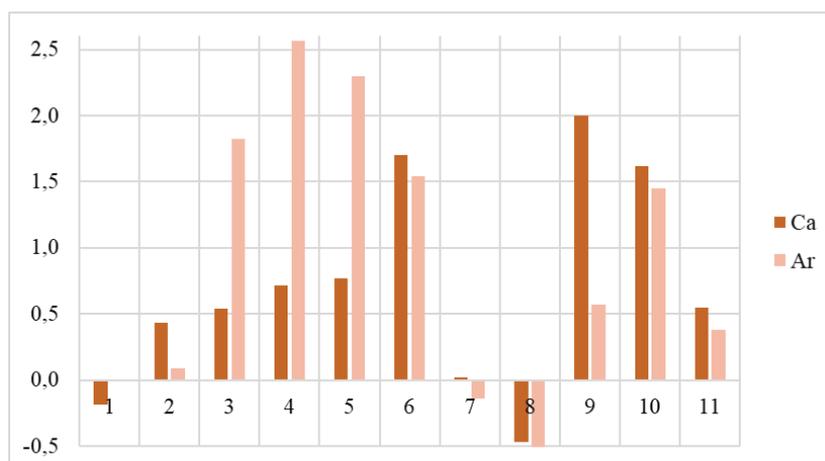
Из всех катионов наибольшая связь Cl наблюдается с Na и K, такая закономерность прослеживается, как у подземных, так и у сопочных вод региона (6.5.).



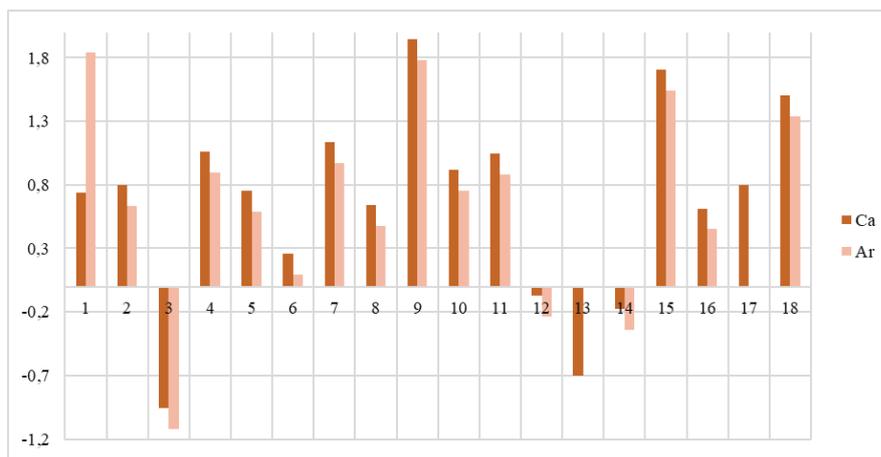
**Рис.6.5.** Связь Na, SO<sub>4</sub> с Cl сопочных вод слева (n=14) и подземных с поверхностными справа (n=42) Керченско-Таманского региона

С использованием программы Aq Qa был выявлен минеральный индекс насыщения, который имеет отрицательную корреляцию с Br. В основном все воды пересыщены ( $S_i > 0$ ) по кальциту и ангидриту, но некоторые ненасыщенные ( $S_i < 0$ ) (Рис.6.6., 6.7.). В питьевых водах недонасыщены: Опук (№8) из-за конденсации, и вода из скважины на Таманском п-ове в районе Крымского моста (№1), среди хозяйственных вод: скважина в посёлке Бондаренково (№3), ист. Чокрак (№12-13), и ист. Обручева (№14).

В питьевых водах в основном перенасыщение ангидритом, наиболее высокие показатели у воды из деревни Шапсуга (№3-5), по кальциту наиболее пересыщена только вода из кол. 1 в Костырино (№9) и Отрадного (№10). Другая ситуация наблюдается среди хозяйственных и поверхностных вод. Воды чаще пересыщены по кальциту, в особенности у особенности у ист. Чокрак (№15), но колодец около о. Чокрак (№1), пересыщен по ангидриту.

