

Санкт-Петербургский государственный университет

ГОЛЬМ Мария Александровна

Выпускная квалификационная работа

***Основные факторы формирования химического и изотопного состава
подземных вод Горного Крыма***

Уровень образования: бакалавриат
Направление *05.03.01 «Геология»*
Основная образовательная программа *СВ.5018.2013 «Геология»*

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

Рецензент:
доцент кафедры гидрогеологии
геологического факультета МГУ
им. М.В. Ломоносова,
к.г.-м.н. Е.А. Филимонова

Санкт-Петербург

2020

АННОТАЦИЯ

Выпускная квалификационная работа посвящена основным факторам формирования химического и изотопного состава подземных вод Горного Крыма в восточной части Бахчисарайского района.

Данная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и 3 приложений и включает в себя 61 страниц, 26 иллюстраций, 10 таблиц и список использованной литературы.

В ней рассматриваются физико-географические и геолого-гидрогеологические условия изучаемой области. Приведены сведения о полевых и лабораторных методах исследования химического и изотопного состава природных вод, представлены литературные и полученные в процессе написания работы результаты химического и изотопного анализа подземных вод, на основании которых выполнено обоснование основных факторов формирования грунтовых вод на территории Горного Крыма.

Ключевые слова: Горный Крым, подземные воды, атмосферные осадки Крыма, геология Крыма, гидрогеология Крыма.

ANNOTATION

The final qualification work is concerned with main factors of the chemical and isotopic composition formation of underground waters of the Crimean Mountains in the eastern part of the Bakhchisarai district.

This work consists of an introduction, 4 chapters, conclusion and 3 applications and includes 61 pages, 26 illustrations, 10 tables and a list of literature.

It considers the physical-geographical and geological-hydrogeological conditions of the study area. It presents information on field and laboratory methods for studying the chemical and isotopic composition of natural waters, the literature, as well as presentation of results of chemical and isotopic analysis of groundwater, which were obtained during the writing of the work, on the basis of which the substantiation of the main factors of groundwater formation in the territory of the Mountain Crimea was carried out.

Key words: Mountain Crimea, groundwater, atmospheric precipitation of Crimea, Crimean geology, Crimean hydrogeology.

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
СПИСОК ПРИНЯТЫХ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ	4
ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	7
1.1 Общие сведения	7
1.2 Климат	12
1.3 Растительные покровы	13
1.4 Гидрография	14
Глава 2. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ	16
2.1 Геологические условия	16
2.1.1 Геологическое районирование	16
2.1.2 Геологическое строение	18
2.1.3 Стратиграфия	21
2.2 Гидрогеологические условия	26
2.2.1 Гидрогеологическое районирование	26
2.2.2 Гидрогеологическая характеристика Горного Крыма	28
Глава 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ	30
3.1 Подготовительный этап	30
3.2 Полевые исследования	31
3.3 Лабораторные исследования	31
3.3.1 Химические методы анализа	31
3.3.2 Инструментальные методы анализа	33
3.3.3 Изотопные исследования	34
3.4 Методы обработки данных	34
Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ	36
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	53
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	54
ПРИЛОЖЕНИЯ	59

СПИСОК ПРИНЯТЫХ ТЕРМИНОВ И СОКРАЩЕНИЙ

абс. отм. – абсолютная отметка

г. – год

г. – город

гг. – годы

д. – деревня

п. – поселок

ПДК - предельно допустимая концентрация

р. – река

с. – село

сред. – средний

ур. м. – уровень моря

УЭП – удельная электропроводность

ВВЕДЕНИЕ

До перекрытия Северо-Крымского канала в 2014 г., его вклад в водоснабжение составлял до 80-85% и обеспечивал технические нужды Крымского полуострова. На сегодняшний день ведущую роль в водном балансе Крыма играют воды естественного стока.

Вследствие климатических и географических условий вопрос нехватки качественной воды в Горном Крыму стоит не столь остро как в Равнинном. Период максимального выпадения атмосферных осадков относительно других сезонов – осенне-зимний, в весенний и летний сезоны часто проходят ливни и небольшие морозящие дожди.

