

Санкт-Петербургский государственный университет

Попова Ксения Леонидовна

Выпускная квалификационная работа

**ФОРМИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ЖИДКОЙ ФАЗЫ
ГРЯЗЕВЫХ ВУЛКАНОВ ВОСТОЧНОГО КРЫМА**

Основная образовательная программа бакалавриата
«Геология»
Профиль «Гидрогеология и инженерная геология»

Научный руководитель:
старший преподаватель
кафедры гидрогеологии
Каюкова Елена Павловна

Рецензент:
д.г.-м.н., кандидат географических наук,
профессор, академик Крымской Академии наук
Юровский Юрий Георгиевич

Санкт-Петербург
2018

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение..... | 3 |
| Глава 1. Физико-географический очерк..... | 4 |
| 1.1. Общие сведения..... | 4 |
| 1.2. Климат..... | 5 |
| 1.3. Гидрография..... | 6 |
| 1.4. Геоморфология..... | 6 |
| Глава 2. Геологическое строение Керченского полуострова..... | 8 |
| Глава 3. Гидрогеологические условия Керченского полуострова..... | 10 |
| Глава 4. Грязевой вулканизм..... | 13 |
| Глава 5. Опробование. Методы анализа..... | 18 |
| Глава 6. Результаты исследования..... | 21 |
| Заключение..... | 29 |
| Список использованной литературы..... | 30 |

Введение

Грязевой вулканизм – проявление процессов, происходящих в недрах нефтегазоносных осадочных бассейнов, приуроченных к предгорным и межгорным впадинам молодых подвижных поясов. Его продуктами являются обломки разнообразных горных пород, глинистые брекчии, илистая пульпа и газо-водные грязевулканические флюиды.

О природе грязевого вулканизма единого мнения нет. Одни исследователи связывали его с глубинным магматизмом и разгрузкой абиогенных углеводородов. Другие отстаивали органическое происхождение преобладающего в газах грязевулканических флюидов метана и нефти, которые генерируются в осадочных породах, содержащих органическое вещество. Разница во мнениях возникала из-за недостатка комплексных геохимических исследований и отсутствия ясных критериев ювенильности выносимого из недр вещества, которая представляет одну из главных общегеологических проблем.

Целью данной работы является изучение закономерностей формирования химического и изотопного состава жидкой фазы грязевых вулканов Керченского полуострова.

Задачи:

- Анализ опубликованных данных.
- Взятие проб грязевой составляющей из сопок Булганакского и Тарханского вулканов на химический и изотопный анализ.
- Проведение химического и изотопного анализа рассолов грязевых вулканов; освоение методики проведения химического и изотопного анализа природных вод с повышенной минерализацией.
- Анализ гидрохимического и изотопного состава рассолов грязевых вулканов Керченского полуострова; сравнение их с данными Таманского полуострова.

Глава 1. Физико-географический очерк

1.1. Общие сведения

Керченский полуостров расположен в восточной части Крыма. Географические координаты $45^{\circ}15'$ с.ш. и $36^{\circ}00'$ в.д. Протяженность с севера на юг от 17 до 50 км, с запада на восток около 90 км. Площадь до 3000 км^2 . Полуостров омывается на юге Черным морем, на севере – Азовским морем (Рис.1). На западе полуостров соединён с остальным Крымом Акманайским перешейком шириной около 17 км. Наивысшие точки Керченского полуострова - гора Пихбопай (189 м), гора Опук (184 м) и гора Хрони (175 м).

В комплексе природных богатств Крыма заметное место принадлежит минеральным ресурсам, это месторождения природного газа, нефти, железных руд, флюсовых и строительных известняков, мергеля, глин, суглинков, песка и песчано-гравийной смеси, изверженных горных пород, поваренной соли, солей брома и магния, пресных, минеральных и термальных подземных вод, рапы соляных озер, лечебной грязи, бентонита и других полезных ископаемых. Кроме перечисленных полезных ископаемых в Крыму известны рудо- и минералопроявления цеолитов, серы, угля, графита, бокситов, ртути, золота, полиметаллов, йода, бора, стронция, минеральных красок (сидерита), песчаника, яшмы, агата, горного хрусталя и других минеральных образований (Хмара и др., 2001).



Рис. 1. Обзорная карта Крымского полуострова (Муратов, 1973).

1.2.Климат

Климат Керченского полуострова умеренно-континентальный. Среднегодовая температура воздуха +11°С. Лето жаркое, знойное. Абсолютный максимум температур июля находится в интервале 35-40°С. Зима влажная, довольно холодная и ветреная. Абсолютный минимум января находится в интервале – 25-30°С (табл. 1).

В течение почти всего года над Керченским полуостровом преобладают северо-восточные и восточные ветры. Средняя месячная скорость ветра в течение года 3-7 м/с, причем в холодный период она больше, чем в теплый. Летом ветры со скоростью 17 м/с и более отмечаются при прохождении холодных фронтов. Чаще всего они носят шквалистый характер и сопровождаются грозами и ливнями. Бризы в теплое время года наблюдаются на всем побережье полуострова. Средняя скорость морского бриза 3-4 м/с.

Годовое число дней с туманами колеблется от 30 до 55. Наибольшая повторяемость туманов отмечается с октября по апрель. С мая по август туманы редки. Годовое количество осадков 300-400 мм. Зимой преобладают осадки обложного характера, а летом ливневого.

Таблица 1

Температура воздуха и атмосферные осадки Керчи (Погода..., 11.09.2017)

| Период | Температура | | Осадки | | |
|----------|------------------|---------------------|--------|------------------|-------------------|
| | Абсолют. минимум | Абсолютный максимум | Норма | Месячный минимум | Месячный максимум |
| Январь | -23.7 (2006) | 15.6 (2007) | 33 | 3 (1964) | 88 (1963) |
| Февраль | -23.1 (1954) | 17.5 (1995) | 32 | 2 (1976) | 84 (1955) |
| Март | -15.6 (1985) | 23.4 (1952) | 34 | 1 (1986) | 76 (1998) |
| Апрель | -6.5 (1965) | 27.6 (2012) | 32 | 0,0 (1971) | 86 (1997) |
| Май | -0.6 (1971) | 30.6 (2007) | 30 | 0,0 (1947) | 172 (1973) |
| Июнь | 3.4 (1958) | 34.9 (1963) | 55 | 0,0 (2007) | 190 (2006) |
| Июль | 9.9 (1993) | 37.7 (2016) | 36 | 0,0 (1996) | 219 (1955) |
| Август | 7.5 (1970) | 37.2 (1998) | 49 | 0,0 (1949) | 203 (2002) |
| Сентябрь | 1.0 (1956) | 35.5 (2015) | 38 | 1 (2012) | 156 (2002) |
| Октябрь | -5.4 (1959) | 30.9 (1999) | 29 | 0,8 (2012) | 108 (1950) |
| Ноябрь | -11.8 (1999) | 22.7 (2001) | 45 | 0,3 (1996) | 90 (1981) |
| Декабрь | -17.6 (1946) | 19.4 (2008) | 44 | 1 (1972) | 100 (1957) |
| Год | -23.7 (2006) | 37.4 (1971) | 457 | 243 (1951) | 700 (1955) |

1.3. Гидрография

На Керченском полуострове гидрографическая сеть слабо развита и представлена маловодными и сухими балками. Северо-восточная часть полуострова характеризуется большим развитием сети балок, юго-восточная часть имеет очень разреженную систему неглубоких балок. Самые значительные из них: балка Самарли, балка Сарай-Минская, а также р. Мелек-Чесме (Гидрогеология..., 1970). Когда-то реки восточного Крыма были полноводны, о чем говорят сохранившиеся надпойменные террасы. Отсутствие рек с постоянным поверхностным стоком объясняется недостатком увлажнения.

1.4. Геоморфология

На Керченском полуострове выделяется два геоморфологических района.

1. Район юго-западной слабоволнистой эрозионно-денудационной равнины, очерченный с севера и востока Парпачским гребнем, его высота в среднем составляет 80-150 м, в структурном отношении отвечает восточному периклинальному замыканию Крымского мегантиклинория. Развитые здесь олигоценые глины на протяжении длительного времени находились под воздействием эрозионно-денудационных процессов и были подвержены значительному размыву. Это и привело к появлению рельефа, имеющего облик сглаженной денудационной равнины, более древняя эрозионно-денудационная поверхность которой покрыта чехлом суглинистых четвертичных отложений.

Поверхность равнины расчленена неглубокими, широкими балками с пологими склонами, постепенно сливающимися со склонами водоразделов. Главный водораздел, разделяющий площади водосборов балок южного и северного направлений, смещен к югу от Парпачского гребня. Отдельные возвышенности (Таутепе, Дюрмень), относительно высоко (до 60-80 м) приподнятые над поверхностью равнины, являются останцовыми и своим происхождением обязаны сохранившимся здесь от размыва более твердым породам. Однообразие равнины нарушают также замкнутые блюдцеобразные понижения – коли, в которых периодически образуются небольшие соляные озера. В прибрежной зоне равнины у мыса Чауда и восточнее его развиты морские четвертичные террасы (Гидрогеология..., 1970).

2. Район северо-восточной эрозионно-денудационной холмистой равнины сформирован в связи с развитием молодой палеоген – неогеновой мелкой складчатости. Равнина расчленена речными долинами с развитой в них только пойменной террасой и балками. Характерной чертой данного района является развитие инверсионного

рельефа. Ядра многих антиклинальных складок размыты и представляют собой понижения местности. Их окружают выступающие в рельефе положительные формы - кольцеобразные, эллиптические, скалистые гребни, сложенные плотными и твердыми миоценовыми песчаниками, мшанковыми и рифовыми известняками. Некоторые возвышенности соответствуют синклинальным структурам, сохранившимся от эрозионного размыва. Северо-восточная холмистая часть Керченского полуострова по сравнению с юго-западной обладает и более значительным горизонтальным и вертикальным расчленением.

Прибрежная зона северо-восточной равнины характеризуется развитием морских четвертичных террас, озерных котловин, лиманов в устьях балок (оз. Тобечик, оз. Чокрак), абразионных останцов-кекуров (район г. Опук, мысов Зюк и Казантипа) и оползней (район мыса Такил).

Около 80% протяженности берегов Керченского полуострова относится к абразионному типу и подрезается морем. Эти обрывистые берега с узкими пляжами находятся в стадии выравнивания. Аккумулятивные берега расположены у вершин бухт и заливов. Для них характерны широкие песчано-ракушечные пляжи (20-40 м) и пересыпи (100-200 м). Пересыпи отделяют от моря соляные озера Аджиголь, Кояшское, Качик и Узунларское ([Гидрогеология..., 1970](#)).

Глава 2. Геолого-гидрогеологическое строение Керченского полуострова

2.1. Геологическое строение Керченского полуострова

Юго-западная часть Керченского полуострова сложена отложениями майкопской серии; в них развиты складки, группирующиеся в антиклинальные зоны почти широтного направления. В каждой зоне антиклинальные складки располагаются кулисообразно. Они представляют собой брахиантиклинали диапирового типа, угол падения пород в которых возрастает от крыльев к оси, где породы часто залегают вертикально и перемяты. Складки отличаются продольной асимметричностью. В наиболее приподнятых частях складок часто располагаются вдавленные синклинали, сложенные неогеновыми известняками и песчаниками, а также сопочными отложениями. Их образование связано с длительной деятельностью подводных грязевых вулканов. На востоке по линии с. Марьевка - г. Опук складчатая система юго-западной равнины погружается, в связи с чем Парпачский гребень круто поворачивает на юг и заканчивается у Черного моря. Формирование складок юго-западной равнины завершилось в начале миоцена (Гидрогеология..., 1970).

В северной и восточной Запарпачской части Керченского полуострова, сложенной неогеном, антиклинальные складки также группируются в зоны. Антиклинальные складки северной части полуострова простираются так же, как и Парпачский гребень, в широтном направлении, продолжаясь на востоке в северную часть Таманского полуострова. Складки юго-восточной части полуострова имеют северо-восточное простирание. Антиклинали Запарпачской части также диапировые. Сводовые части складок осложнены вдавленными синклиналями. Крупные вдавленные синклинали весьма усложняют антиклинальные поднятия, расщепляя их с образованием дочерних шарнирных перегибов. Особенно усложнена северная антиклинальная зона Чегене - Еникале. Синклинальные структуры представляют собой обширные плоские мульды, соединяющиеся между собой. Они выполнены отложениями мэотиса, плиоцена и четвертичными суглинками. Крупнейшими мульдами являются Чегерчинская, Керченская, Яныштакильская и др. В Запарпачской части полуострова имеется много действующих грязевых вулканов. Формирование Запарпачских складок происходило длительное время еще в период седиментации, так как в сводах поднятий фации неогена более мелководные, чем в синклиналях, и в них часто наблюдаются перерывы (Рис. 2) (Гидрогеология..., 1970).

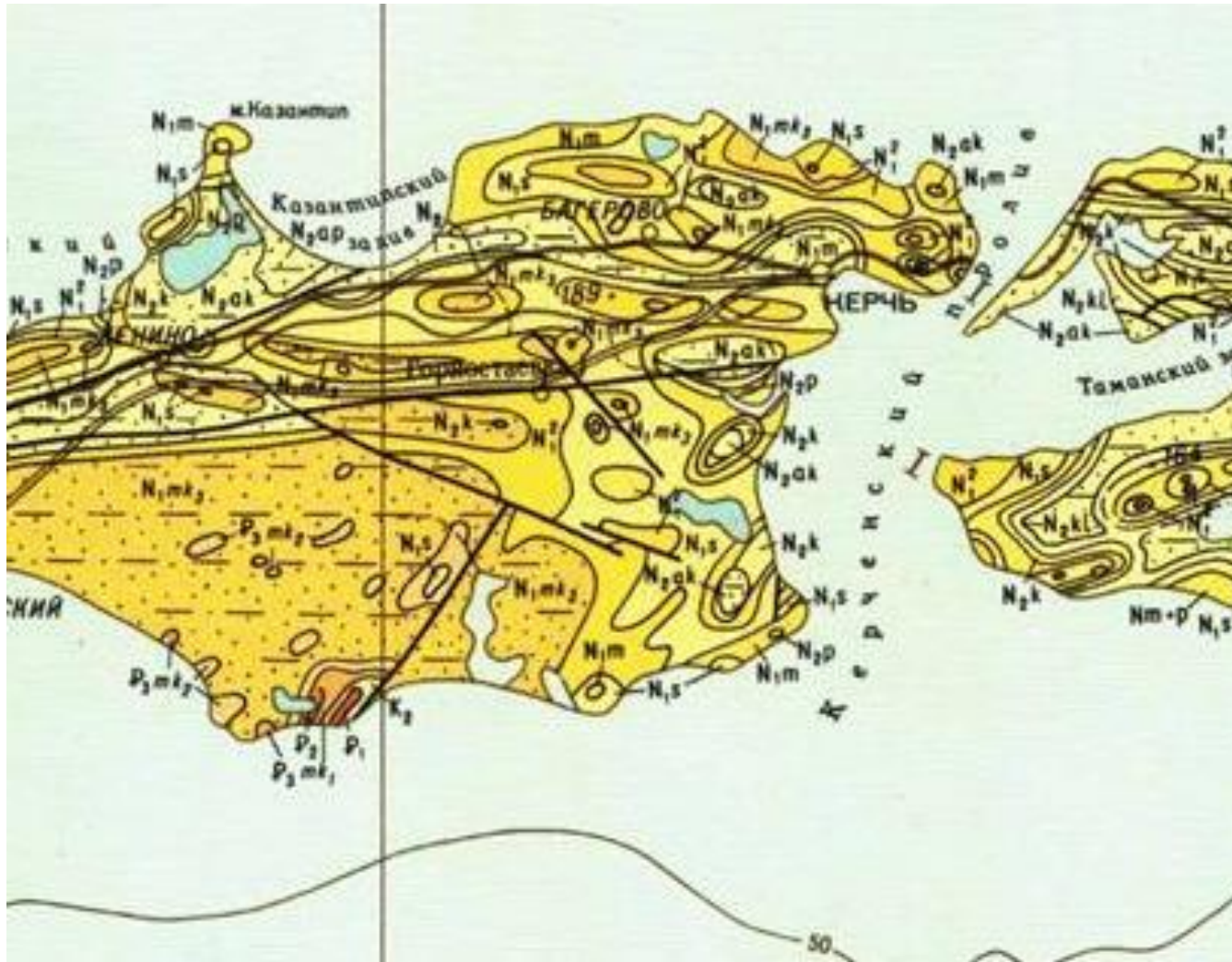


Рис. 2. Схема геологического строения Керченского полуострова (Государственная..., 15.10.17)

| | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|--|---|
| СИСТЕМА ПЛИОЦЕН | N ₂ | Толща континентальных песков, анкагельский и апшеронский ярусы (N _{2a} -N _{2b}) – глины, суглинки, погорбленные почвы, глинистые мергели; киммерийский и кюялицикий ярусы (N _{2k} -N _{2l}) – пески, глины с прослоями конгломератов | |
| | N _{2op} | Апшеронский ярус – пески, глины, суглинки, галечники, алевролиты | |
| | N _{2ok} | Анкагельский ярус – глины, пески, конгломераты, суглинки | |
| | N _{2kl} | Кюялицикий ярус – пески, глины с прослоями конгломератов | |
| | N _{2k} | Киммерийский ярус – пески, глины | |
| | N _{2p} | Понтийский ярус – известняки ракушечные, глины, пески, мергели | |
| | N ₁₋₂ | Миоцен – нижний плиоцен. Толща вострых гипсоносных глин; изотический и понтийский ярусы (N _{1a} -N _{1b}) – глины, известняки, конгломераты; сарматский, мютицкий и понтийский ярусы (N _{1c} -N _{1d}) – глины, известняки, пески, известняки | |
| | N ₁₋₃ | Средний и верхний миоцен – известняки, песчаники, глины, конгломераты, мергели | |
| | N _{1s-m} | Сарматский и изотический ярусы – глины с прослоями мергелей, известняков, песков, конгломератов | |
| | N _{1m} | Мютицкий ярус – известняки, пески, песчаники, глины | |
| | N _{1s} | Сарматский ярус – пески, глины, мергели, верхнесарматский подъярус (N _{1s1}) – пески, песчаники, мергели, глины, конгломераты; средне- и верхнесарматский подъярус (N _{1s2}) – известняки, мергели, глины, пески; среднесарматский подъярус (N _{1s3}) – пески, глины, известняки, мшанковые песчаники; нижне- и среднесарматский подъярус (N _{1s4}) – глины, мергели, пески, известняки; нижне-сарматский подъярус (N _{1s5}) – глины, мергели, пески, известняки | |
| | НЕОГЕНОВАЯ СИСТЕМА МИОЦЕН | N _{1pl} | Полтавская свита – пески, глины |
| N _{1g-l} | | Гельветский и торгонский ярусы – глины, мергели, известняки, пески | |
| N ₁ ² | | Средний миоцен (тарханский, чокракский, караганский и конкинский горизонты) – глины, пески, песчаники, известняки и мергели | |
| N _{1mk2} | | Верхнемайкопская подсерия – глины, алевроиты, пески | |
| P _{3-N₁} | | Палеогеновая система, олигоцен – неогеновая система, нижний миоцен (майкопская серия) – глины, пески, сидеритовые конкреции | |
| ПАЛЕОГЕНОВАЯ СИСТЕМА ОЛИГОЦЕН | | P | Нерасчлененные отложения – мергели, глины, песчаники |
| | | P ₃ | Глины с прослоями мергелей и песков, песчаники, конгломераты |
| | | P _{3mk2} | Среднемайкопская подсерия – глины, песчанистые |
| | | P _{3mk1} | Нижнемайкопская подсерия – глины с прослоями песков, песчаников |
| | | P _{3hr} | Харьковская свита – пески |
| | | P ₁₋₂ | Палеоцен и эоцен – известняки, мергели, глины |
| | | ПАЛЕОЦЕН | P ₂ |
| | P _{2k} | | Киевская свита – мергели, пески, глины |
| | P _{1-P₂sd} | | Палеоцен – эоцен, буцкая свита – пески |
| | P ₁ | | Мергели, песчаники, известняки |
| | P _{1k} | | Качинский ярус – мергели, песчаники |

2.2. Гидрогеологические условия Керченского полуострова

2.2.1. Районирование

В соответствии с гидрогеологическим районированием Н.И. Толстихина на территории Крыма выделяются артезианские бассейны платформ, артезианские бассейны складчатых областей и горноскладчатые области.

Гидрогеологическое районирование Крыма сводится к выделению гидрогеологических элементов на основе их геоструктурного положения (рис. 3)

На территории Крымского полуострова выделяется четыре провинции подземных вод: Провинция А – юго–восточная часть Причерноморского артезианского бассейна; Провинция Б – западная часть Приазовского артезианского бассейна; Провинция В – складчатая система Керченского полуострова; Провинция Г – складчатая система Горного Крыма.

Провинция Керченского полуострова рассматривается как область малых артезианских бассейнов, сформировавшихся в плиоценово–верхнемиоценовых отложениях. Площади, разделяющие малые артезианские бассейны и характеризующиеся отсутствием водоносных горизонтов, которые могут быть использованы для эксплуатации, образуют здесь гидрогеологический район третьего порядка. (Гидрогеология..., 1970).



Рис. 3. Гидрогеологическое районирование Крымского полуострова

2.2.2. Условия питания и стока подземных вод

Керченский полуостров по гидрогеологическим условиям разделяется на две части: юго-западную и северо-восточную (Рис. 4). В юго-западной части воды, приуроченные к песчаным прослоям в верхней части толщи майкопских глин, получают питание за счет атмосферных осадков.

Северо-восточная часть полуострова представлена рядом разобщенных миниатюрных артезианских бассейнов, приуроченных к отдельным синклиналям. Основание бассейнов - мощная толща пород майкопа. Питание подземных вод среднемиоценовых, сарматских и других отложений происходит на крыльях синклиналей (местные области питания) и в пределах Парпачского гребня (область питания среднемиоценового водоносного комплекса). Микрорельеф на крыльях мульд представлен чередованием мелких бугров и впадин. Естественный рельеф осложнен большим количеством заброшенных выемок, штолен, карьеров. Это создает благоприятные условия для инфильтрации атмосферных вод. От крыльев по падению пластов известняки погружаются под покровные четвертичные суглинки и пески, переходящие в глины. Здесь поверхность ровная, задернованная, имеет слабые уклоны в сторону ближайших балок. Соответственно и инфильтрующая способность быстро уменьшается, падая до нуля у границы плиоценовых глин. Площади областей питания водоносных горизонтов по сравнению с площадями их распространения в пределах отдельных бассейнов чрезвычайно малы (Гидрогеология..., 1970).

Скорости движения вод, подсчитанные О. Е. Фесюновым для мэотического водоносного комплекса некоторых мульд, быстро уменьшаются от областей питания к погруженным частям комплекса. Естественная разгрузка подземных вод из синклиналей происходит частично в Азовское море и Керченский пролив. Подземный поток Маяк-Салынской мульды разгружается в Азовское море на северо-восточном побережье Казантипского залива через четвертичные морские пески. Частично воды мэотиса разгружаются через глинистую кровлю в вышележащие пески понта. В Керченской мульде в настоящее время весь поток разгружается искусственно через водозаборные скважины (Гидрогеология..., 1970).

2.2.3. Зональность подземных вод

Весьма специфичны условия формирования подземных вод Керченского полуострова. Зона свободного водообмена здесь практически полностью отсутствует. В юго-западной части полуострова это связано с тем, что на дневную поверхность выходят майкопские глинистые водоупорные отложения. В мульдах северо-восточной части полуострова воды всех стратиграфических горизонтов неогена имеют минерализацию от 3 до 10 г/л и более, что свидетельствует о длительном соприкосновении их с водовмещающими породами. Только в краевых частях микробассейнов, вблизи областей питания, в мезотических отложениях наблюдается более активный водообмен (Камыш-Бурунская, Керченская и Баксинская мульды). Граница зоны замедленного водообмена проводится здесь условно по отложениям майкопа и даже среднего миоцена.

Условия формирования химического состава вод неогеновых отложений Керченского полуострова не совсем ясны. Кроме выщелачивания пород, обогащенных остаточным морским солевым комплексом и органическими веществами, здесь не исключено влияние захороненных морских вод. Этим определяется содержание в водах брома и йода. На формирование вод среднемиоценового комплекса оказала влияние деятельность грязевых вулканов. Наиболее сильно этот фактор сказался на формировании химического состава вод Баксинской мульды, возникновение и развитие которой обусловлено деятельностью древнего грязевого вулкана, отложившего в мульде мощную (более 300 м) толщу сопочных брекчий (Гидрогеология..., 1970).

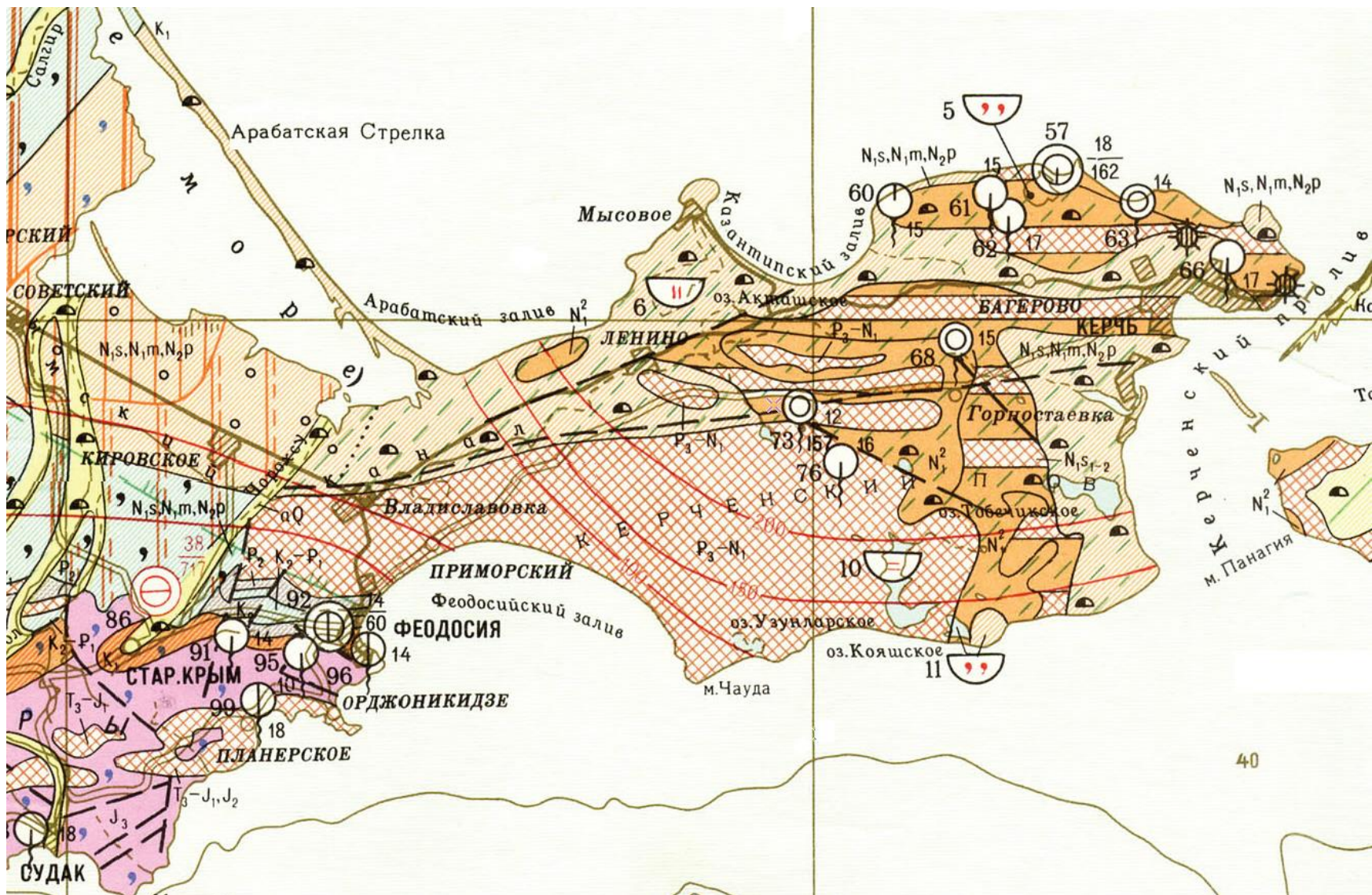


Рис. 4. Схема гидрогеологического строения Керченского полуострова, (лист L-36, ВСЕГЕИ, 1983)

Условные обозначения:

Водоносные горизонты и комплексы:

- aQ песчаные аллювиальные отложения (aQ); N_{2p} пески, известняки, песчаники (N_{2p});
- N_{1s}, N_{2p} известняки, пески (N_{1s}, N_{2p}); N_{1s}, N_{1m}, N_{2p} пески, известняки, песчаники (N_{1s}, N_{1m}, N_{2p});
- N_{1²} пески, песчаники, известняки (N_{1²}); Pg, N пески, песчаники, известняки (Pg, N);
- K₂ пески, песчаники, мергели (K₂); Pg₁, Pg₂ карбонаты и терригенные породы (Pg₁, Pg₂);
- K₂-Pg₁ известняки (K₂-Pg₁).

Трещинно-жильные подземные воды:

- K₂ карбонатные и терригенные отложения (K₂); J₂ карбонатные отложения (J₂)

Водоупорные породы: N_{1s}, N_{1m}, N_{2p} глины, мергели, глинистые сланцы (N_{1s}, N_{1m}, N_{2p});

- K₂-Pg₁ первый от поверхности водоносный комплекс, залегающий под водоупорными породами

Воды пестрые по ионному составу и степени минерализации с максимальной минерализацией:



Источники и скважины с минеральной водой:



Основные типы минеральных вод:

- ☉ ☉ Углекислые; ☉ ☉ Азотные; ☉ ☉ Сероводородные; ☉ ☉ Метановые.
- ☹ Минеральные (соляные) озера.
- ☞ Граница гидротермического пояса

Условные обозначения к рисунку 4

Глава 3. Грязевой вулканизм

Грязевой вулкан – эруптивный аппарат газового вулканизма, выбросы которого (твердые обломки, газы, вода, брекчия) чаще всего образуют положительные формы рельефа, иногда впадины, заполненные жидкой грязью. Грязевые вулканы достаточно значительны по своим размерам – не менее сотен метров. Грязевыми сопками (сальзами) называются мелкие грязевые вулканы. На сопках развиваются мелкие вторичные эруптивные аппараты – грифоны. Чаще всего вулканы располагаются группами, имеющими общий глубинный эруптивный очаг. Группу вулканов или сальз называют грязевулканическим очагом. На рисунке 5 изображены морфологические элементы грязевых вулканов.

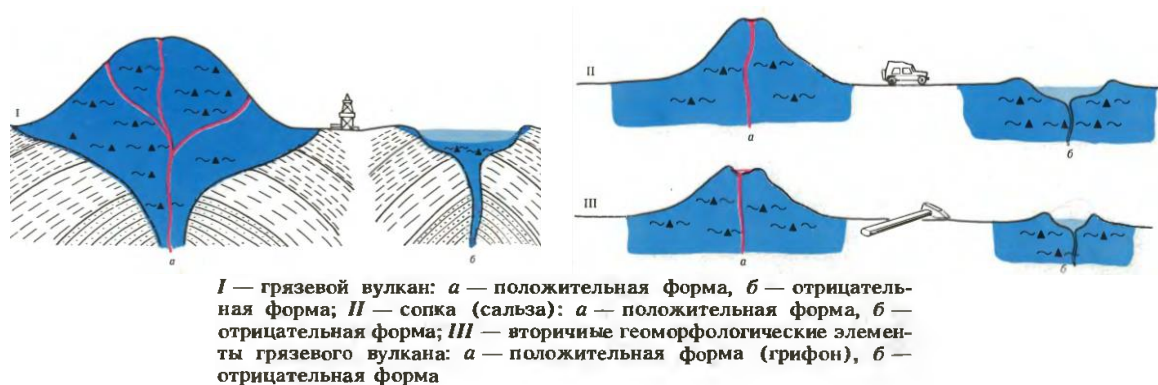


Рис. 5. Основные геоморфологические элементы грязевых вулканов (Шнюков и др., 1986)

Грязевулканические проявления следует воспринимать в их геологическом развитии, понимая современный срез как характеристику наблюдаемого момента геологической истории грязевулканического очага. Нередко этот очаг уже не функционирует и фиксируется только по ископаемым сопочным отложениям. Вся масса сопочных отложений образует сопочное поле. Ископаемая кальдера оседания, заполненная толщей осадочных пород, получила местное название «вдавленной синклинали».