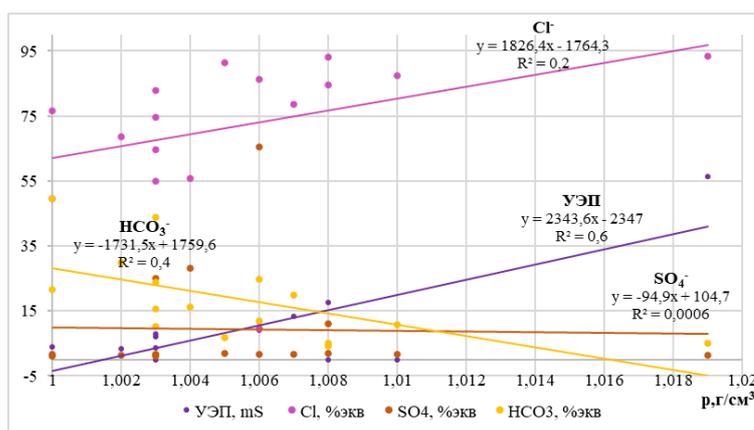


**Рис.6.6.** Индекс насыщения питьевых вод (<1,5 г/л) Керченско-Таманского региона (n=11)

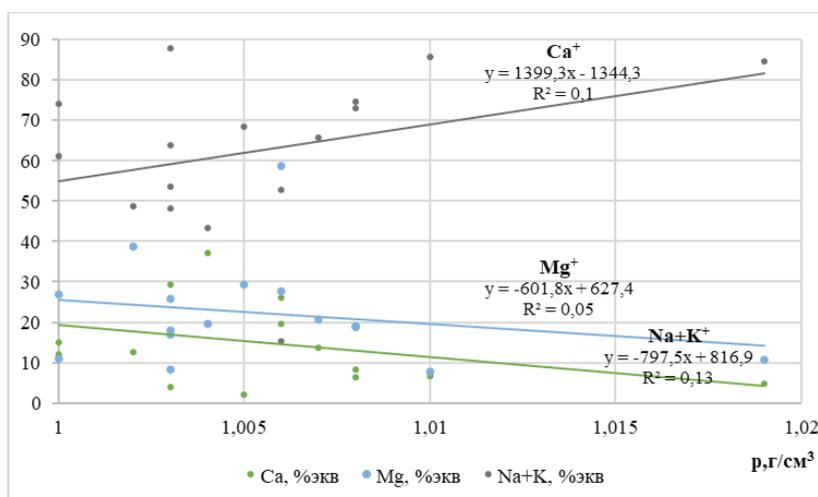


**Рис.6.7.** Индекс насыщения хозяйственных вод (>1,5 г/л) Керченско-Таманского региона(n=18)

Были построены графики связи плотности с катионным (Рис.6.8.) и анионным составом (Рис.6.9.). Почти все компоненты не имеют особого влияние на ее формирование, среди катионов выделяется кальцит, а из анионов хлор.