Проблема водных ресурсов Крыма заключается в непостоянстве стока и потере большого количества воды вследствие природных и антропогенных факторов. В сложившейся ситуации важно найти рациональный подход к использованию природных вод. По словам министра природных ресурсов и экологии России Дмитрий Кобылкин: «По анализу, по которому мы смотрим, расход воды увеличивается при приблизительно таком же населении и не особом росте производств, связанных с расходом воды. Это говорит о том, что нужно более рачительно относиться к расходу воды самим крымчанам» (Крымский..., 15.03.2020). В странах Ближнего Востока существует подобная проблема с нехваткой воды, но вследствие бережного отношения к эксплуатации, данная проблема минимизирована (Устойчивый..., 2003).

Для частичного решения проблемы потери стока, реки зарегулированы за счёт водохранилищ и ставков (укр. *ставок* – пруд). В области горного Крыма существует 15 крупных водохранилищ естественного стока с общим объемом воды 253,1 млн. м³ и множество ставков (Каюкова, Юровский, 2016). В частности, в бассейне р. Бодрак существует около двух десятков водоемов сезонного регулирования.

В связи с перечисленными проблемами необходимо обратить внимание на все элементы водного баланса территории и рачительно подойти к эксплуатации природных вод. Поскольку одним из главных факторов формирования природных вод Горного Крыма являются атмосферные осадки, внимание автора было уделено их химическому составу.

Объект исследования – природные воды восточной части Бахчисарайского района Крыма, в частности Крымского учебного полигона СПбГУ, расположенного в долине среднего течения р. Бодрак.

Предмет исследования – химический и изотопный состав атмосферных осадков, подземных и поверхностных вод, качественные характеристики и их вариации на фоне постоянного изменения климата.

Цель работы – выявление основных факторов и закономерностей формирования химического и изотопного состава природных вод Горного Крыма.

Задачи, направленные на достижение поставленной цели:

1. Сбор фактического материала, изучение геологических, гидрогеологических и климатических особенностей территории северо-западной части Горного Крыма.

2. Изучение химического и изотопного состава природных вод.

3. Оценка экологического состояния природных вод Горного Крыма.

4. Математическая и графическая обработка литературных и собственных данных изотопного и химического состава природных вод с использованием комплекса компьютерных программ Microsoft Office (Word, Excel), компьютерного обеспечения для построения химических диаграмм AqQa и приложений, основанных на картографии (Google Earth Pro, SAS.Planet, ArcGIS).

Фактический материал и личный вклад автора. Выпускная квалификационная работа основана на материале, полученном в течение производственной гидрогеологической практики, проходившей в июле 2019 г. в восточной части Бахчисарайского района Крыма в д. Трудюлюбовка и п. Скалистое. Помимо этого, использовались литературные данные, климатические данные с метеостанций и данные химического и изотопного анализа за предыдущие годы.

Была отобрана и изучена 61 проба природных вод: 32 пробы подземных вод, 14 проб поверхностных вод и 15 проб атмосферных осадков.

Практическое значение. Вследствие сложившейся на сегодняшний день политической, экономической и климатической ситуации на Крымском полуострове, данная работа актуальна для рационального использования водных ресурсов.

Благодарности. Автор выражает огромную благодарность своему научному руководителю к.г.-м.н. Е.П. Каюковой, рецензенту к.г.-м.н. Е.А. Филимоновой и ст. преподавателю кафедры региональной геологии Е.Б. Морозовой. Автор выражает особую признательность заведующей гидрохимической лаборатории кафедры гидрогеологии СПбГУ Н.И. Суминой и сотруднику ресурсного центра СПбГУ «Геомодель» к.г.-м.н. И.В. Токареву.