Для грязевых вулканов свойственны и другие морфологические признаки. Так, на аэрофотоснимках отчетливо видны значительные по размерам кольцевые структуры. Они образуются при катастрофических извержениях грязевых вулканов, сопровождающихся землетрясением.

Склоны грязевых сопкок часто изрезаны глубокими промоинами – барранкосами, на дне которых накапливается обломочный материал. Для сопочных полей характерны белые пятна выцветов (галоиды, минералы бора и др.), черные нефтяные пятна и потоки.

Существуют подводные грязевые вулканы. Приурочены они к диапировым структурам и могут служить признаком нефтегазоносности данного участка шельфа. Извержения этих вулканов часто приводят к образованию островов, которые быстро размываются волнами. На их месте накапливается обломочный материал. Обломки обрастают водорослями и ракушкой, образуются подводные морские банки грязевулканического происхождения. Например, Темрюкская и Голубицкая банки в Азовском море.

Грязевые вулканы образуются в условиях благоприятной тектонической обстановки, прежде всего это диапировые структуры, глинистая толща – подушка, способствующая возникновению высоких давлений газов в недрах, система разрывных нарушений, облегчающих прорыв газов через осадочную толщу, водоносные горизонты (Шнюков и др., 1986).

Общей чертой для Керченского полуострова является наличие грязевых вулканов, особенно распространенных в районе северо-восточной равнины и приуроченных к антиклинальным структурам (рис.5). По морфологии их можно разделить на две группы. К первой относятся грязевые вулканы, у которых конусы имеют очень пологие склоны, а кратер представляет собой небольшое озеро, заполненное жидкой грязью. Во вторую группу входят грязевые вулканы с крутыми конусами высотой от нескольких десятков сантиметров до нескольких метров (Гидрогеология..., 1970).

Современным грязевым сопкам Керченского полуострова свойственна невысокая водообильность. Как правило, вода расходуется на испарение или грязевые грифоны извергают жидкую грязь, которая разливается тонким слоем, и при высыхании ее образуется такыр. При поступлении новых порций воды и ее испарении на поверхности такыра образуется рыхлая белая корка толщиной до 5 см. Минерализация сопочных вод увеличивается (до 110 г/л) в застойных условиях малоактивного грифона. При нивальной концентрации сопочных вод происходит садка борного минерала улексита (Булганакское поле) (Куришко и др., 1968).



А



Б



В



Г



Д



Е

А-сопка Андрусова (т.н. 41-17); Б - сопка Вернадского (т.н. 45-17);
В-грифон Цветочек (т.н. 57-17); Г- сопки вулкана Шилова (т.н. 60-17);
Д-озеро Ольденбургского (т.н. 46-17); Е-вулкан Обручева (т.н. 48-17).

Рис. 6. Грязевые сопки Булганакского и Тарханского вулканов (фото Е.П. Каюковой, 2017)

Глава 4. Опробование и методы анализа

4.1. Полевое опробование

В период летней производственной практики в Крыму проводилось опробование грязевых вулканов Восточного Крыма. Первые два дня была подготовка к опробованию: подготовка карты места опробования, тары для взятия проб, проводилась тарировка измерительных приборов и т.д. Следующие два дня было само опробование. В первый день взятие проб проводилось на Булганакском поле, во второй – на Тарханском (рис. 6). На рисунке 7 представлена фактическая карта полевого опробования грязевых сопки Булганакского и Тарханского полей летом 2017 г.

Опробование осуществлялось группой из 4-х человек. Основная маршрутная пара: К. Попова и Б. Чадромцев.

Кроме сопочных вод в рамках полевых экскурсий по Керченскому полуострову были опробованы некоторые другие водные объекты (источники, колодцы, поверхностные воды и т.п.). Они также представлены на карте полевого опробования (рис. 7). В приложении 1 приведены описания всех грязевых сопки и водных объектов, используемых в данной работе.

На точке опробования измерялись координаты с помощью GPS-приемника, проводилось описание вулкана (или другого водного объекта) в полевом дневнике и по возможности отбирались пробы в бутылки. Приклеивалась этикетка с номером пробы, датой и местом опробования. Непосредственно у объекта измерялись: температура жидкости и Eh (рис. 8).

A



Б



В



Рис. 7. Фактическая карта полевого опробования грязевых сопок и других водных объектов Керченского полуострова

А – Булганакское и Тарханское поле; **Б** – Караларская область; **В** – Юго – восток Керченского полуострова

В стационарной лаборатории базы СПбГУ в Трудолобовке пробы были отфильтрованы и проведен некоторый химический анализ: определение рН, карбонатов и гидрокарбонатов, хлора, жесткости. Остальной анализ: сульфаты, бром и йод, УЭП (удельная электропроводность), натрий - был сделан осенью в Санкт-Петербурге в химической лаборатории кафедры гидрогеологии под руководством Суминой Наталии Игоревны. Всего было исследовано 39 проб, которые включали 23 пробы рассолов грязевых вулканов, 5 проб из источников, 4 пробы из скважин, по 2 пробы из колодцев и озер, 2 пробы воды из под крана и 1 проба из ставка с. Бондаренково, а также по 1 пробе из болота, родника и ручья. Все пробы были отданы в Ресурсный центр СПбГУ «Методы анализа состава вещества» на определение микроэлементов и в Ресурсный центр «Рентгенодифракционные методы исследования» на определение изотопного состава.



Рис. 8. Опробование грязевых вулканов (фото Е. П. Каюковой, 2017)

4.2. Методы химического анализа

В работе были использованы различные методы определения химических элементов в водных пробах.

4.2.1. Титриметрический анализ

Методы объемного анализа предусматривают взаимодействие исследуемого компонента с реактивом, который добавляется в виде раствора определенной концентрации (титрующий раствор) до того момента, когда количество прибавленного реактива не станет эквивалентно количеству определяемого компонента в растворе. Этот процесс называется титрованием, а момент титрования, когда количество прибавленного титранта химически эквивалентно количеству титруемого вещества, называется точкой эквивалентности. Конец титрования обычно устанавливают по изменению цвета индикатора, то есть вещества, которое изменяет свою окраску при концентрациях реагирующих веществ, близких к точке эквивалентности. Индикатор и условия титрования выбирают так, чтобы точка титрования индикатора совпадала с точкой эквивалентности или была возможно ближе к ней (Никаноров, 2001).

Методы титрования:

Метод нейтрализации основан на использовании реакций нейтрализации кислот, оснований, солей слабых кислот или слабых оснований, сильно гидролизующихся в водных растворах, разнообразных неорганических и органических соединений, проявляющих в неводных растворах кислые или основные свойства. Этим способом измерялось содержание гидрокарбонатов и карбонатов.

В методе осаждения исследуемое вещество при взаимодействии с титрантом образует малорастворимое соединение. Этим способом измерялось содержание хлоридов.

Метод комплексообразования основан на образовании слабоионизированных комплексов титранта с исследуемым веществом. Этим способом измерялась жесткость.

Титрование проводилось по следующим методикам:

- Жесткость

ГОСТ Р 52407-2005 Методы определения жесткости. Определение гидрокарбонатов и карбонатов

ГОСТ Р 52963-2008 Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. Определение хлоридов. ГОСТ 4245-72. Вода питьевая. Методы определения содержания хлоридов.

4.2.2. Гравиметрический анализ

Метод количественного химического анализа, который основан на точном измерении массы определяемого вещества или его составных частей, выделенных в химически чистом состоянии или в виде соответствующих соединений (точно известного постоянного состава) (Никаноров, 2001).

При анализе использовался метод осаждения. Сущность метода заключается в том, что определяемый компонент осаждают в виде малорастворимого соединения, которое фильтруют, прокаливают или высушивают, взвешивают и по массе продукта последней реакции рассчитывают массу аналита (Радион, 2013).

РД 52.24.483-2005 Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом

4.2.3. Потенциометрический анализ

Метод анализа основан на измерении потенциала электрода, изменяющегося в результате химических реакций и зависящего от температуры и концентрации анализируемого раствора (Никаноров, 2001).

Определение Vr и I потенциометрическим методом проводилось с помощью ионселективных электродов на приборе ЭКСПЕРТ – 001 (рис. 9). Метод заключается в измерении разности потенциалов (э.д.с.) измерительного электрода и электрода сравнения в растворе.

Перед началом работ производится градуировка электродов, как правило, по двум или более растворам. Для измерений активности ионов Vr и I при градуировке рекомендуется применять растворы бромида калия и иодида калия известной концентрации. Результаты градуировки прибор заносит в свою память, в дальнейшем при измерениях производит необходимые расчеты и выводит результат на дисплей.

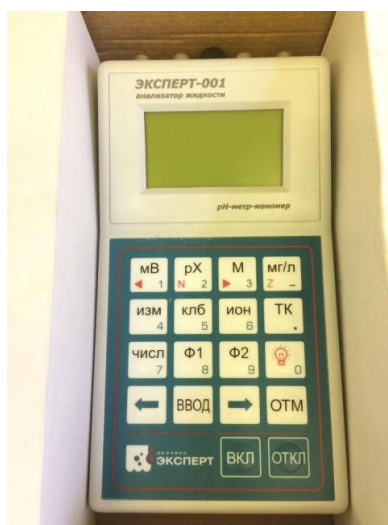
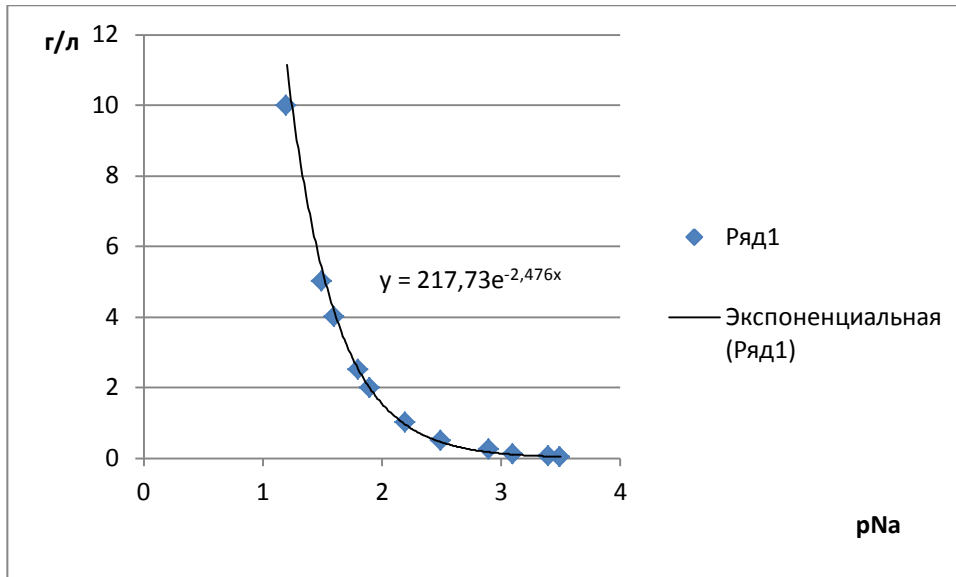


Рис. 9. Измерительный прибор ЭКСПЕРТ – 001 (фото К. Л. Поповой, 2018)

4.2.4. Определение натрия

Содержание натрия определялось измерительным прибором рNa фирмы HANNA. Значения на приборе были представлены в логарифмической форме, которые затем были переведены через график в мг/л.



4.2.5 Изотопный анализ

Подготовительный этап

На данном этапе была освоена методика перегонки рассолов для изотопного анализа (рис. 10).

Набирают шприцом пробу воды 1,6 мл, переливают в пробирку для перегонки. Ставят пробирку в прибор, который предназначен для перегонки ($t^{\circ}\text{C}$ в приборе 120-130 $^{\circ}\text{C}$). Ждут пока в пробирке будет замечен пар, надевают тару на пробирку и ставят обратно в прибор. Далее ждут, когда вода перегонится в тару.



Рис. 10. Перегонка рассолов (фото К. Л. Поповой, 2018)

Основной этап

Исследование содержания стабильных изотопов в воде (дейтерий, кислород-18) проводилось методом инфракрасной лазерной спектроскопии на приборе *Picarro* L-2120i (рис. 11).

Работа изотопного анализатора *Picarro* основана на методе WS-CRDS (Wavelength Scanned Ring Down Spectroscopy). Этот тип спектроскопии основан на поглощении энергии ИК-лазера малыми молекулами при характеристичных длинах волн

Система из трех зеркал и неаксиальное расположение газовых кювет обеспечивают путь пучка лазера в 20 километров при размере кюветы в 20 см. При такой длине пути лазерный луч проходит кювету около 100000 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 (Научный..., 9.04.2018).



Рис. 11. Прибор *Picarro L-2120i* (ресурсы интернет)

4.2.6. Метод атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой *ICPE-9000*

В Ресурсном центре анализ проводился методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно связанной плазмой *ICPE-9000*.

Оптический эмиссионный спектрометр *ICPE-9000* (рис. 12) - первый в мире вакуумируемый ICP спектрометр с CCD детектором с оптической схемой Эшелле спектрометра, позволяющий проводить качественный и количественный анализ проб неизвестного химического состава без предварительного задания рабочих длин волн оператором. Прибор обеспечивает определение большинства элементов на уровне 1-10 ppb и ниже. Оптическая Эшелле решетка со схемой скрещенной дисперсии дает возможность мгновенной регистрации всего объема данных спектра на один CCD детектор, в том числе информацию необходимую для коррекции фона. Низкошумящий, высокочувствительный CCD-детектор (1024×1024 пикселя) обеспечивает высокое

спектральное разрешение и высокую светосилу. Детектор работает при сравнительно высокой температуре (-150 С), что сокращает время начальной инициализации. Использование ультразвукового распылителя дает возможность получить мелкодисперсный аэрозоль. Высокая стабильность при длительных измерениях обеспечивается поддержанием температуры спектрометра с точностью $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ и давления внутри спектрометра не более 10 Па. Также прибор включает возможность аксиального и радиального наблюдения плазмы. Программное обеспечение позволяет управлять спектрометром от ПК и автоматически выбирать длины волн без задания пользователем аналитических линий. Имеется встроенная база данных длин волн и спектральных влияний для всех элементов, автоматическое представление информации обо всех сопутствующих элементах, оценка концентрационных диапазонов определяемых и сопутствующих элементов (Научный..., 30.04.2018).



Рис. 12. Оптический эмиссионный спектрометр ICPE-9000 (Научный...)

Глава 5. Результаты исследования и их интерпретация

5.1. Анализ опубликованных данных

5.1.1. Гидрогеохимические данные сопочных вод Керченско–Таманской провинции (из литературных источников)

В процессе написания ВКР большое внимание уделялось опубликованным данным. Заслуживает внимание статья В.А. Куришко «Гидрогеология грязевого вулканизма Керченского полуострова» (1968). Данные химического состава сопочных вод Керченского полуострова из статьи В.А. Куришко приведены в приложении 2. По этим данным воды грязевых сопоч Керченского полуострова являются минерализованными с преобладанием в солевом комплексе хлоридов натрия. Минерализация вод - от 8,6 до 23 г/л.