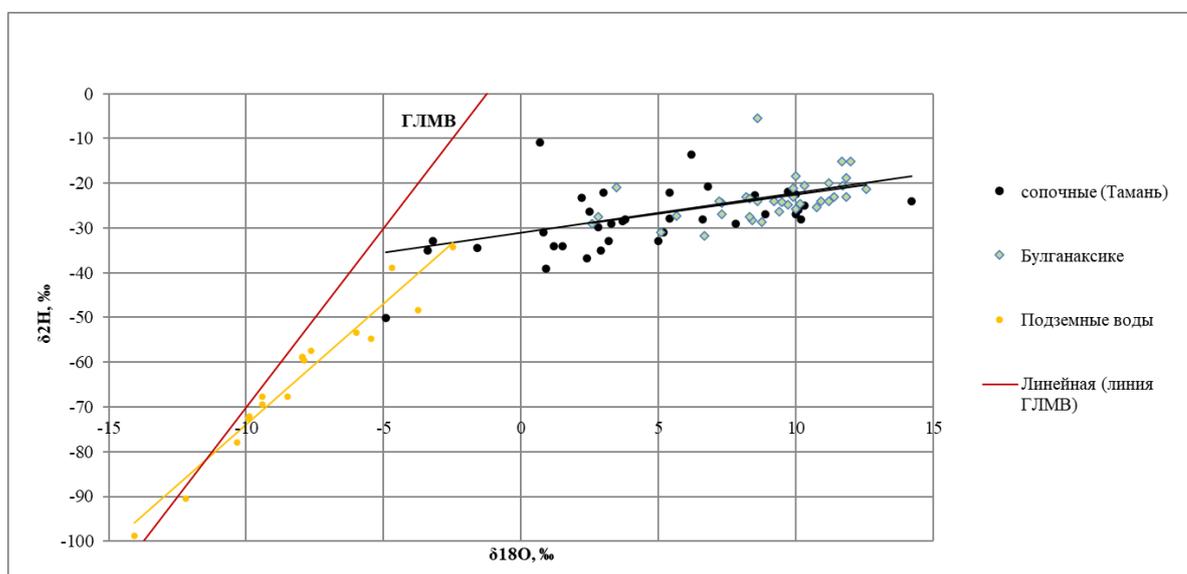
**Рис.6.8.** Связь плотности, УЭП и анионного состава соленоватых вод (>1,5 г/л) Керченско-Таманского региона (n=16)



**Рис.6.9.** Связь плотности и катионного соленоватых (>1,5 г/л) вод Керченско-Таманского региона (n=16)

Изотопные данные, представленные на графике в координатах кислорода и водорода (Рис.6.10.) и представлена линия ГВЛМ (Крейга), которая позволяет интерпретировать генетическую принадлежность вод. Воды, чьи точки находятся вблизи линии связаны с интерфляцией атмосферных осадков. Отклоняющиеся точки говорят о глубинном происхождение, например, сопочных воды. Если угол отклонения 4-6 градусов, то считается, воды прошли через испарение.

В основном формирование исследуемых вод несвязно с атмосферными осадками, так как большинство отклоняются от линии Крейга. Самыми приближенными являются пробы Керченского п-ова: скважины поселка Багерovo и Отрадного, Бондаренко и Войково. Воды Таманского п-ова отклоняются сильнее, вероятно они формируется за счет глубинных горизонтов. Все сопочные воды имеют сильное отклонение, что объясняется тем, что корни грязевых вулканов уходят на большие глубины.



**Рис .6.10.** Содержание стабильных изотопов относительно линии Крейга вод Керченско-Таманского п-ова

## Заключение

Проведенное исследование показало, что на Керченском п-ове только сопочные воды имеют глубинное происхождение. Остальные формируются за счет влияния атмосферных осадков, в отличие от вод Таманского п-ова, которые формируются на глубине. Большинство вод не имеют глубинного происхождения.

По преобладающим компонентам воды поделены по основным катионам: кальциево-магниево-натриевые и магниево-кальциево-натриевые; по основным анионам: гидрокарбонатно-хлоридные, хлоридно-гидрокарбонатные, гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридные

По генетической классификации Сулина выделены три типа вод: гидрокарбонатно-натриевые, сульфатно-натриевые, хлоридно-магниево-натриевые.

На минерализацию подземных вод в основном влияет хлор, в сопочных водах добавляется бром, в подземных натрий и магний. Сопочные воды отличаются высокими показателями гидрокарбонатов.

Подземные воды не обладают высокой солёностью, в сопочных водах показатель достигает 30 ‰.

Большинство подземных вод перенасыщены по ангидриту. Воды Таманского п-ова в районе деревни Шапсуга перенасыщены по кальциту, о чем будет свидетельствовать большое количество накипи при ее кипячении.