Глава 1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

1.1 Общие сведения

Крымский полуостров располагается на юге России (между $44^{\circ}23'14''$ и $46^{\circ}13'37''$ северной широты, между $32^{\circ}28'47''$ и $36^{\circ}38'49''$ восточной долготы) и занимает площадь около 27 тыс. км².

Полуостров омывается Черным и Азовским морями, воды которых принадлежат к Атлантическому океану. Суммарная протяженность береговой линии Крыма составляет около 2500 км (750 км – длина побережья Черного моря, 500 км – Азовского моря) (рис. 1) (МЧС..., 17.04.2020).

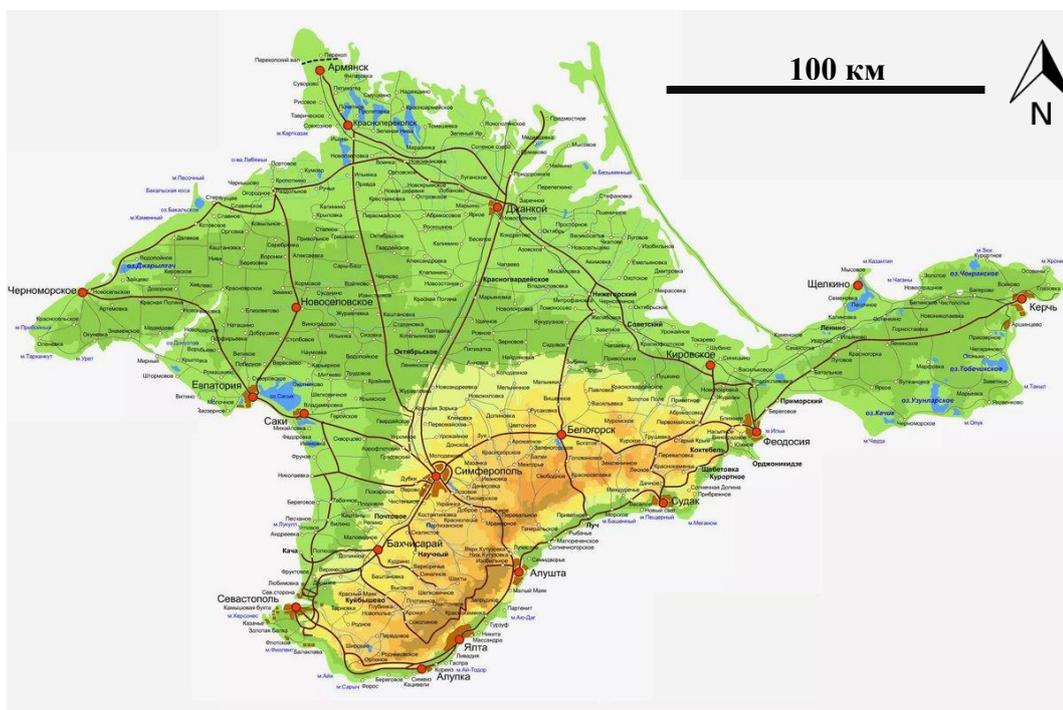


Рис. 1. Физическая карта Крымского полуострова (КрымPress, 14.04.2020)

Крымский полуостров подразделяется на три части, различающиеся между собой строением рельефа. Таким образом, на востоке выделяют Керченский полуостров, на севере - Равнинный Крым, а на юге - Горный Крым, о котором в дальнейшем пойдет речь.

Горные образования Крыма протягиваются с юго-запада на северо-восток 150–ти километровой дугой шириной 50 км в поперечном сечении (Гидрогеология...,1970). В области горного Крыма выделяется три субпараллельных вытянутых хребта: Первая гряда (Главная); Вторая гряда (Внутренняя); Третья гряда (Внешняя). Район исследований располагается в пределах Второй гряды.

Наиболее высокими гипсометрическими отметками характеризуется Главная гряда Крымских гор, представленная системой хребтов и цепью столовых массивов с яйлами (плоские, покрытые растительностью территории на вершинах массивов). На одном из таких массивов, а именно на самом высоком массиве Бабуган, находится наивысшая точка Крыма – гора Роман-Кош, абсолютная отметка которой достигает 1545 м (Гидрогеология..., 1970).