Поскольку Керченская область вулканов входит в Керченско–Таманскую провинцию (КТП), был изучен химический и изотопный состав водной фазы грязевых вулканов Таманского полуострова, которые опубликованы в диссертации Киквадзе О.Е. Данные химического состава водной фазы грязевулканических вод Таманской провинции приведены в приложении 3.

Значения pH в грязевулканических флюидах (ГВФ) таманских вулканов щелочные – до 9,46, а значения Eh варьируют от -318 до +220 Мв. Величина минерализации ГВФ Таманского полуострова варьирует – от 0,27 до 28,40 г/л, составляя в среднем 13,26 г/л. По типу минерализации грязевулканические воды большей частью принадлежат к Cl/Na, Cl-HCO₃/Na и реже к HCO₃-Cl/Na типам (Киквадзе, 2016).

Концентрация Cl в водах грязевых вулканов всегда прямо пропорциональна их общей минерализации. Содержание хлора до 8 г/л. Исключениями являются вулканы Фанталовский и Гладковский. В их водах концентрации Cl-иона повышаются до 16 г/л и 12 г/л, а общая минерализация достигает 28 г/л и 20 г/л, соответственно. Эти вулканы отличаются от остальных сравнительно высокими содержаниями и главных катионов – Na⁺, Ca²⁺ и Mg²⁺.

Гидрокарбонат-ион (HCO₃) – второй по значимости анион в грязевулканических водах. Его содержание меняется от 0,1 до 7,4 г/л, составляя в среднем 3,3 г/л. Содержания SO₄²⁻ в водах невысоки. В большинстве случаев они варьируют от 1,5 до 210 мг/л, и только в одиночных пробах из двух вулканов (Сопки и Кучугурского) его концентрации достигают 1,2 и 8 г/л, соответственно. Среди катионов в грязевулканических водах преобладает Na⁺. Его концентрации в водах большинства вулканов варьирует от 2,9 до 10,5 г/л, в среднем составляя 4,6 г/л. Только в водах

Южно-Нефтяного вулкана содержание иона Na^+ аномально низко (9 мг/л). Ионы K^+ , Mg^{2+} и Ca^{2+} имеют подчиненное значение. Из них преобладающим для большинства вулканов является Mg^{2+} -ион, доля которого меняется от 1 до 12 мг-экв%.

5.1.2. Изотопные данные сопочных вод Керченско–Таманской провинции (из литературных источников)

Воды грязевых сопок Таманского полуострова характеризуются довольно большим интервалом величин δD и $\delta^{18}\text{O}$, образуя на диаграмме $\delta^{18}\text{O}$ – δD вытянутое облако точек. Величина $\delta^{18}\text{O}$ варьирует от -4,9 до 14,2 ‰, а δD – от -50,1 до -10,8 ‰. (рис. 13). Относительно SMOW таманские воды богаче по содержанию тяжелого кислорода и беднее по содержанию дейтерия.

В целом, фигуративные точки формируют хорошо выраженный линейный тренд. Левый конец его упирается в линию метеорных вод и точку, отвечающую составу вод Азовского моря. Поэтому можно предполагать, что это – исходный «конечный член» таманских грязевулканических вод, который характеризует изотопный состав метеогенных инфильтрационных вод, соответствующий палеошироте, на которой находится район.

Существование найденной связи δD и $\delta^{18}\text{O}$ отражает обстановку формирования вод на Тамани. По данным ряда исследователей, в условиях повышенных температур вода обогащается тяжелым кислородом за счет изотопного обмена с породами, в которых изотопный состав кислорода тяжелее. Поэтому смещение фигуративных точек Тамани направо от линии метеорных вод считается результатом изотопно-кислородного обмена ГВФ с породами.

Изотопный состав водорода при этом тоже не остается постоянным. Но его изменение в процессе изотопного обмена с гидроксид-содержащими минералами выражено слабее, чем для кислорода, так как содержание последнего в осадочных породах более чем на порядок, превосходит содержание водорода.

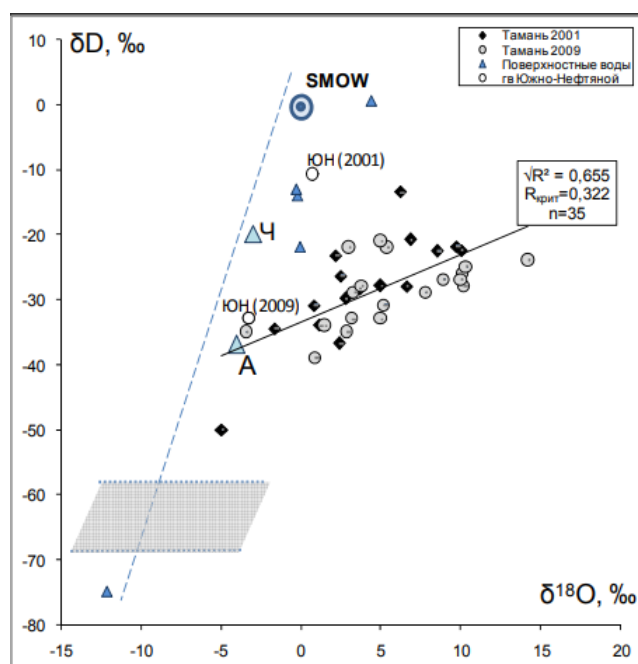


Рис. 13. Изотопный состав H_2O грязевых вулканов Таманского полуострова (Киквадзе, 2016)

5.2. Фактические данные по результатам гидрогеохимического анализа сопочных и других вод Восточного Крыма

Температура сопочных вод изменяется от 16 до 30 °С. Значения pH варьируют от 7,1 до 9, а значения Eh – от -364 до +340 мВ. В приложении 4 представлены данные химического анализа сопочных вод и других водных объектов Восточного Крыма.

Величина минерализации составляет от 3,6 до 28,3 г/л. В пробах, взятых из разных сопков в пределах одной грязевулканической области, минерализация слегка различается. Возможно, это связано с атмосферными осадками, которые разбавляют воды или с упариванием на солнце на бессточных территориях.

Большей частью сопочные воды принадлежат к Cl/Na типу, но встречаются и HCO_3 -Cl/Na воды. По классификации Сулина воды относятся к хлоридно – кальциевому типу. В таблице 2 представлены некоторые статистические данные сопочных вод Восточного Крыма. В приложении 4 представлены данные химического анализа сопочных вод и других водных объектов Восточного Крыма

Таблица 2

Статистические данные сопочных вод

| | Na | K | Ca | Mg | CO ₃ | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | Br | I | Fe | Mn | Pb | Ni | Zn | B | Ba | Be | Li |
|----------------------|------|------|------|-------|-----------------|------------------|--------|-----------------|-----|--------|------|------|------|------|-------|------|------|-------|------|
| Среднее значение | 4004 | 5,35 | 4,13 | 11,77 | 2496 | 6172 | 4706 | 446 | 349 | 28,893 | 0,50 | 0,05 | 0,49 | 0,07 | 0,01 | 118 | 0,06 | 0,004 | 0,16 |
| Медиана | 3500 | 3,50 | 3,80 | 10,50 | 2400 | 5795 | 4200 | 84,765 | 351 | 29 | 0,16 | 0,01 | 0,40 | 0,07 | 0,01 | 110 | 0,04 | 0,004 | 0,15 |
| Мода | 3100 | 2,50 | 2,70 | 12,00 | 2640 | 3904 | 3570 | 12,48 | 351 | 0 | 0,11 | 0,01 | 0,39 | 0,08 | 0,01 | 110 | 0,04 | 0,004 | 0,10 |
| Стандарт. отклонение | 1358 | 7,93 | 1,27 | 8,32 | 1137,1 | 2406,8 | 1375,3 | 1028,7 | 188 | 31,334 | 0,27 | 0,11 | 0,21 | 0,01 | 0,004 | 87,4 | 0,05 | 0 | 0,23 |

Подземные и поверхностные воды Восточного Крыма

Температура водных объектов изменяется от 19 до 26°C. Значения pH варьируют от 7,1 до 8,5. Величина минерализации составляет от 0,5 до 52,5 г/л. Наибольшая минерализация наблюдается у т. н. 67-17 (сероводородный источник 2, Сюрюташ). Подземные воды, в основном, принадлежат к гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридному кальциево-магниевому натриевому типу, а поверхностные – к гидрокарбонатно-сульфатно-хлоридному магниевому натриевому. По классификации Сулина воды относятся к хлоридно – кальциевому типу. В таблице 3 представлены некоторые статистические данные водных объектов Восточного Крыма.

Таблица 3

Статистические данные водных объектов

| | Na | K | Ca | Mg | CO ₃ | HCO ₃ | Cl | SO ₄ | Br | I | Fe | Mn | Pb | Ni | Zn | B | Ba | Be | Li |
|----------------------|------|------|------|-------|-----------------|------------------|------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| Среднее значение | 4041 | 4,95 | 168 | 121 | 824 | 1413 | 5292 | 1959 | 225 | 3,78 | 0,19 | 0,28 | 0,33 | 0,07 | 0,04 | 19,28 | 0,01 | 0,004 | 0,09 |
| Медиана | 860 | 2,10 | 9,80 | 32,50 | 504 | 707 | 1540 | 1100 | 75,5 | 0 | 0,11 | 0,05 | 0,33 | 0,07 | 0,04 | 2,1 | 0,01 | 0,004 | 0,03 |
| Стандарт. отклонение | 8036 | 6,86 | 317 | 187 | 976 | 1929 | 8057 | 2083 | 346 | 9,14 | 0,21 | 0,42 | 0,02 | | 0,02 | 37,53 | 0,02 | 0,000 | 0,11 |

5.3. Интерпретация результатов гидрогеохимического анализа сопочных и других вод Восточного Крыма

По построенной диаграмме Дурова (рис. 14) видно, что среднее содержание Cl⁻ в сопочных водах составляет 40-60%. В пределах Таманского полуострова его содержание увеличивается до 70-90%.

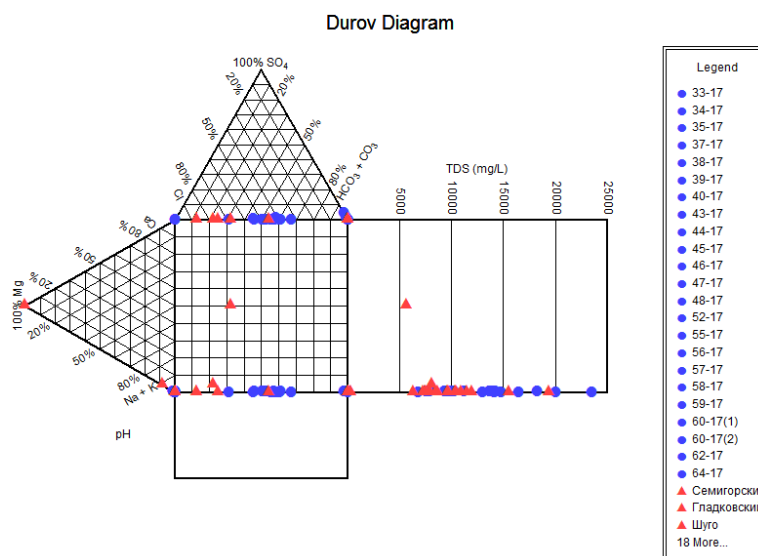


Рис. 14. Диаграмма Дурова

Концентрация Cl⁻ в сопочных водах прямо пропорциональна минерализации (рис. 15) и изменяется от 3,1 до 8,7 г/л, составляя в среднем 4,7 г/л (медиана 4,2 г/л). Отношение Cl/Br в пробах Керченского полуострова меняется от 0 до 73, (в океане 300

(Мартынова, 1993)), а на Таманском полуострове находится в пределах от 55 до 365 (Киквадзе, 2016). Отношение SO_4/Cl изменяется от 0 до 0,28, а Na/Cl коэффициент варьирует от 0,8 до 1,7.

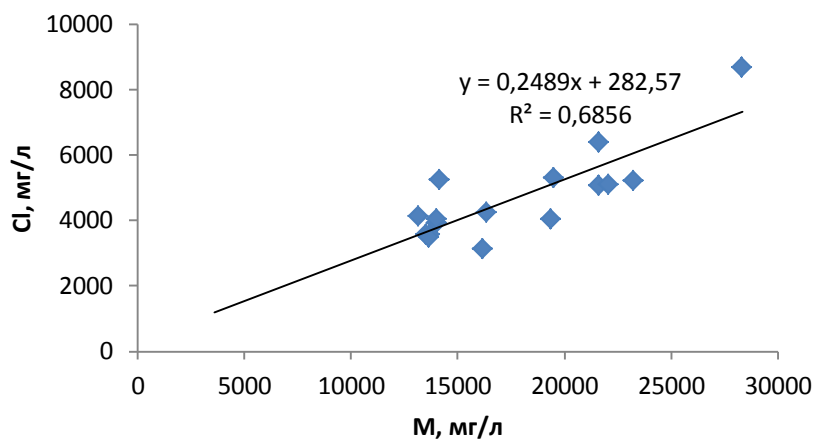


Рис. 15. Корреляционный график зависимости Cl от общей минерализации

Содержание HCO_3^- также, как и Cl^- , коррелирует с величиной минерализации (рис. 16). В сопочных водах Тамани, наоборот, HCO_3^- не коррелируют с минерализацией. Концентрация HCO_3^- варьирует от 3 до 12,4 г/л, составляя в среднем 6,1 г/л (медиана 5,8 г/л). На диаграмме Дурова содержание HCO_3^- в водах грязевых вулканов Керчи находится в пределах 40-70%, а на Тамани составляет всего лишь 10-30%.

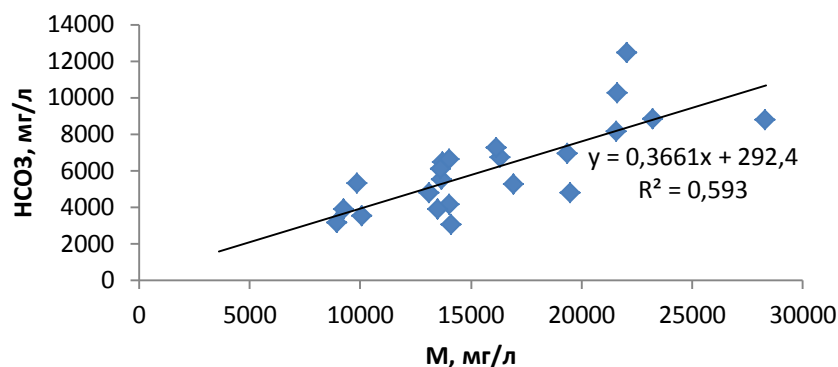


Рис. 16. Корреляционный график зависимости HCO_3^- от общей минерализации

Концентрация SO_4^{2-} сопочных вод Керченского полуострова, как и на Таманском полуострове, не высокая и изменяется от 0,01 до 4,5 г/л, составляя в среднем 0,4 г/л (медиана 0,08 г/л). Корреляции между SO_4^{2-} и величиной минерализации не наблюдается (рис. 17).

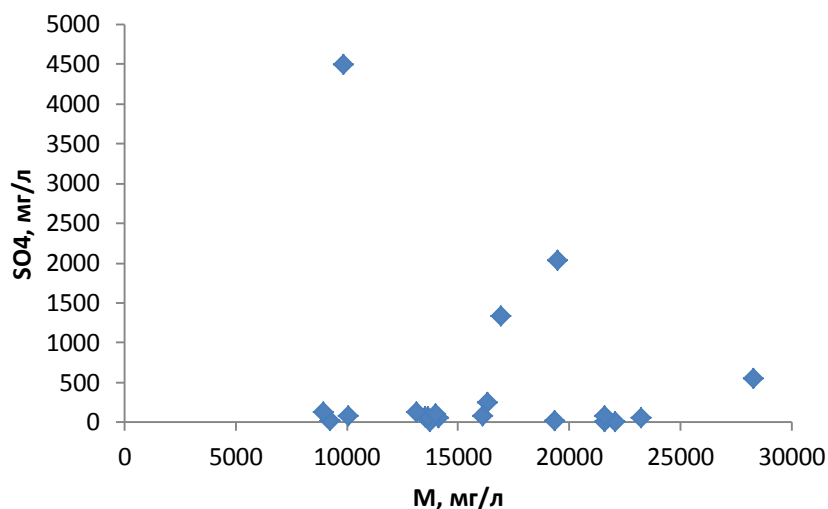


Рис. 17. Корреляционный график зависимости SO_4^{2-} от общей минерализации

Среди катионов в сопочных водах преобладает Na^+ . Концентрация Na^+ варьирует от 2,2 до 11 г/л, составляя в среднем 4 г/л (медиана 3,5 г/л). Его содержание коррелирует с величиной минерализации (рис. 18).