Выражаю искреннюю благодарность Сумине Н. И. за помощь в проведение лабораторных анализов, Токареву И.В. за образцы РЦ дефракц методов.

## Литература

- Александров Г.П., Ганешин Г.С., Зайцев И.К. и др. Геологическая карта СССР. Масштаб 1: 1 000 000. Новая серия. Лист L(36), (37) – Симферополь. Объяснительная записка. 1986. 134 с.
- Благоволин Н.С. Геоморфология Керченско-Таманской области. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 190 с.
- Ежов В.В., Васенко В.И., Гулов О.А. Бальнеологические характеристики Крымской вулканической грязи Булганакского месторождения / Медицина Кыргызстана № 3. 2017. Бишкек: ООО «Научная школа проф. Белова». С. 17-25.
- Ежов В.В., Васенко В.И., Гулов О.А. (2017). Сопочные грязи Булганакского месторождения – перспективный лечебный фактор крымских курортов // Вестник физиотерапии и курортологии. Том. 23. С. 6-13.
- Гайдаленок О.В. Структура Керченско-Таманской зоны складчатых деформаций Азово-Кубанского прогиба: Дисс-я. М. 2022. 128 с.
- Гайдаленок О.В., Соколов С.А., Гордеев Н.А. Структура Керченско-Таманской складчатой зоны Азово-Кубанского прогиба: статья 2021 г.
- Геологическая карта СССР: объяснительная записка / Под ред. Муратова М.В. Киев: Министерство геол. СССР, 1973. 142 с.
- Геология СССР Т. 8 Крым Ч.1 Геологическое описание / Под ред. Муратова М.В. М.: Недра, 1969. 576 с.
- Геология СССР Т. 8 Крым Ч. 2 Полезные ископаемые / Под ред. Сидоренко А.В., Муратова М.В., Чернякова Н.И. М.: Недра, 1974. 211 с.
- Геологический словарь: В 2-х т. – М.: Недра, 1973. - 456 с
- Гидрогеология СССР Т. 8 Крым / Под ред. Сидоренко А.В. М.: Недра, 1970. 336 с.
- ГОСТ 4245-72 «Методы определения содержания хлоридов»
- ГОСТ 31940-2012 «Методы определения содержания сульфатов»
- ГОСТ 33045-2014 «Методы определения азотосодержащих веществ»
- ГОСТ 31957 – 2012 «Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов».
- ГОСТ 4151-72 «Вода питьевая. Метод определения общей жесткости».
- ГОСТ 23268.5-78 «Метод определения ионов кальция и магния»
- Грязевые вулканы Керченско-Таманской области: Атлас /Под ред. Шнюков Е.Ф., Соболевский Ю.В., Гнатенко Г.И., Науменко П.И., Кутний В.А. Киев: Наук. думка, 1986. 152 с.
- Каюкова Е.П. (2020). Изотопный состав жидкой фазы грязевых вулканов (Керченский полуостров, Восточный Крым) / Мат-лы Всеросс. научной конф. «Геотермальная вулканология, гидрогеология, геология нефти и газа» (Geothermal Volcanology Workshop 2020), Петропавловск-Камчатский: Институт Вулк-гии и Сейсм-ии ДВО РАН. С. 98-101.
- Кивкадзе О.Е. Геохимия грязевулканических флюидов Кавказского региона: Дисс-я. М. 2016 г. 183 с.
- Короновский Н.В. Крым – природный геологический музей / Природа, № 6. 1981. М.: Наука. С. 39-47.
- Корсаков С.Г., Зарубин В.В., Соколов В.В. и др. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1: 200 000. Издание второе. Серия Кавказская. Лист L-37-XIX, XXV (Тамань). Объяснительная записка. – М.: МФ ВСЕГЕИ, 2013. 107 с.
- Краткий очерк геологического строения и нефтяных месторождений Керченского полуострова. Составили: Архангельский А.Д., Блохин А.А., Меннер В.В., Осипов С.О., Соколов М.И., Чепиков К.Р. М.-Л.: Геол. изд-во гл. геол.-развед. управл., 1930. 153 с.