Область Внутренней гряды представлена системой четко выраженных куэст с расчлененными речными долинами, оврагами и балками. Самая высокая точка гряды – гора Кубалач, расположенная на высоте 738 м над ур. м. Северная и северо-западная часть Внутренней гряды падает под небольшим углом (8-10°), в южной и юго-восточной части развиты обрывистые эродированные уступы (Гидрогеология..., 1970).

Внешняя гряда отличается от Главной и Внутренней гряд более низкими отметками рельефа. Характерные высоты для данной области – 150-350 м над ур. м. (наивысшая точка – 352 м) с наклонами пластов от субгоризонтальных до 3-5°. На юге и юго-востоке гряда имеет обрывистый характер рельефа и с хорошо развитой овраго-балочной сетью, образовавшейся в связи с уклонами вследствие приподнятости территории и близости базиса эрозии (Каюкова, Котова, 2017). В северной части гряды происходит выполаживание к равнине.

Гряды разделены между собой продольными долинами с холмистым рельефом, сложенными суглинистыми и щебенистыми породами делювия, пролювия и аллювия.

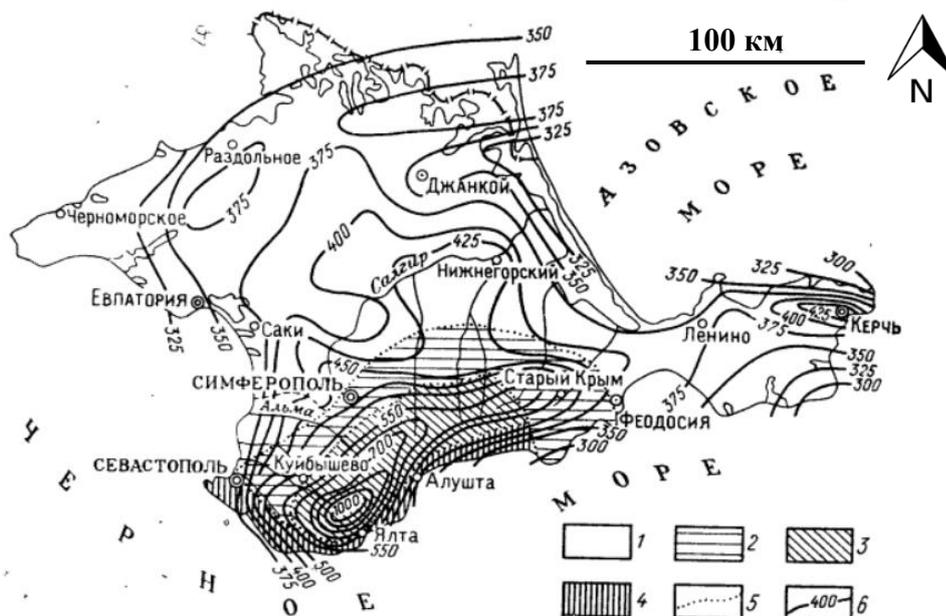
Район исследования – Горный Крым, в частности среднее течение долины р. Бодрак; по административному районированию – восточная часть Бахчисарайского района в д. Трудолюбовка и п. Скалистое.

1.2 Климат

Климат Крымского полуострова главным образом формируется за счет географического положения, солнечной радиации, движения воздушных масс, особенностей рельефа и омывающих полуостров морей. Именно из-за смягчающего воздействия Черного моря среднегодовая температура в Крыму на 1,1-1,3°С выше, чем на такой же широте в других областях (Олиферов, 1971).

Крымские горы оказывают непосредственное влияние на формирование климата полуострова. Главная гряда играет барьерную роль при ветровом режиме и задерживает тучи, вследствие чего в данной области обильно выпадают атмосферные осадки.