Ионы K^+ , Ca^{2+} и Mg^{2+} имеют подчиненное значение, как и на Таманском полуострове.

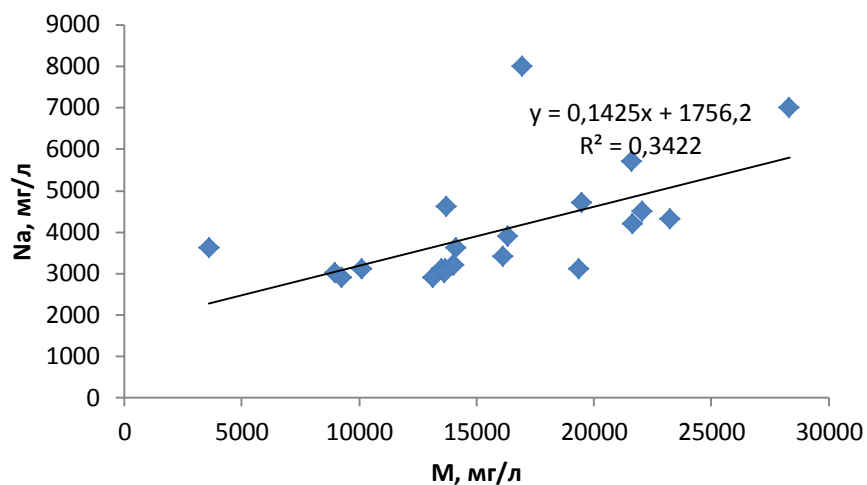


Рис. 18. Корреляционный график зависимости Na^+ от общей минерализации

Большинство водных объектов Восточного Крыма, как видно по диаграмме Дурова, содержат в своем составе большое количество Na^+K^+ , от 60 до 100% и Cl^- , HCO_3^- (рис. 19).

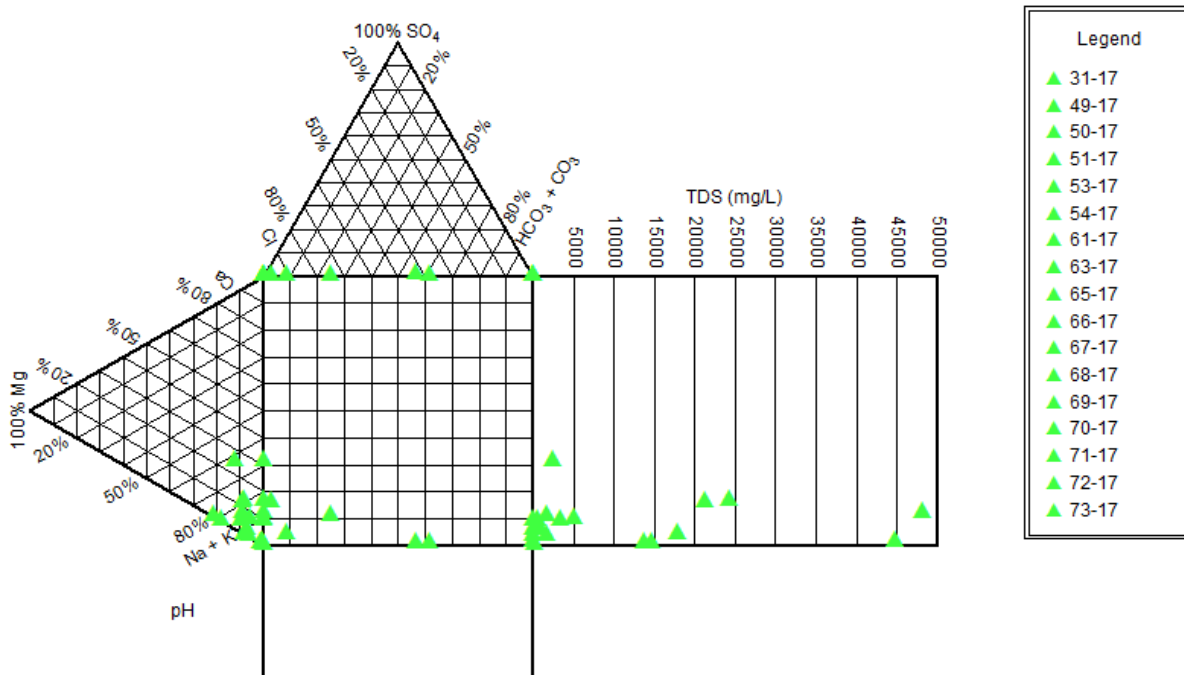


Рис. 19. Диаграмма Дурова

Концентрация Cl^- в водных объектах варьирует от 0,3 до 31,6 г/л, составляя в среднем 5,3 г/л (медиана 1,5 г/л). Между хлором и величиной минерализации наблюдается корреляционная связь (рис. 20). Cl^-/Br^- коэффициент находится в пределах от 0 до 142. Отношение SO_4/Cl^- изменяется от 0 до 2,18, а Na/Cl^- коэффициент варьирует от 0,8 до 3,3.

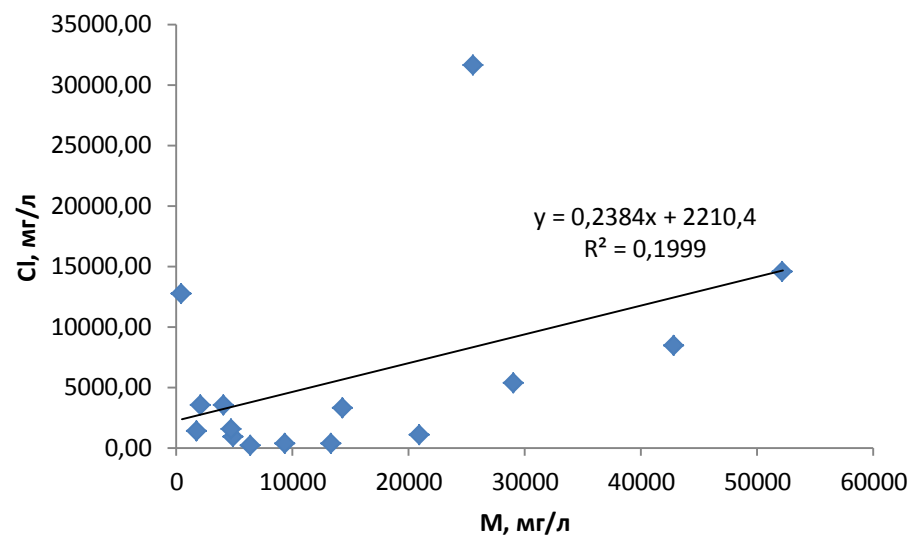


Рис. 20. Корреляционный график зависимости Cl^- от общей минерализации

Содержание HCO_3^- в водных объектах изменяется от 0,2 до 8,8 г/л, составляя в среднем 1,4 г/л (медиана 0,7 г/л). Корреляционной зависимости между гидрокарбонатами и минерализацией не наблюдается. Концентрация SO_4^{2-} в водных объектах варьирует от 0 до 5,4 г/л, составляя в среднем 1,9 г/л (медиана 1,1 г/л). Между сульфатами и величиной минерализации наблюдается корреляционная связь (рис. 21).

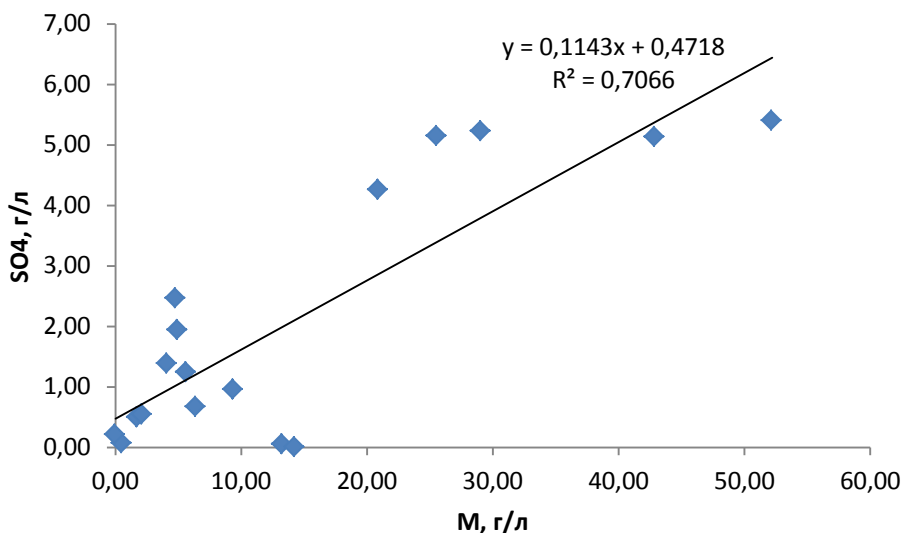


Рис. 21. Корреляционный график зависимости SO_4^{2-} от общей минерализации

По содержанию катионов в водных объектах преобладает Na^+ . Его концентрация варьирует от 0,03 до 7,3 г/л, составляя в среднем 4 г/л (медиана 0,8 г/л). Между натрием, но также и другими катионами, наблюдается корреляционная связь с величиной минерализации (рис. 22).

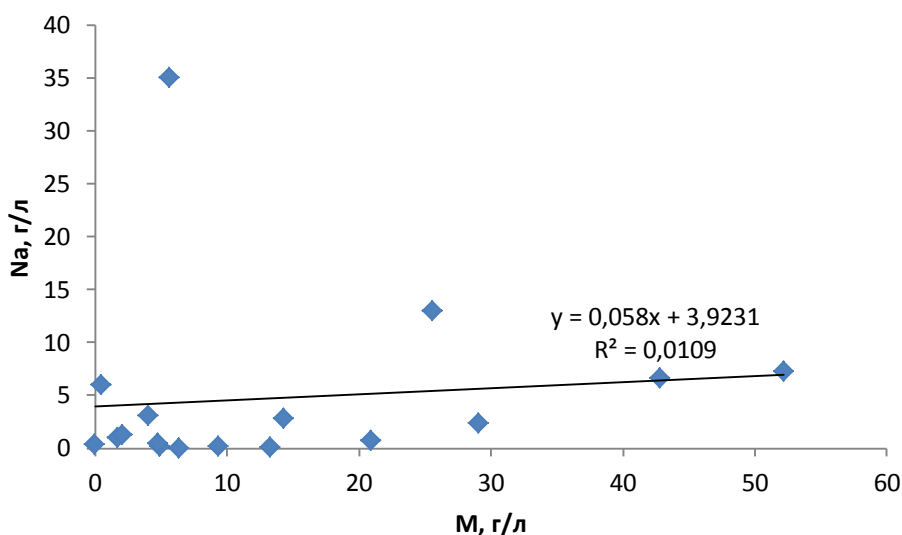


Рис. 22. Корреляционный график зависимости Na^+ от общей минерализации

5.4. Изотопный состав рассолов грязевых вулканов и других водных объектов

Данные о содержании стабильных изотопов $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в сопочных водах и других водных источниках Восточного Крыма представлены на графиках в координатах $\delta^{18}\text{O}$ - $\delta^2\text{H}$ относительно ГЛМВ (глобальной линии метеорных вод) (рис. 23).

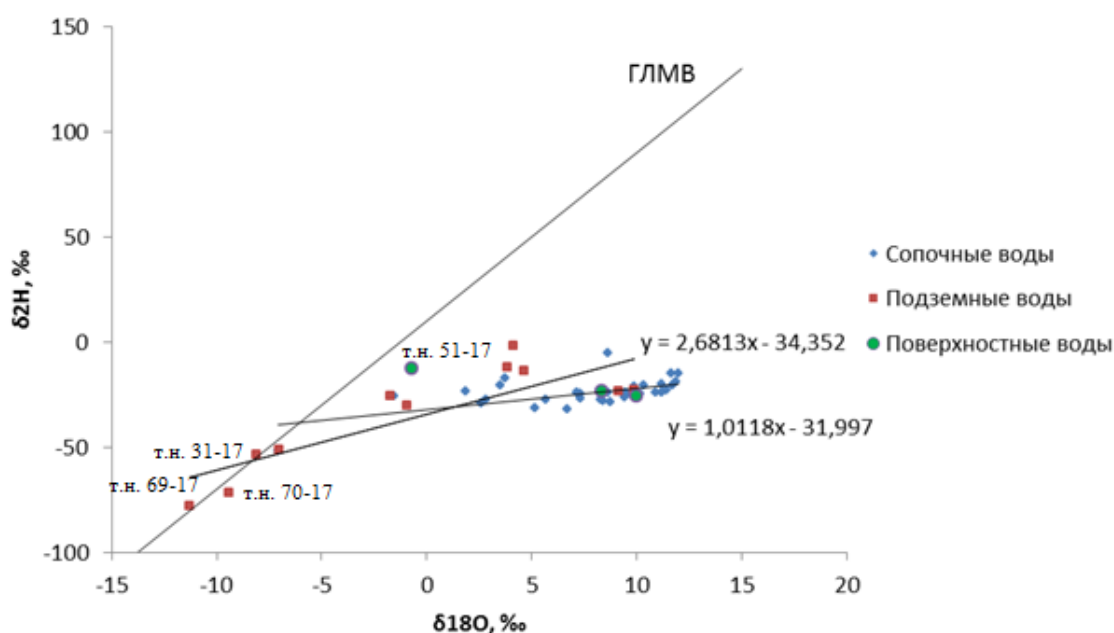


Рис. 23. Изотопный состав сопочных вод и других водных объектов Восточного Крыма

Для сопочных вод величина $\delta^{18}\text{O}$ варьирует от 2 до 12‰, а $\delta^2\text{H}$ – от -25 до 0‰. По графику видно, что керченские сопочные воды богаче по содержанию тяжелого кислорода, в отличие от $\delta^2\text{H}$. Водные объекты были разделены на подземные и поверхностные. Некоторые точки с подземными водами находятся близко к ГЛМВ или лежат прямо на ней (т. н. 69-17, 70-17, 31-17). Это позволяет утверждать, что их генезис связан с метеорными водами. Точек наблюдения с поверхностными водами было немного. Т. н. 51-17 расположена ближе всего к ГЛМВ. Остальные точки находятся рядом с сопочными водами, возможно, это связано с тем, что эти объекты расположены рядом с грязевыми вулканами, и их генезис зависит от них.