- Кудрик И.Д. и др. Комплексная оценка качества питьевой воды Керченского полуострова в аспекте устойчивого развития региона: монография. Львов: Растр-7, 2011. – 94 с.
- Кудрик И.Д., Ошкадер А.В. Экомониторинг качества подземных вод Керченского полуострова: статья. 2014. 7 с.
- Куришко В.А., Месяц И.А., Тердовидов А.С. Гидрогеология грязевого вулканизма Керченского полуострова / Геологический журнал, №. 1. 1968 С. 49–59
- Лаврушин В.Ю. (2012). Подземные флюиды Большого Кавказа и его обрамления / Отв. ред. Б.Г.Поляк. М.: ГЕОС. 348 с.
- Маршруты Крымской учебной практики по общей геологии: учебное пособие / Под ред. Веселовского Р.В., Романовской М.А., Косевич Н.И., Гущина А.И. М.: КДУ, 2021. 215 с.
- Материалы всероссийской научной конференции «Прикладные аспекты динамической геологии», посвященной 110-й годовщине со дня рождения Г.П. Горшкова (1909-1984). Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 26-28 сентября 2019 г.
- Михно В.Б., Щепак Н.В. Анализ современной ландшафтной структуры Таманского полуострова: статья 2015 г.
- Нагалецкий Ю.Я., Нагалецкий Э.Ю., Астанин И.А. Водно-ресурсный потенциал Северо-Западного Кавказа. 2011. 5 с.
- Ошкадер А.В. Геоэкологическая оценка состояния территории Керченского полуострова при использовании подземных источников водоснабжения: Дисс-я. М. 2016. 197 с.
- Поверхностные водные объекты Крыма: справочник / Под ред. Тимченко З.В. Симферополь: Доля, 2007. – 218 с
- Подгородецкий П. Д. Крым природа: справочное издание. Симферополь: Таврия, 1988. 209 с.
- Рахманов Р.Р. Грязевой вулканизм подвижных поясов и его геотектонические позиции: Автореф. Дисс-я др-ра геол.-мин. наук. Баку, 1982. 60 с.
- РД 52.24.483-2005 «Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом».
- Тверитинова Т.Ю., Белобородова Д.Е., Грязевы вулканы в неотектонической структуре Таманского полуострова / Электронный научно-образовательный журнал «Динамическая геология», №2. М. 2020 С157-186
- Теория и практика современной аграрной науки: Сб. III национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием (г. Новосибирск, 28 февраля 2020 г.): Т.1 / Новосиб. гос. аграр. ун-т. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2020 г. – 620 с.
- СанПиН 1.2.3685-21. Санитарные правила и нормы «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
- Собисевич А.Л., Собисевич Л.Е., Тверитинова Т.Ю. О грязевом вулканизме в позднеальпийском складчатом сооружении Северо-Западного Кавказа (на примере изучения глубинного строения грязевого вулкана Шуго) / Геология и полезные ископаемые Мирового океана, № 2. 2014. С. 80–93.
- Физическая география: Учебное пособие / Под ред. Орленок В.В. Калининград. 1998. 480 с.
- Хмара Я.А., Хлебников А.Н., Ивано В.Д. и др. Минеральные ресурсы Крыма и прилегающей акватории Черного и Азовского морей //Атлас, прил. к науч.-прктич. сб. «Вопросы развития Крыма». Симферополь: Таврия – Плюс. 2001. 81 с.
- Холодов В.Н. О происхождение грязевых вулканов. М.: Геол. Инст. РАН, 2019. 24 с.
- Юдин В.В. Геодинамика Крыма: монография. Симферополь: ДИАЙПИИ, 2011. 336 с.