На полуострове выделяется четыре климатических района: южнобережный, предгорный, горный и степной (рис. 2) (Борисов, 1955). Область всего Горного Крыма расположена в предгорном, горном и южнобережном климатическом районе. Внутренняя и Внешняя гряды Крымских гор приурочены к предгорному климатическому району, который в свою очередь является переходной зоной от степного к горному климату.



1-4 – климатические районы; 1 – степной; 2 – предгорный; 3 – горный; 4 – южнобережный; 5 – границы климатических районов; 6 – изогипсы (Шликер, 1957)

Рис. 2. Схематическая карта климатов Крыма (Борисов, 1955)

Северо-западные склоны Крымских гор расположены в районе умеренно-континентального климата. По данным метеорологической станции п. Почтовый, среднегодовые температуры данной области за последние 30 лет (1989-2019 гг.) составляют около $+12^{\circ}\text{C}$, среднемесячные температуры июля – $+22,5^{\circ}\text{C}$ (от $+18,9^{\circ}$ до $+24,7^{\circ}$), среднемесячные температуры января – $1,5^{\circ}\text{C}$ (от $-1,2^{\circ}$ до $5,0^{\circ}$) (Погода..., 09.03.2020). Метеорологическая станция расположена на 172 м над ур. м. и находится в 6 км от базы СПбГУ (270 м над ур. моря) (Каюкова, 2010). Вертикальные градиенты среднемесячной температуры для Горного Крыма с подъемом уменьшаются примерно на $0,62^{\circ}$ на каждые 100 м (табл.1) (Каюкова, 2010; Климат..., 1967).

Таблица 1

Вертикальные градиенты температур, $^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ (Каюкова, 2010; Климат..., 1967)

январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	средние годовые
0,65	0,62	0,58	0,57	0,55	0,64	0,72	0,71	0,65	0,55	0,58	0,62	0,62

Особенно широкое влияние на влагосодержание и тепловые свойства атмосферы над Крымом оказывает адвекция (горизонтальный перенос) тепла и влаги в циркуляции атмосферы, также большой вклад несут горно-долинные и склоновые ветры, бризы.

А.Н. Олиферов выделяет в Крыму три основных типа перемещения воздушных масс: потоки тропического воздуха, распространение морского арктического северо-западного воздуха, влияние арктического или континентального воздуха на северо-востоке. По данным П.Д. Подгородецкого (1988) в течение года в Крыму преобладают ветры северо-восточного, юго-западного и северо-западного направлений. По данным сайта погоды Meteoblu за период 1989-2019 гг. в районе предгорья ветер преимущественно северо-восточного и западного направления со средними скоростями 1-3 м/с до 5-8 м/с (рис. 3).

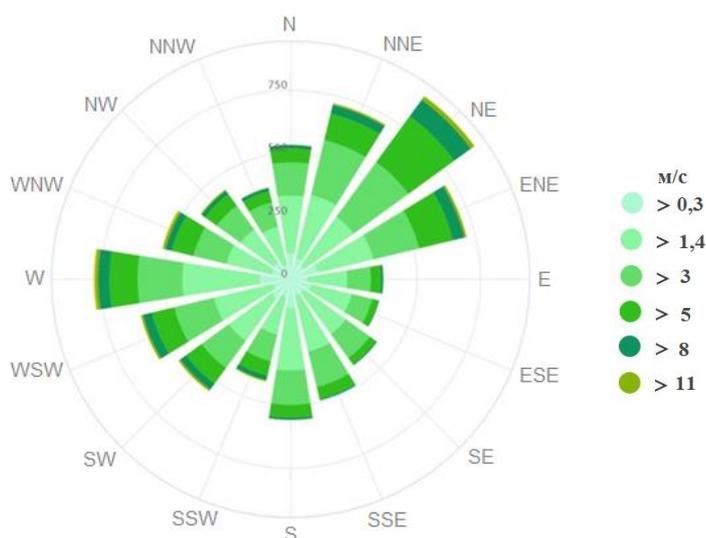


Рис. 3. Роза ветров г. Симферополь. Средние значения за 1989-2019 гг. (Meteoblu, 27.04.2019)