На рисунке 24 приведены данные изотопного состава сопочных вод Восточного Крыма (по нашим данным) и Таманского полуострова (по литературным данным (Киквадзе, 2016)) из которого становится ясно, что изотопный состав сопочных вод Восточного

Крыма и Таманского полуострова имеет одинаковую природу, так как все точки расположены близко друг к другу. Содержание $\delta^{2}\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ варьирует от -50 до 0‰ и от -5 до 14‰ соответственно. Сопочные воды богаче по содержанию тяжелого кислорода. Таким образом, можно говорить, что воды Восточного Крыма и Таманской провинции имеют родственный генезис. В приложении 5 представлены данные изотопного состава сопочных вод и других водных объектов Восточного Крыма

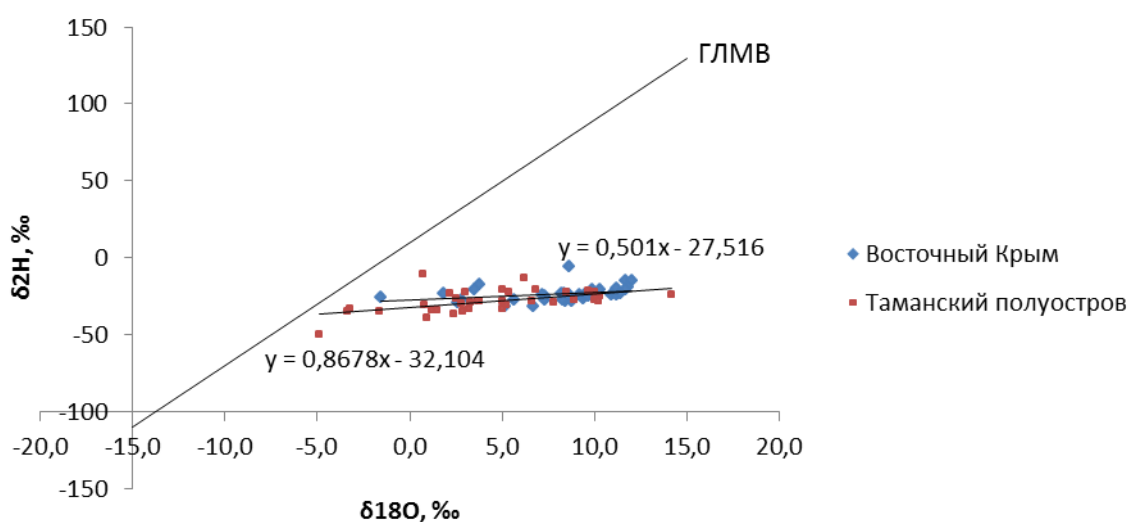


Рис. 24 Изотопный состав сопочных вод Керченско-Таманской провинции

Заключение

Керченский полуостров обеднен подземными и поверхностными водами, особенно пресными. Остается актуальной проблема хозяйственно – питьевых вод. Наибольшее распространение имеют минеральные воды, которые используются для различных целей, особенно в лечебно – бальнеологических.

По классификации Сулина подземные и поверхностные воды Восточного Крыма относятся к хлоридно – кальциевому типу. По минерализации воды от пресных до слабых рассолов (0,5 - 52,5 г/л) Среди макрокомпонентов в водных объектах преобладают натрий и хлориды.

По результатам изотопного анализа состава подземных и поверхностных вод можно сделать выводы, что генетическое происхождение некоторых водных объектов связано с метеорными водами, а также, поверхностные и подземные воды различаются по генезису.

Сопочные воды Керченского полуострова большей частью принадлежат к хлоридно - натриевому типу, но встречаются и гидрокарбонатно – хлоридные натриевые воды. По классификации Сулина воды относятся к хлоридно – кальциевому типу. По минерализации сопочные воды от солоноватых до соленых (3,6 - 28,3 г/л). Среди макрокомпонентов преобладают натрий, хлориды и гидрокарбонаты.

Согласно результатам изотопного анализа, в формировании химического состава сопочных вод, в отличие от водных объектов, метеорные воды не принимают участия. Происхождение этих вод связано с глубинными процессами. В ходе интерпретации данных изотопного состава сопочных вод Восточного Крыма и Таманской провинции можно говорить о том, что эти области имеют общее происхождение.

Список использованной литературы

1. *Аркадьев В.В.* 2010. Геологические экскурсии по Крыму – СПб.: Изд-во РГПУ им. А. И. Герцена. С. 132.
2. *Багрова Л. А., Боков В. А., Багров Н. В.* 2001. География Крыма: Учебное пособие для учащихся общеобразовательных учебных заведений. Киев «Лыбидь». С. 300.
3. *Гидрогеология СССР.* Т. 8. Крым. Под ред. В.Г. Ткачук: М., Недра. 1970, 364 с.
4. *Каюкова Е.П.* 2015. Потенциал лечебных и рекреационных ресурсов Восточного Крыма/ В книге «Эколого-ресурсный потенциал Крыма. История формирования и перспективы развития». Т. 1 / Под ред. Е.Ю. Барабошкина, Е.В. Ясеновой. СПб.: Изд-во ВВМ. С. 188-233.
5. *Кох С. Н., Новикова С. А., Сокол Э. В., Меленевский В. Н., Маслаков Н. А.* 2015. Современная минералообразующая система сопки Обручева (Булганакский грязевулканический очаг, Керченский полуостров) // Геология и полезные ископаемые Мирового океана №2. С. 123-146.
6. *Куришко В.А., Месяц И.А., Тердавидов А.С.* 1968. Гидрогеология грязевого вулканизма Керченского полуострова // Геологический журнал. Т. 28. № 1. С. 49–59.
7. *Никаноров А. М.* 2001. Гидрохимия: Учебник. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб: Гидрометеоиздат. С. 444.
8. *Подгородецкий П. Д.* 1988. Крым: Природа: Справ. изд. – Симферополь: Таврия. С. 192, 16 л. ил.
9. *Радион, Е. В.* 2013. Классические методы анализа: практическое применение : тексты лекций по дисциплинам «Аналитическая химия», «Аналитическая химия и физико-химические методы анализа» для студентов химико-технологических специальностей / Е. В. Радион. – Минск : БГТУ. – 76 с.
10. *Хмара А.Я. и др.* 2001. Минеральные ресурсы Крыма и прилегающей акватории Черного и Азовского морей. Атлас, приложение к сб. «Вопросы развития Крыма». Симферополь, «Таврия-плюс». С. 81.
11. *Шнюков Е. Ф., Соболевский Ю. В., Гнатенко Г. И., Науменко П. И., Кутний В. А.* 1986. Грязевые вулканы Керченско–Таманской области: Атлас. Киев: Наук. думка. с. 152.
12. Погода и климат. Код доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru/climate/33983.htm>. Дата обращения 11.04.2017.

13. Государственная геологическая карта России (ГГК-1000, ГГК-200). Масштаб 1:1 000 000 (новая серия), 1:200 000 (первое, второе издание). Код доступа: <http://www.geolkarta.ru/>. Дата обращения 30.03.2017.
14. Картинки грязевых вулканов Керченского полуострова. Код доступа: <https://yandex.ru/images/>. Дата обращения 22.03.2017.
15. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации кальция в пробах природных и очищенных сточных вод, ПНД Ф 14.1;2.95-97. М., 1997 г. (издание 2004 г.). Портал нормативных документов «OPENGOST.RU». Код доступа: <http://www.opengost.ru/>. Дата обращения – 20.04.2017
16. Вода питьевая. Методы определения жесткости. ГОСТ Р 52407-2005 Портал нормативных документов «OPENGOST.RU». Код доступа: <http://www.opengost.ru/>. Дата обращения – 20.04.2017
17. Вода. Методы определения щелочности и массовой концентрации карбонатов и гидрокарбонатов. ГОСТ Р 52963-2008, ИСО 9963-1;1994, ИСО 9963-2;1994 Портал нормативных документов «OPENGOST.RU». Код доступа: <http://www.opengost.ru/>. Дата обращения – 20.04.2017
18. Количественный химический анализ вод. Методика выполнения измерений массовой концентрации хлоридов в пробах природных и очищенных сточных вод. ПНД Ф 14.1;2.96-97. Портал нормативных документов «OPENGOST.RU». Код доступа: <http://www.opengost.ru/>. Дата обращения – 20.04.2017
19. Массовая концентрация сульфатов в водах. Методика выполнения измерений гравиметрическим методом. РД 52.24.483-2005. Портал нормативных документов «OPENGOST.RU». Код доступа: <http://www.opengost.ru/>. Дата обращения – 20.04.2017
20. Научный парк СПбГУ. Код доступа: <http://researchpark.spbu.ru/>. Дата обращения 9.04.2018.

Описание точек опробования

Т.н. № 31-17. Координаты: N:45°09'12.0", E:36°24'11.5".

Колодец Тобечик. Проба отобрана Чадромцевым Б. 25.06.2017 г. (№31 – 17) t воды 22,6 °С; Eh: 0,93.

Т.н. № 33-17. Координаты: N:45°08'45.8", E:36°22'15.3".

Вулкан Костырино. Проба отобрана Чадромцевым Б. 5.07.2017 г. (№33 – 17) t грязи 25,5 °С.

Т.н. № 34-17. Координаты: N:45°25'24.3", E:36°28'40.7".

Центральная сопка Проба отобрана Чадромцевым Б. 4.07.2017 г. (№34 – 17); t грязи 23,5 °С.

Т.н. № 35-17. Координаты: N:45°25'25.5", E:36°28'37.9".

Водогрязевые проявления в 100 м от Центральной сопки по азимуту 340°. Проба отобрана Б. Чадромцевым 4.07.2017 г. (№35 – 17); t 25,2 °С.

Т.н. № 37-17. Координаты: N:45°10'11.9", E:36°21'02.7".

Село Костырино, лужа у бочек. Проба отобрана Чадромцевым Б. 5.07.2017 г. (№37 – 17); t 24,8 °С.

Т.н. № 38-17. Координаты: N:45°10'06.2", E:36°21'11.3".

Вулкан Тобечик Проба отобрана Чадромцевым Б. 4.07.2017 г. (№38 – 17) t грязи 23,8 °С.

Т.н. №39–17. Координаты: N: 45°25'33,8", E: 36°28'25,2".

Вулкан Тищенко: Периметр (P)-128 м. Активно основное жерло. По сравнению с другими годами, вулкан более высохший, газирует с периодичностью 2-5 с. Консистенция грязи густая. Вся кальдера вулкана покрыта такыровидной брекчией (высохшая, серого цвета). Высота вулкана около 0,9 м;

t грязи 16,1 °С; Eh: -232.

Отобрана проба №39 – 17. Дата отбора 11.07.2017 г

Т.н. №40–17. Координаты: N: 45°25'34,4", E: 36°28'26,1".

Грифон вулкана Тищенко (восточная часть): По сравнению с другими годами, вулкан более высохший и сильно газирует.

t грязи 24,3 °С; Eh: -290.

Отобрана проба №40 – 17. Дата отбора 11.07.2017 г

Т.н. №43–17. Координаты: N: 45°25'36", E: 36°28'39,3".

Южный грифон вулкана Андрусова: Самая активная точка, газирует каждую секунду.

t грязи 16,4°C; Eh: -140.

Отобрана проба №43 – 17. Дата отбора 11.07.2017 г

Т.н. №44–17. Координаты: N: 45°25'36", E: 36°28'39,3".

Конус Абиха: Высота 0,9 м; диаметр-4 м. Имеет жерло, но с маленькой активностью. Такырный рельеф.

t грязи 26°C; Eh: -104.

Отобрана проба №44 – 17. Дата отбора 11.07.2017 г

Т.н. №45–17. Координаты: N: 45°25'33,6", E: 36°28'43,4".

Озеро Вернадского: В этом году озеро наполовину высохло, наблюдается редкая пульсация газа.

t грязи 26,4°C; Eh: -185.

Отобрана проба №45 – 17. Дата отбора 11.07.2017 г

Т.н. №46–17. Координаты: N: 45°25'29,7", E: 36°28'50,6".

Озеро Ольденбургского образует эллипс с такыровидным рельефом, высохшее. Есть область с более свежей брекчией с активной пульсацией. Диаметр озера меньше 10 м.

t грязи 28,2°C; Eh: -364.

Отобрана проба №46 – 17. Дата отбора 11.07.2017 г

Т.н. №47–17. Координаты: N: 45°25'13,8", E: 36°28'49,9".

Небольшие грифоны восточной части вулкана Обручева: диаметр меньше 0,1 м. Рядом с грифонами виден белый налет. Поблизости есть выходы воды с небольшим дебитом. В западной части газирующие выходы воды. Встречается много обломков пород.

Отобрана проба №47 – 17. Дата отбора 11.07.2017 г

Т.н. №48–17. Координаты: N: 45°25'10,3", E: 36°28'49,8".

Основное жерло вулкана Обручева: Вокруг центральной сопки много газирующих водопроявлений. Наблюдается также многочисленные обломки пород.

t грязи 23,9°C; Eh: -250.

Отобрана проба №48 – 17. Дата отбора 11.07.2017 г

Т.н. №49-17. Координаты: N: 45°24'59,9", E: 36°28'56,7".

Источник из-под трубы под горой, рядом с вулканом Обручева: дебит составляет 100 мл в 1 мин. В тальвеге оврага наблюдаются белые выцветы. Гипсометрически ниже находится лужа, предположительно от предыдущего ручья.

t грязи 18,8°C; Eh: -113.

Отобрана проба №49 -17. Дата отбора 11.07.2017 г

Т.н. №50–17. Координаты: N: 45°24'58,3", E: 36°28'56,4".

Выходы на дне оврага с белыми характерными выцветами.

t грязи 26,4 °С; Eh: -490.

Отобрана проба №50 – 17. Дата отбора 11.07.2017 г

Т.н. №51–17. Координаты: N:45°24'33.4", E:36°28'52.3".

Ставок Бондаренково. Проба отобрана 11.07.2017 г. (№51 – 17). t воды 22,8 °С

Т.н. №52–17. Координаты: N: 45°24'49,4", E: 36°28'49,8".

Вулкан без названия. Кальдера вулкана заполнена грязевой субстанцией с крупными пятнами рыжего цвета. Чувствуется запах сероводорода.

t –28,9 °С; Eh: -000.

Отобрана проба №52 – 17. Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №53-17. Координаты: N: 45°24'51,3", E: 36°28'51,0".

Небольшое озеро в камышах вблизи от безымянного вулкана и вулкана Обручева: Площадь около двух соток. Вода мутная, болотистая.

t –26 °С; Eh: -005.

Отобрана проба №53-17. Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №54-17. Координаты: N: 45°24'50,1", E: 36°28'47,4".

Между дорогой и вулканом Обручева обнаружено два круга, площадью 100 м² каждый. Камыши отсутствуют, берега илистые, травы мало. Глубина озера около 1 м. Дно черное, илистое.

t –26,8 °С; Eh: 027.

Отобрана проба №54-17. Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №55-17. Координаты: N: 45°25'29,4", E: 36°27'51,5".

Вулкан Трубецкого: жерло представлено озером диаметром 3-4 м, вулкан активно газирует.

t –28 °С; Eh: -183.

Отобрано 2 пробы №55-17. Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №56-17. Координаты: N: 45°25'28", E: 36°27'53,4".

Небольшая сальза, менее 1 м в диаметре. Активно газирует, постоянно видны пузырьки газа. Рядом расположен восточный грифон сопки Трубецкого в виде источника с небольшим, слабым дебитом. Вода грязно-болотного цвета. Вокруг источника белесые берега.

t –30 °С; Eh: 340.

Отобрана проба с грифона №56-17. Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №57-17. Координаты: N: 45°25'28,3", E: 36°27'47,8".

Грифон «Цветочек». Рядом с вулканом встречается много обломков пород.

t–27 °С; Eh: -307.

Отобрана проба №57-17. Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №58-17. Координаты: N: 45° 25' 28,5", E: 36° 27' 47,9".

Грифон «Елена». Диаметр жерла примерно 10 см, такыровидный рельеф, рядом с жерлом много обломков брекчии.

t–27 °С; Eh: -210.

Отобрана проба №58-17. Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №59-17. Координаты: N: 45° 25' 29", E: 36° 27' 48".

Грифон «Анастасия» расположен поблизости от вышеописанных двух вулканов. Сильногазирующий, рядом находятся потухшие грифоны.

t–27 °С; Eh: -240.

Отобрана проба №59-17. Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №60-17 Координаты: N: 45° 25' 30,5", E: 36° 27' 45,3".

Основное широкое и узкое жерло Шилова. За то время, что прошло после отбора пробы и ее транспортировки в полевую лабораторию, грязь осела таким образом, что у горлышка бутылки был водный раствор, который извлекался шприцом для дальнейшего анализа.

1) t–26 °С; Eh: -280 – широкое жерло.

2) t–24 °С; Eh: -260 – узкое жерло.

Отобраны пробы №60-17 (1) и №60-17 (2). Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №61-17. Координаты: N: 45° 25' 28,6", E: 36° 27' 35,9".