Юдин В.В. Геология Крыма на геодинамической основе. Симферополь: Крымская АН, 2001. 51с.

Zimmermann R.A., Amstuta G.C. The Decatur-villie sulfide breccia-a cambro-ordovician mud vulcanoe. – Chem. Erde, 1972, 31, N 3/4, p. 253–274.

### Электронные документы

Аналитпромприбор. Поставка приборов контроля. Проверка средств измерений и аттестация оборудования. Рефрактометр EXTECH RF41

URL:<https://analytprom.ru/refraktometr-extech-rf41/> (Дата обращения – 16.05.2023)

Исаева Н., Полуостров с пересохшим горлом // Новая газета. 2020.  
URL:<https://novayagazeta.ru/articles/2020/10/15/87538-poluostrov-s-peresohshim-gorlom> (Дата обращения – 19.04.2022)

Исследование содержания стабильных изотопов в воде (дейтерий, кислород-18) методом инфракрасной лазерной спектроскопии на приборе Picarro L-2120i // Научный парк СПбГУ. 2023

URL:<https://researchpark.spbu.ru/xrd-methods-rus/2276-geo-meth02-rus> (Дата обращения - 8.05.2023)

Калуцкова Н.Н., Крымский полуостров // Большая российская энциклопедия. 2020.  
URL: <https://bigenc.ru/geography/text/5870775> (Дата обращения – 28.02.2022).

Расписание погоды. Архив погоды в Керчи. URL: <https://rp5.ru> (Дата обращения – 26.02.2022)

РОСГИДРОМЕТ. Официальный сайт ФГБУ «Крымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды».

URL: [https://meteo.crimea.ru/?page\\_id=213](https://meteo.crimea.ru/?page_id=213) (Дата обращения – 25.02.2022).

Корреляционная матрица вод Керченско-Таманского региона (n=58)

	Eh	ph	ρ	S	УЭП	М-я	Ж	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Br	I	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na+K	Calcite	Aragony	δ18O, ‰	δ2H, ‰	
Eh	1,00																							
ph	-0,19	1,00																						
ρ	-0,55	-0,51	1,00																					
S	-0,40	-0,53	0,99	1,00																				
УЭП	-0,60	-0,15	0,67	0,62	1,00																			
М-я	-0,45	-0,27	0,91	0,94	0,61	1,00																		
Ж	-0,02	-0,36	0,64	0,69	0,54	0,65	1,00																	
NH <sub>4</sub>	-0,03	-0,13	0,60	0,61	0,83	0,58	0,40	1,00																
NO <sub>2</sub>	-0,28	-0,15	0,42	0,41	-0,07	0,32	-0,07	-0,08	1,00															
NO <sub>3</sub>	-0,13	0,21	0,38	0,32	-0,06	0,03	-0,01	-0,12	0,92	1,00														
Br	-0,19	-0,34	0,61	0,63	0,36	0,53	0,49	0,57	0,05	-0,04	1,00													
I	-0,54	-0,57	0,85	0,87	0,40	0,60	0,54	0,53	0,28	0,16	0,77	1,00												
Cl	-0,46	-0,27	0,90	0,96	0,59	0,94	0,64	0,62	0,43	0,08	0,30	0,40	1,00											
SO <sub>4</sub>	-0,53	-0,09	0,21	0,75	0,31	0,16	0,53	0,03	-0,08	-0,01	0,31	0,34	0,11	1,00										
HCO <sub>3</sub>	-0,58	-0,01	0,43	0,55	0,20	0,30	0,20	0,42	0,23	-0,03	0,31	0,70	0,08	0,01	1,00									
CO <sub>3</sub>	-0,11	0,13	0,16	0,46	-0,02	0,26	0,15	0,01	0,01	-0,07	0,32	0,67	0,08	-0,06	0,57	1,00								
Ca	0,12	-0,33	0,48	0,47	0,59	0,31	0,73	0,64	0,05	-0,06	0,28	0,32	0,32	0,28	-0,06	-0,14	1,00							
Mg	-0,10	-0,10	0,60	0,61	0,44	0,25	0,94	0,07	-0,10	0,01	0,40	0,49	0,19	0,99	0,08	0,25	0,28	1,00						
Na+K	-0,54	-0,23	0,93	0,97	0,67	0,95	0,60	0,64	0,46	0,07	0,40	0,58	0,92	0,33	0,34	0,25	0,43	0,41	1,00					
Calcite	-0,07	0,84	-0,15	-0,20	0,13	-0,23	-0,12	-0,11	0,03	0,10	-0,73	-0,49	-0,03	0,06	0,03	-0,05	0,09	-0,20	-0,01	1,00				
Aragony	0,06	0,37	-0,13	-0,20	-0,01	-0,34	-0,10	-0,12	-0,01	0,11	-0,70	-0,46	-0,10	0,12	-0,18	-0,35	0,12	-0,18	-0,14	0,81	1,00			
δ18O, ‰	0,33	-0,04	0,17	0,10	0,39	0,34	0,23	-0,10	0,47	-0,04	0,34	0,48	0,38	0,38	0,20	-0,03	0,30	0,21	0,38	0,15	0,04	1,00		
δ2H, ‰	0,47	-0,15	0,27	0,20	0,46	0,41	0,29	-0,05	0,44	-0,04	0,37	0,45	0,45	0,49	0,22	-0,06	0,37	0,26	0,45	0,10	0,00	0,97	1,00	