Межширотная, меридиональная циркуляция воздушных масс производится благодаря деятельности циклонов и антициклонов. Антициклоны проявляются чаще и сильнее, особенно в летний сезон. Их деятельность приводит к размыву атмосферных фронтов и формированию воздушных масс с локальными свойствами. При прохождении фронтов циклонов, в Крыму выпадает наибольшее количество осадков (Подгородецкий, 1988).

По данным П.Д. Подгородецкого (1988) в теплый период года в виде осадков выпадает 43,6%, а в холодный — 15,5%. Это означает, что летом в Крыму выпадает больше атмосферных осадков, чем зимой. Осадки составляют примерно 27,6% влаги, содержащейся в атмосфере Крымского полуострова в течение года.

По данным сайта погоды Meteoblue среднегодовое значение атм зосферных осадков в горном Крыму за 1989-2019 гг. составляет 450-500 мм/год (рис.4). Среднегодовое значение атмосферных осадков возрастает на 50-70 мм на каждые 100 м подъема (Каюкова, 2010; Изменение..., 2007).

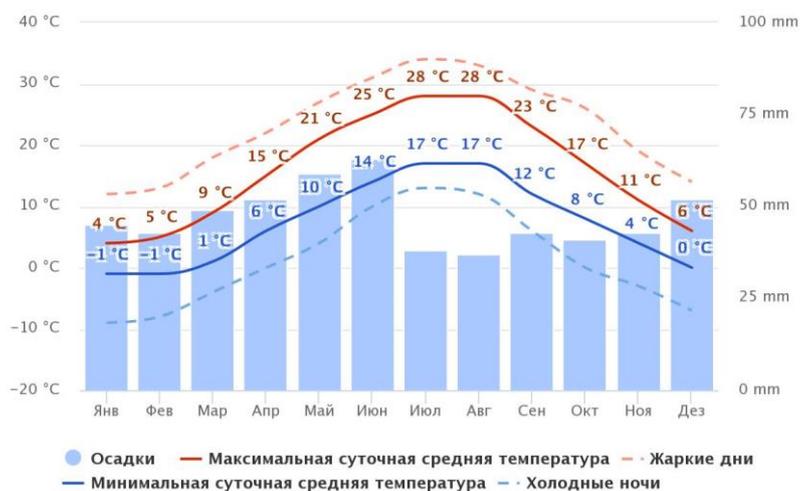


Рис. 4. График минимальных и максимальных среднегодовых температур (°C) и осадков (мм) г. Симферополь за 1989-2019 гг. (Meteoblue, 27.04.2019)

В Горном и Предгорном Крыму установлено возрастание потенциальной гидрометеорологической опасности вследствие тенденций изменения климата и увеличения частоты опасных гидрометеорологических явлений (явления, представляющие угрозу и несущие ущерб сельскохозяйственной деятельности и населению) (Жук, 2019). На Крымском полуострове около 80% годовой суммы осадков приходится на дожди, часто ливневые. За период 2013-2018 гг. самые ливнеопасные зоны отмечаются именно в Горном Крыму (рис. 5) (Жук, Ергина 2018).