Болото с камышами, расположенное рядом с вулканом Шилова.

t–28,6 °С; Eh: -039.

Отобрана проба №61-17. Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №62-17. Координаты: N: 45° 25' 32,6", E: 36° 27' 46".

Западная группа вулкана Шилова. Наблюдаются небольшие грифоны высотой 30-50 см. Один грифон высохший, два других – действующие. Центральный грифон активно газирует. Рельеф такыровидный.

Отобрана проба №62-17. Дата отбора 12.07.2017 г

Т.н. №63-17. Координаты: N: 45° 24' 21,6", E: 36° 28' 56,6".

Вода из-под крана, с. Бондаренково.

t–20,7 °С; Eh: 030.

Отобрана проба №63-17. Дата отбора 13.07.2017 г

Т.н. №64-17. Координаты: N: 45° 25' 50,4", E: 36° 27' 55,5".

Центральное озеро. Вулканическое поле округлой формы площадью 35 м² и диаметром около 5 м. Сильно газирует. Виден белый налет. Такыровидный рельеф.

t–24,7 °С; Eh: -010.

Отобрана проба №64-17 Дата отбора 13.07.2017 г

Т.н. № 65-17. Координаты: N: 45° 28' 22,9", E: 36° 17' 32.8".

Колодец у озера Чокрак. Проба отобрана Чадромцевым Б.(№ 65-17) 11.07.2017 г.
t воды – 24,6 °С

Т.н. № 66-17. Координаты: N: 45° 27' 14,4", E: 36° 06' 49.5".

Сероводородный источник 1, Сююрташ. Проба отобрана Поповой К.(№ 66-17)
11.07.2017 г. t воды – 23,9 °С

Т.н. № 67-17. Координаты: N: 45° 27' 14.3", E: 36° 06' 50.4".

Сероводородный источник 2, Сююрташ. Проба отобрана Поповой К.(№ 67-17)
11.07.2017 г. t воды – 24,6 °С

Т.н. № 68-17. Координаты: N: 45° 27' 20.7", E: 36° 06' 52.8".

Устье ручья у сероводородного источника, Сююрташ. Проба отобрана
Каюковой Е.П.(№ 68-17) 11.07.2017 г. t воды – 24,4 °С

Т.н. № 69-17. Координаты: N: 45° 01' 53.3", E: 36° 13' 16.6".

Родник Опук. Проба отобрана Чадромцевым Б.(№ 69-17) 6.07.2017 г. t воды –
24,1 °С

Т.н. № 70-17. Координаты: N: 45° 28' 01,3", E: 36° 19' 12.3".

Курортное, скважина. Расположена в с. Курортное. Проба отобрана
Чадромцевым Б.(№ 70-17) 11.07.2017 г. t воды – 22,3 °С

Т.н. № 71-17. Координаты: N: 45° 25' 33", E: 36° 04' 37.2".

Золотое, скважина 100 м. Расположена в с. Золотое. Проба отобрана
Чадромцевым Б.(№ 71-17) 10.07.2017 г. t воды – 21,9 °С

Т.н. № 72-17. Координаты: N: 45° 12' 15.3", E: 36° 05' 00.8".

Марфовка скважина. Расположена в с. Марфовка. Проба отобрана Чадромцевым
Б.(№ 72-17) 7.07.2017 г. t воды – 22 °С

Т.н. № 73-17. Координаты: N: 45° 12' 16", E: 36° 05' 00.1".

Марфовка ручей. Расположен в с. Марфовка. Проба отобрана Чадромцевым
Б.(№ 73-17) 7.07.2017 г. t воды – 25,2 °С

Приложение 2

Данные химического состава сопочных вод Керченского полуострова

| Грязевые сопки | Т°С | рН | Мин-я,г/л | НСО ₃ , мг/л | СО ₂ , мг/л | Сl, мг/л | SO ₄ , мг/л | Na, мг/л | К, мг/л | Ca, мг/л | Mg, мг/л | Br | I | Sr |
|---------------------------------------|------|-----|-----------|-------------------------|------------------------|----------|------------------------|----------|---------|----------|----------|--------|-------|-----|
| Владиславовская | 16,8 | 7,7 | 12,47 | 2037,4 | | 5774,87 | 4,9 | 4285,75 | 20 | 91,2 | 43,8 | 49,5 | 40 | 1 |
| Хырсыз-Шибан западная | 21,6 | 8 | 14,62 | | 3220,8 | 6108,55 | 19,8 | 5094,58 | 17,5 | 28,3 | 31,6 | 50,5 | 37,1 | 2 |
| Хырсыз-Шибан восточная | 19,2 | 7,8 | 12,49 | 2257 | 180 | 5454,69 | | 4398,19 | 17,6 | 32,1 | 35 | 52,1 | 39,3 | 1,8 |
| Грязевой грифон Каменской антиклинали | 20,5 | 7,3 | 17,02 | 427 | | 10069,44 | | 5774,15 | | 177,2 | 282,4 | 72,6 | 66,7 | |
| Насырская | 19,8 | 8,2 | 14,36 | 2098,4 | 156 | 6731,2 | 13,2 | 5072,48 | 14 | 42,3 | 77,8 | 40,9 | 70,5 | 1,6 |
| Восточная Каладжарская | 21,2 | 8,2 | 10,45 | 1506,7 | | 5042,68 | 16,5 | 3740,86 | 11 | 29,1 | 28 | 28,3 | 30,5 | 2 |
| Борух-Оба | 21,4 | 8,3 | 3,84 | 4026 | 516 | 1310,48 | 13,2 | 2725,12 | 5,5 | 7,2 | 17 | 7,6 | 17,5 | 2 |
| Тарханская группа | 19,2 | 6,6 | 11,64 | 2958,5 | 720 | 3400,6 | | 4260,25 | 100 | 84,6 | 55,9 | 16,3 | 36,7 | 2 |
| Сопка Шилова | 20,1 | 9,4 | 9,48 | 244 | 360 | 2702,15 | 2839,4 | 3021,45 | 34 | 72,5 | 187,5 | 11 | 6,3 | 2 |
| Булганакская группа, сопка Обручева | 23,9 | 8,2 | 14,35 | 6100 | | 3341,12 | 187,6 | 4453,83 | 61 | 52,5 | 122 | | 30,7 | 2 |
| Сопка Андрусова | 25 | 8,5 | 21,29 | 4026 | | 7801,16 | 1939 | 7191,81 | 20 | 20 | 155,7 | 37 | 92,5 | 2,6 |
| Сопка Вернадского | 23,8 | 8 | 23,36 | 7246,8 | 1656 | 5896,83 | 49,78 | 6511,53 | 100 | 91,12 | 632,25 | 107,73 | 42,09 | 2 |
| Солдатская | 21 | 8,4 | 10,7 | 2720,6 | 240 | 3894,9 | | 3712,67 | 10,5 | 7,2 | 29,2 | 32,9 | 37,3 | 1 |
| Бурашская | 20,3 | 8,4 | 13,89 | 1830 | 180 | 6679,37 | | 4959,85 | 25,5 | 21,8 | 63,2 | 23,6 | 33,3 | 2 |

Приложение 3

Химический состав водной фазы грязевулканических вод Таманской провинции

| Место отбора пробы | Период опробования | T°С | pH | Мин-я,г/л | HCO ₃ , мг/л | Cl, мг/л | Na, мг/л | SO ₄ , мг/л | K, мг/л | Ca, мг/л | Mg, мг/л | B | Al | Si | Br |
|-------------------------------|--------------------|------|-----|-----------|-------------------------|----------|----------|------------------------|---------|----------|----------|-------|------|-------|-------|
| Семигорский | 1994-2009 | 22,7 | 8 | 10,5 | 5480 | 1810 | 2940 | 59,19 | 24 | 44,39 | 17,91 | 362,1 | 0,17 | 6,24 | 6,76 |
| Гладковский | 1967-2009 | 21,6 | 7,4 | 20,03 | 350 | 11850 | 5990 | 9,01 | 250,15 | 1406,14 | 113,9 | 249,9 | 0,04 | 4,51 | 30,89 |
| Шуго | 1968-2009 | 21 | 7,7 | 18,87 | 3920 | 8100 | 6410 | 46,8 | 89,56 | 61,47 | 74,2 | 534,7 | 0,04 | 17,7 | 26,49 |
| Восток | 2001-2009 | | 8,1 | 11,04 | 4200 | 3210 | 3340 | 75,37 | 36,74 | 32,99 | 50,56 | 172,9 | 0,15 | 7,6 | 11,61 |
| Бугазский | 1967-2009 | 21,6 | 8,4 | 14,18 | 6240 | 2490 | 4220 | 35,79 | 57,97 | 30,08 | 70,13 | 393,5 | 0,12 | 14,56 | 27,01 |
| Поливадина | 1994-2001 | 18,2 | 8 | 12,82 | 5560 | 3030 | 4050 | 5,89 | 68,6 | 53,1 | 69,9 | 40 | 0,07 | 4,89 | 20,43 |
| Карабетова гора | 1968-2009 | | 8 | 13,41 | 7120 | 2190 | 3790 | 13,49 | 39,91 | 23,81 | 36,32 | 402,4 | 0,07 | 13,12 | 17,27 |
| Шапурский | 1994-2009 | 21,6 | 7,9 | 17,88 | 4780 | 6180 | 6690 | 29,75 | 41,76 | 33,9 | 45,09 | 74,9 | 0,11 | 12,96 | 49,17 |
| Южно-Нефтяной | 1994-2009 | 30,3 | 6,6 | 0,55 | 260 | 110 | 40 | 12,24 | 13,8 | 84,85 | 17,44 | 0,7 | 0,16 | 9,12 | 0,26 |
| Северно-Нефтяной | 1994 | | 7,9 | 14,2 | 3390 | 6100 | 4500 | 10,1 | 39,3 | 90,2 | 6,1 | | | 14,5 | |
| Центральные(Восточные)Цимбалы | 1968-2009 | 25 | 8,5 | 11,88 | 3290 | 4470 | 3930 | 14,08 | 30,03 | 40,31 | 36,43 | 54,9 | 0,17 | 5,63 | 36,94 |
| Западные Цимбалы | 2001-2009 | 23,3 | 8,1 | 7,33 | 4640 | 2700 | | | | | | | | | |
| Кучугурский | 1994-2009 | | 7 | 18,48 | 3200 | 5790 | 5500 | 3233,97 | 39,8 | 288,18 | 334,54 | 108,4 | 0,19 | 12,79 | 35,11 |
| Чушка | 1994-2009 | 18 | 7,7 | 11,23 | 3600 | 3710 | 3760 | 23,16 | 28 | 33,31 | 34,22 | 43,2 | 0,13 | 6,79 | 42,52 |
| Фанталовский | 2001 | | 7,1 | 28,4 | 1360 | 16120 | 10530 | 9,9 | 93 | 130,3 | 160,5 | 43,2 | 0,28 | 5,17 | 109,5 |
| Синяя Балка | 1968-2001 | | 9 | 12,15 | 3670 | 4180 | 4160 | 113,25 | 34,13 | 18,7 | 14,1 | 33,9 | 0,09 | 12,56 | 29,68 |
| Гнилая | 1968-2009 | 25,3 | 8,7 | 13,01 | 2950 | 5460 | 4620 | 30,95 | 10,61 | 57,99 | 39,73 | 32,7 | | 2,67 | 23,23 |
| Миска | 1994-2001 | | 8,1 | 14,94 | 1990 | 7170 | 5400 | 258,55 | 30,8 | 13,3 | 88,3 | 15,4 | 0,9 | 5,53 | 30,72 |
| Сопка | 2009 | 25,5 | 8,8 | 9,19 | 1830 | 3050 | 2900 | 1200,57 | 12,85 | 9,74 | 10,87 | 213,8 | 0,18 | 6 | 29,63 |
| Голубицкий | 1994 | | 7,9 | 12,7 | 1230 | 6880 | 4130 | 20,5 | 101,5 | 110,5 | 203 | | | 22,5 | |
| Киевский | 1994 | | 7,9 | 7,3 | 2510 | 4510 | | 19,21 | | 76,2 | 146 | | | | |

Данные химического анализа сопочных вод и других водных объектов Восточного Крыма