Корреляционная матрица сопочных вод Керченско-Таманского региона (n=15)

	Eh	ph	ρ	S	УЭП	М-я	Ж	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Br	I	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na+K	Calcite	Aragony	
Eh	1,00																					
ph	-0,77	1,00																				
ρ	-0,25	-0,48	1,00																			
S	0,06	0,26	1,00	1,00																		
УЭП	-0,98	0,15	0,45	0,88	1,00																	
М-я	0,40	-0,38	0,74	0,80	0,51	1,00																
Ж	0,45	-0,68	0,47	0,28	0,08	0,63	1,00															
NH <sub>4</sub>	0,92	0,32	0,83	0,86	0,99	0,15	0,51	1,00														
NO <sub>2</sub>	-0,64	0,93	0,09	0,02	-0,27	-0,20	-0,91	-0,35	1,00													
NO <sub>3</sub>	0,10	-0,05	0,29	0,06	-0,32	0,04	-0,40	-0,34	0,98	1,00												
Br	0,61	-0,42	0,18	0,23	0,30	0,79	0,56	0,48	-0,37	-0,20	1,00											
I	0,18	-0,67	0,24	0,28	0,69	0,64	0,48	0,71	-0,59	-0,60	0,71	1,00										
Cl	0,21	-0,28	0,86	0,98	0,55	0,84	0,39	0,34	0,14	0,22	0,29	0,25	1,00									
SO <sub>4</sub>	-0,58	-0,12	0,57	0,62	0,55	0,12	0,27	-0,15	-0,51	-0,09	0,61	0,92	0,14	1,00								
HCO <sub>3</sub>	-0,57	0,12	-0,45	-0,58	-0,15	-0,67	-0,26	-0,05	-0,23	-0,15	-0,37	-0,16	-0,81	-0,26	1,00							
CO <sub>3</sub>	0,73	0,33	-0,72	-0,75	-0,41	-0,45	-0,01	-0,55	-0,57	-0,47	-0,37	-0,13	-0,50	-0,49	0,00	1,00						
Ca	-0,71	-0,30	0,91	0,93	0,82	0,41	0,28	0,65	-0,07	0,02	0,37	0,53	0,68	0,27	-0,54	-0,65	1,00					
Mg	0,54	-0,12	0,17	-0,28	-0,31	0,10	0,89	-0,16	-0,84	-0,41	0,38	0,16	0,11	0,99	-0,23	0,27	0,22	1,00				
Na+K	-0,13	-0,27	0,88	0,98	0,65	0,67	0,28	0,32	0,19	0,27	0,15	0,20	0,86	0,58	-0,66	-0,61	0,72	0,55	1,00			
Calcite	-0,38	0,93	0,00	0,43	0,28	-0,40	-0,44	0,11	0,27	0,03	-0,80	-0,50	0,07	-0,29	0,19	0,04	0,17	-0,53	0,23	1,00		
Aragony	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1