| Sample Name | название | УЭП | Na | | K | | Ca | | Mg | | CO3 | HCO3 | Cl | | SO4 | | Ca+Mg | | Na | Br | I | S | B | Fe | In | Rh | Si | Sr | Ba | Be | Li |
|-------------|----------|---|--------|--------|------|-------|--------|------|----------|---------|---------|--------|-------|-------|------|------|-------|-------|------|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|----|----|----|
| | | | мг/л | мг/л | мг/л | мг/л | мг/л | мг/л | мг/л | мг/л | | | мг/л | мг/л | мг/л | мг/л | мг/л | мг/л | | | | | | | | | | | | | |
| 001_d10 | 31-17 | Колодец Тобечик | 1,19 | 51 | 0,2 | 9,6 | 2,9 | | | | | 378,2 | 325,5 | 84,53 | 4,8 | 300 | 5,13 | 0 | 11 | 0,31 | 0,08 | 1,9 | 1,1 | 3 | 0,023 | 0,0065 | 0,004 | 0,0076 | | | |
| 002_d10 | 33-17 | Вулкан Костырино | 19,22 | 4200 | 2,7 | 5 | 3,8 | 2100 | 10217,5 | 5092,5 | 12,48 | 2,2 | 4000 | 470 | 22 | 5,5 | 0,018 | 0,16 | 2,2 | 1,1 | 1,6 | 0,12 | 0,2 | 0,0043 | 0,076 | | | | | | |
| 003_d10 | 34-17 | Грифон Центральной сопки | 18,84 | 3900 | 4,3 | 4,8 | 6,5 | 1200 | 6710 | 4270 | 254,07 | 0,3 | 4000 | 330 | 31 | 25 | 0,16 | 0,082 | 3,8 | 1,1 | 2,8 | 0,16 | 0,066 | 0,0043 | 0,23 | | | | | | |
| 004_d10 | 35-17 | 100 м от Центр. сопки по азимуту 340° | 16,11 | 3200 | 2,5 | 5,7 | 4,8 | 2640 | 4148 | 3920 | 98 | 0,5 | 3900 | 132 | 0,05 | 6,5 | 0,12 | | 2,9 | 1,1 | 2,3 | 0,073 | 0,04 | 0,0043 | 0,16 | | | | | | |
| 005_d10 | 37-17 | Костырино, дужа у бочек | >20,00 | 4500 | 3,5 | 2,7 | 10 | | 12428,75 | 5110 | 12,48 | 5,6 | 4000 | 370 | 32 | 2,2 | 7 | 0,14 | 5,7 | 1,1 | 1,7 | 0,05 | 0,18 | 0,0043 | 0,099 | | | | | | |
| 006_d10 | 38-17 | вулкан Тобечик | 19,07 | 3600 | 2,9 | 5,3 | 7,9 | 2160 | 3050 | 5250 | 65 | 3,4 | 3900 | 660 | 37 | 4,1 | 6,4 | | 4,6 | 1,1 | 1,3 | 0,079 | 0,035 | 0,0043 | 0,063 | | | | | | |
| 007_d10 | 39-17 | вулкан Тищенко | 15,17 | 3100 | 3,1 | 3 | 12 | 3360 | 3538 | | 84,53 | 2,8 | 2200 | 145 | 0 | 9,1 | 94 | 0,94 | 6,7 | 1,1 | 3,3 | 0,056 | 0,031 | 0,0043 | 0,096 | | | | | | |
| 008_d10 | 40-17 | грифон Тищенко восточной части | >20,00 | 8000 | 4 | 3,7 | 17 | 2328 | 5264,3 | | 1334,87 | 12 | 11600 | 490 | 16,9 | 17 | 330 | 0,18 | 9,2 | 1,1 | 0,92 | 0,067 | 0,017 | 0,0043 | 0,086 | | | | | | |
| 009_d10 | 43-17 | южный грифон вулкана Андрусона | 15,88 | 3100 | 2,5 | 2,7 | 5 | 2880 | 3904 | 3570 | 67,58 | 8 | 3900 | 210 | 10 | 7,4 | 110 | | 3 | 1,1 | 2,1 | 0,07 | 0,037 | 0,0043 | 0,15 | | | | | | |
| 010_d10 | 44-17 | конус Абиха | >20,00 | 7000 | 5,5 | 3,8 | 6 | 3300 | 8771,8 | 8680 | 559,24 | 3,6 | 8000 | 630 | 82 | 66 | 320 | 0,22 | 3,5 | 1,1 | 1 | 0,088 | 0,04 | 0,0043 | 0,28 | | | | | | |
| 011_d10 | 45-17 | оз. Вернадского | 15,77 | 3100 | 4 | 5,3 | 5,9 | 1440 | 5490 | 3570 | 59,1 | 5 | 4000 | 351 | 31,1 | 7 | 110 | | 3,5 | 1,1 | 3,2 | 0,15 | 0,07 | 0,0043 | 0,2 | | | | | | |
| 012_d10 | 46-17 | оз. Ольденбургского | >20,00 | 4600 | 6 | 2,1 | 13 | 2640 | 6466 | | 12,48 | 6,2 | 5000 | 305 | 33 | 4,1 | 170 | | 7,6 | 1,1 | 1,4 | 0,068 | 0,023 | 0,0044 | 0,26 | | | | | | |
| 013_d10 | 47-17 | грифоны восточной части Обручева | 15,45 | 3000 | 4,7 | 2,2 | 19 | 960 | 6100 | 3500 | 67,58 | 9,7 | 3900 | 230 | 17 | 3,4 | 100 | | 11 | 1,1 | 2,2 | 0,056 | 0,017 | 0,0043 | 0,15 | | | | | | |
| 014_d10 | 48-17 | основное жерло вулкана Обручева | >20,00 | 4700 | 7,5 | 5,8 | 35 | 2640 | 4758 | 5320 | 2038,46 | 12 | 5000 | 351 | 31 | 260 | 140 | | 17 | 1,1 | 1,4 | 0,023 | 0,0037 | 0,0043 | 0,25 | | | | | | |
| 015_d10 | 49-17 | ист. под горой из трубы в Обручева (Булганак) | 15,19 | 2800 | 4,2 | 9,3 | 16 | | 7198 | 3220 | 40 | 18,1 | 3900 | 345 | 27,6 | 2,8 | 94 | | 8,8 | 1,1 | 2,6 | 0,12 | 0,074 | 0,0043 | 0,13 | | | | | | |
| 016_d10 | 50-17 | Выходы на дне оврага | 16,26 | 3100 | 4,3 | 5,4 | 17 | 1920 | 5734 | 3500 | 0 | 16,7 | 3900 | 340 | 28,5 | 1,2 | 100 | | 9,3 | 1,1 | 1,2 | 0,018 | 0,014 | 0,0043 | 0,13 | | | | | | |
| 017_d10 | 51-17 | Ставок Бондаренково | 6,15 | 720 | 1,1 | 13 | 30 | 48 | 829,6 | 1032,5 | 1381,5 | 20,4 | 2200 | 32 | 0 | 180 | 7,2 | 0,11 | 16 | 1,1 | 0,66 | 0,11 | 0,007 | 0,0042 | 0,02 | | | | | | |
| 018_d10 | 52-17 | вод из лужи (вулкан без названия) | >20,00 | !!!!!! | 41 | 5,1 | !!!!!! | | 5319,2 | | 4492,52 | 24,3 | 0 | 0,2 | 0 | 6800 | 210 | 0,21 | | 0,96 | 0,45 | 0,077 | | 0,0034 | 1,2 | | | | | | |
| 019_d10 | 53-17 | небольшое озеро в камышах | >20,00 | 6600 | 6,3 | 0,094 | 310 | | 1342 | 8400 | 4255,17 | 68,4 | 8000 | 163 | 0 | 1100 | 19 | 0,12 | | 1,1 | 1 | 0,21 | 0,0048 | 0,0043 | 0,12 | | | | | | |
| 020_d10 | 54-17 | между дорогой и сопкой Обручева | >20,00 | 35000 | 30 | 120 | 140 | | 2440 | | 5128,29 | 430 | 0 | 1400 | 1,3 | 5500 | 120 | | 1 | 0,5 | 4,9 | 0,0045 | 0,0037 | 0,43 | | | | | | | |
| 021_d10 | 55-17 | Вулкан Трубенского | 15,12 | 2900 | 4,6 | 4,9 | 11 | 1200 | 4758 | 4130 | 131,15 | 53 | 3900 | 460 | 27 | 32 | 110 | | 6,6 | 1,1 | 2,8 | 0,1 | 0,042 | 0,0043 | 0,21 | | | | | | |
| 022_d10 | 56-17 | вост. грифон сопки Трубенского | >20,00 | 5700 | 6,2 | 6,1 | 31 | 1248 | 8125,2 | 6409,55 | 85 | 13,6 | 5000 | 650 | 140 | 8,1 | 150 | 0,065 | 15 | 1,1 | 2,5 | 0,067 | 0,029 | 0,0043 | 0,18 | | | | | | |
| 023_d10 | 57-17 | грифон Цветочек | 16,35 | 3100 | 1,5 | 5,9 | 3,7 | 5250 | 6938,75 | 4060 | 20,95 | 10,4 | 3900 | 420 | 45 | 2 | 120 | | 2,3 | 1,1 | 3,6 | 0,055 | 0,026 | 0,0043 | 0,083 | | | | | | |
| 024_d10 | 58-17 | грифон Елена | | 3600 | 2,4 | 3,1 | 6,8 | | | | | | | | | 31 | 110 | | 4 | 1,1 | 1,3 | 0,068 | 0,037 | 0,0043 | 0,13 | | | | | | |
| 025_d10 | 59-17 | грифон Анастасия | 14,84 | 2900 | 2,4 | 4,5 | 15 | 2400 | 3904 | | 25,19 | 13 | 3900 | 158 | 2,6 | 3,1 | 130 | | 8,3 | 1,1 | 1,3 | 0,096 | 0,12 | 0,0043 | 0,078 | | | | | | |
| 026_d10 | 50-17(1) | Основное широкое жерло Шилова | 16,27 | 3200 | 2 | 3,5 | 14 | | 6636,8 | 4060 | 109,96 | 5,2 | 2200 | 150 | 11 | 14 | 120 | | 8 | 1,1 | 1,8 | 0,083 | 0,061 | 0,0043 | 0,1 | | | | | | |
| 027_d10 | 50-17(2) | Основное узкое жерло Шилова | 16,95 | 3400 | 2 | 3,1 | 12 | 2250 | 7243,75 | 3150 | 88,77 | 6,4 | 2200 | 394 | 32 | 10 | 120 | 0,15 | 6,5 | 0,99 | 1,9 | 0,092 | 0,075 | 0,0045 | 0,11 | | | | | | |
| 028_d10 | 61-17 | болото близ Шилова | 7,36 | 1000 | 1,8 | 4,8 | 35 | 504 | 1488,4 | 1369,2 | 1241,63 | 19 | 1900 | 50 | 0,05 | 160 | 22 | 0,06 | 0 | 0,96 | 0,45 | 0,039 | 0,0078 | 0,0045 | 0,049 | | | | | | |
| 029_d10 | 62-17 | Западная группа Шилова | 16,58 | 3000 | 2,5 | 3 | 16 | 2640 | 3172 | | 130 | 7,3 | 2200 | 615 | 35 | 7,5 | 110 | | 8,6 | 0,97 | 1,8 | 0,089 | 0,073 | 0,0045 | 0,099 | | | | | | |
| 030_d10 | 63-17 | вод из-под крана (скв) Бондаренково | 2,43 | 190 | 2,1 | 8,3 | 22 | | 707,6 | 329 | 487,18 | 13,4 | 700 | 25 | 0,01 | 66 | 4,2 | 0,09 | 12 | 0,97 | 2,6 | 0,58 | 0,01 | 0,0044 | 0,01 | | | | | | |
| 031_d10 | 64-17 | Центральное озеро, Булганак | >20,00 | 4300 | 5,2 | 3,7 | 3,6 | 4800 | 8845 | 5215 | 63,34 | 1,6 | 4000 | 160 | 0 | 6,7 | 160 | | 2,2 | 0,98 | 3,9 | 0,083 | 0,047 | 0,0045 | 0,33 | | | | | | |
| 032_d10 | 65-17 | Колодец у озера Чокрак | 16,35 | 2400 | 7,4 | 97 | 140 | | 427 | 5316,5 | 957,65 | 46 | 3900 | 148 | 0 | 130 | 1,5 | 0,098 | | 0,96 | 1,1 | 0,23 | 0,011 | 0,0045 | 0,0088 | | | | | | |
| 033_d10 | 66-17 | сероводородный ист. 1, Сююрташ | >20,00 | 7300 | 5,9 | 960 | 400 | | 634,4 | 14525 | 5230,01 | 158,75 | 8000 | 335 | 0,5 | 690 | 3,3 | 0,28 | | 0,97 | 0,95 | 0,84 | 0,0068 | 0,0045 | 0,12 | | | | | | |
| 034_d10 | 67-17 | сероводородный ист. 2, Сююрташ | >20,00 | 13000 | 11 | 960 | 720 | | 451,4 | 31640 | 5408,02 | 282,5 | 0 | 720 | 10 | 1100 | 5,1 | 0,42 | | 0,96 | 1,1 | 5,9 | 0,02 | 0,0045 | 0,21 | | | | | | |
| 035_d10 | 68-17 | устье ручья у Сююрташ | >20,00 | 6000 | 8,6 | 740 | 360 | | 610 | 12705 | 5153,72 | 254,7 | 8000 | 240 | 0 | 620 | 2,7 | 0,89 | | 0,98 | 0,7 | 0,74 | 0,0067 | 0,0045 | 0,11 | | | | | | |
| 036_d10 | 69-17 | Опук родник | 1,01 | 27 | 0,37 | 5,8 | 9,2 | | 219,6 | 140 | 67,58 | 7 | 300 | 20 | 0 | 9,5 | 0,76 | 0,092 | 5,9 | 0,99 | 1,9 | 0,2 | 0,0063 | 0,0043 | | | | | | | |
| 037_d10 | 70-17 | Курортное, скважина | 11,5 | 1300 | 6,2 | 84 | 43 | | 707,6 | 3535 | 669,44 | 34,4 | 2200 | 101 | 0 | 84 | 0,8 | | 0,98 | 1,1 | 0,15 | 0,0089 | 0,0043 | 0,0083 | | | | | | | |
| 038_d10 | 71-17 | Золотое, скважина 100 м | 2,42 | 180 | 1,1 | 9,1 | 26 | | 488 | 854 | 538,04 | 16,4 | 700 | 25 | 0 | 68 | 0,75 | 0,13 | 14 | 0,99 | 4,8 | 0,23 | 0,0041 | 0,0043 | 0,01 | | | | | | |
| 039_d10 | 72-17 | Марфовка скважина | 5,45 | 410 | 1,7 | 140 | 43 | | 829,6 | 1540 | 1936,73 | 42 | 1000 | 36 | 0 | 240 | 0,9 | 0,081 | | 0,99 | 2,3 | 0,47 | 0,0042 | 0,0043 | 0,011 | | | | | | |
| 040_d10 | 73-17 | Марфовка ручей | 6,07 | 390 | 1,3 | 190 | 120 | | 756,4 | 836,5 | 2466,54 | 57,6 | 1000 | 39 | 0 | 310 | 0,94 | 0,11 | | 0,99 | 1,9 | 0,61 | | 0,0043 | 0,011 | | | | | | |

Данные изотопного состава сопочных вод и других водных объектов Восточного Крыма

| № пп | № пробы | № лабораторный | Название | $\delta^{18}\text{O}$, ‰ SMOW | $\delta^2\text{H}$, ‰ SMOW |
|------|-------------|----------------|--|--------------------------------|-----------------------------|
| 1 | 31-17 | P-26008 | Колодец Тобечик | -8,1 | -53 |
| 2 | 33-17 | P-26009 | Вулкан Костырино | 1,9 | -23 |
| 3 | 34-17 | P-26010 | Грифон Центральной сопки | 11,7 | -15 |
| 4 | 35-17 | P-26011 | 100 м от Центр. сопки по азимуту 340° | 12,0 | -15 |
| 5 | 37-17 | P-26012 | Костырино, лужа у бочек | 1,7 | -17 |
| 6 | 38-17 | P-26013 | вулкан Тобечик | 3,7 | -17 |
| 7 | 39-17 | P-26014 | вулкан Тищенко | 8,4 | -28 |
| 8 | 40-17 | P-26015 | грифон Тищенко восточной части | 3,5 | -21 |
| 9 | 43-17 | P-26016 | южный грифон вулкана Андрусова | 11,8 | -19 |
| 10 | 44-17 | P-26017 | конус Абиха | 5,7 | -27 |
| 11 | 45 - 17 | P-26018 | оз. Вернадского | 11,7 | -21 |
| 12 | 46 - 17 | P-26019 | оз. Ольденбургского | 8,6 | -6 |
| 13 | 47 - 17 | P-26020 | грифоны восточной части Обручева | 10,9 | -24 |
| 14 | 48 - 17 | P-26021 | основное жерло вулкана Обручева | 7,3 | -24 |
| 15 | 49 - 17 | P-26022 | ист. под горой из трубы в. Обручева (Булганак) | 10,8 | -25 |
| 16 | 50 - 17 | P-26023 | Выходы на дне оврага | 10,0 | -18 |
| 17 | 51 - 17 | P-26024 | Ставок Бондаренково | 3,9 | -12 |
| 18 | 52 - 17 | P-26025 | вода из лужи (вулкан без названия) | 4,6 | -14 |
| 19 | 53 - 17 | P-26026 | небольшое озеро в камышах | -0,7 | -13 |
| 20 | 54 - 17 | P-26027 | между дорогой и сопкой Обручева | 4,8 | -1 |
| 21 | 55 - 17 | P-26028 | Вулкан Трубецкого | 10,0 | -26 |
| 22 | 56 - 17 | P-26029 | вост. грифон сопки Трубецкого | 8,3 | -23 |
| 23 | 57 - 17 | P-26030 | грифон Цветочек | 10,2 | -25 |
| 24 | 58 - 17 | P-26031 | грифон Елена | 6,7 | -32 |
| 25 | 59 - 17 | P-26032 | грифон Анастасия | 9,4 | -26 |
| 26 | 60 - 17 (1) | P-26033 | Основное широкое жерло Шилова | 9,5 | -24 |
| 27 | 60 - 17 (2) | P-26034 | Основное узкое жерло Шилова | 8,8 | -29 |
| 28 | 61 - 17 | P-26035 | болото близ Шилова | -0,1 | -16 |
| 29 | 62-17 | P-26036 | Западная группа Шилова | 8,3 | -27 |
| 30 | 63-17 | P-26037 | вода из-под крана (скв) Бондаренково | -6,5 | -59 |
| 31 | 64 -17 | P-26038 | Центральное озеро, Булганак | 10,3 | -20 |
| 32 | 65 -17 | P-26039 | Колодец у озера Чокрак | -0,9 | -30 |
| 33 | 66 -17 | P-26040 | сероводородный ист. 1, Сююрташ | -1,9 | -30 |
| 34 | 67 -17 | P-26041 | сероводородный ист. 2, Сююрташ | 4,2 | -2 |
| 35 | 68 -17 | P-26042 | устье ручья у Сююрташ | -1,7 | -26 |
| 36 | 69 -17 | P-26043 | Опук родник | -9,2 | -55 |
| 37 | 70 -17 | P-26044 | Курортное, скважина | -7,0 | -51 |
| 38 | 71 -17 | P-26045 | Золотое. Скважина 100 м | -2,3 | -43 |
| 39 | 72 -17 | P-26046 | Марфовка скважина | -11,3 | -78 |
| 40 | 73 -17 | P-26047 | Марфовка ручей | -9,4 | -71 |