Корреляционная матрица подземных вод Керченско-Таманского региона (n=33)

	Eh	ph	p	S	УЭП	М-я	Ж	NH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>3</sub>	Br	I	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	Ca	Mg	Na+K	Calcite	Aragony	δ18O, ‰	δ2H, ‰	
Eh	1.0																							
ph	-0.3	1.0																						
p	-0.3	-0.4	1.0																					
S	-0.4	-0.3	1.0	1.0																				
УЭП	-0.4	-0.4	1.0	1.0	1.0																			
М-я	-0.1	-0.3	0.9	0.9	0.9	1.0																		
Ж	0.4	-0.3	0.8	0.6	0.7	0.8	1.0																	
NH <sub>4</sub>	0.2	-0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0																
NO <sub>2</sub>	-0.7	-0.5	0.6	0.7	0.7	0.5	0.2	0.2	1.0															
NO <sub>3</sub>	0.1	-0.2	0.4	0.0	0.4	0.4	0.5	-0.1	0.1	1.0														
Br	-0.7	-0.3	0.7	0.8	0.7	0.5	0.0	-0.1	0.9	0.1	1.0													
I	-0.7	-0.3	0.7	0.7	0.5	0.3	0.1	-0.1	0.9	0.1	0.9	1.0												
Cl	-0.3	-0.3	0.9	0.9	0.9	1.0	0.7	0.0	0.5	0.4	0.5	0.3	1.0											
SO <sub>4</sub>	-0.3	0.1	0.3	0.8	0.3	0.3	0.6	-0.1	0.5	0.4	0.5	0.3	0.2	1.0										
HCO <sub>3</sub>	-0.2	-0.2	0.8	0.3	0.7	0.7	0.7	0.0	0.4	0.4	0.2	0.2	0.6	0.3	1.0									
CO <sub>3</sub>	-0.1	0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.2	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	0.0	-0.1	-0.1	-0.1	1.0								
Ca	0.4	-0.4	0.6	0.5	0.6	0.6	0.9	0.3	0.3	0.4	0.0	0.1	0.5	0.5	0.4	-0.2	1.0							
Mg	0.3	-0.2	0.8	0.6	0.8	0.8	1.0	0.0	0.1	0.4	0.1	0.1	0.7	0.6	0.6	-0.2	0.8	1.0						
Na+K	-0.3	-0.3	0.9	0.9	0.9	1.0	0.7	0.0	0.5	0.4	0.5	0.4	1.0	0.2	0.7	-0.1	0.5	0.8	1.0					
Calcite	-0.1	0.8	-0.1	-0.2	0.0	0.0	0.2	-0.3	-0.3	0.0	-0.3	-0.3	0.0	0.3	0.2	-0.1	0.1	0.2	0.0	1.0				
Aragony	0.0	0.6	-0.2	-0.4	-0.1	0.0	0.1	-0.5	-0.4	0.0	-0.3	-0.3	-0.1	0.3	0.2	0.1	0.0	0.1	-0.1	0.7	1.0			
δ18O, ‰	0.5	-0.1	0.2	0.2	0.4	0.4	0.3	-0.1	0.5	0.0	0.3	0.5	0.4	0.4	0.2	0.0	0.3	0.2	0.4	0.1	0.0	1.0		
δ2H, ‰	0.7	-0.2	0.3	0.3	0.5	0.4	0.3	-0.1	0.5	0.0	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3	-0.1	0.4	0.3	0.5	0.1	0.0	1.0	1.0	