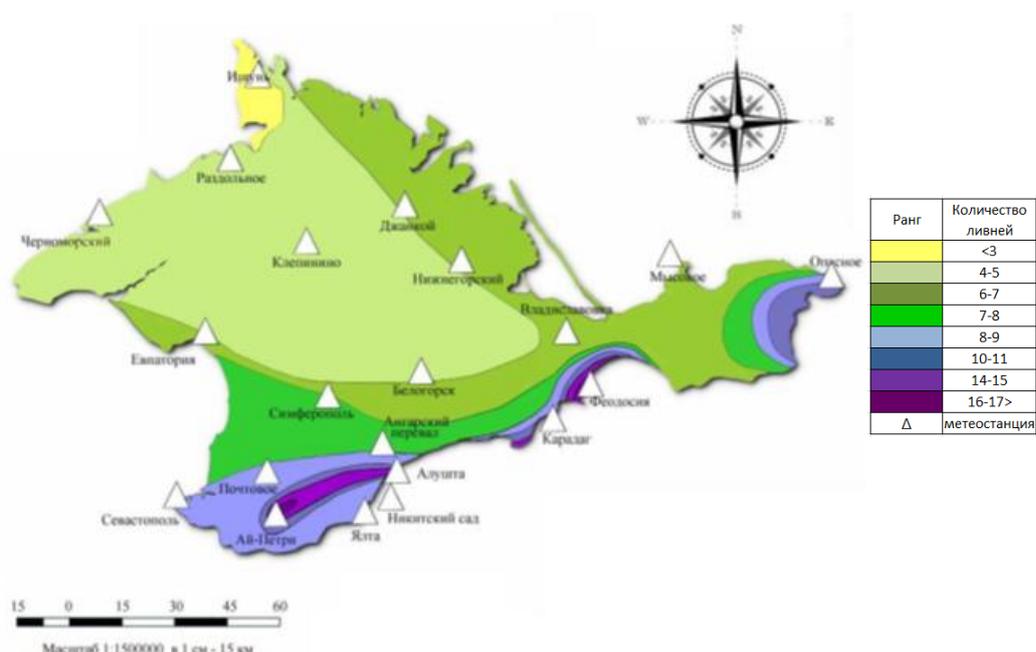


Рис. 5. Ливнеопасность территории Республики Крым (Жук, Ергина, 2018)

Крым обеспечен большим количеством тепла и летом, и зимой. Годовая продолжительность солнечной активности находится в пределах 2180-2470 часов. Поступление радиации на территорию Крымского полуострова составляет около 5000 МДж/(год*м²). 70% радиации Крым получает в весенне-летний сезон (в июле пик солнечной радиации), 30% приходится на осенне-зимний период. В целом радиационный баланс за год (разница между поглощенной суммарной радиацией и эффективным излучением) принимает положительные значения (Подгородецкий, 1988). Годовой ход притока суммарной солнечной радиации почти сходится с годовым ходом температуры воздуха (рис. 6) (Каюкова, 2010).

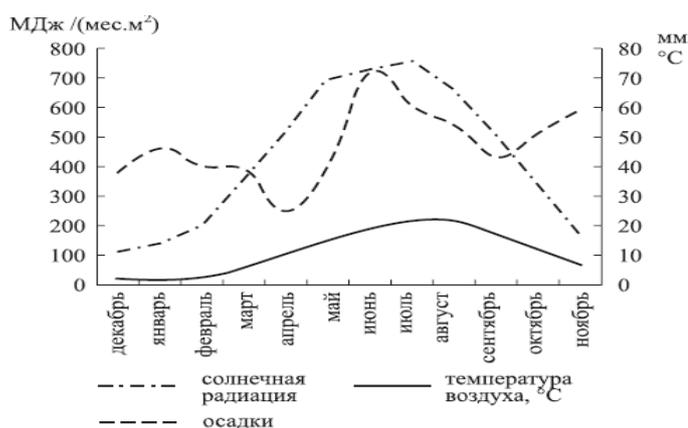


Рис.6. Годовой ход среднемесячных температур воздуха, атмосферных осадков и суммарной солнечной радиации (1998-2009 гг.), пос. Почтовое (Каюкова, 2010)

Таким образом, существует связь между солнечной активностью и погодноклиматическими условиями. В первую очередь это отражается на температуре воздуха и парниковом эффекте. При анализе температурных данных и солнечной активности за период 1930-2017 г для г. Симферополя было установлено, что максимальные значения среднегодовых температур соответствуют пикам солнечной активности (рис. 7.) (Жук, Ергина, 2018).

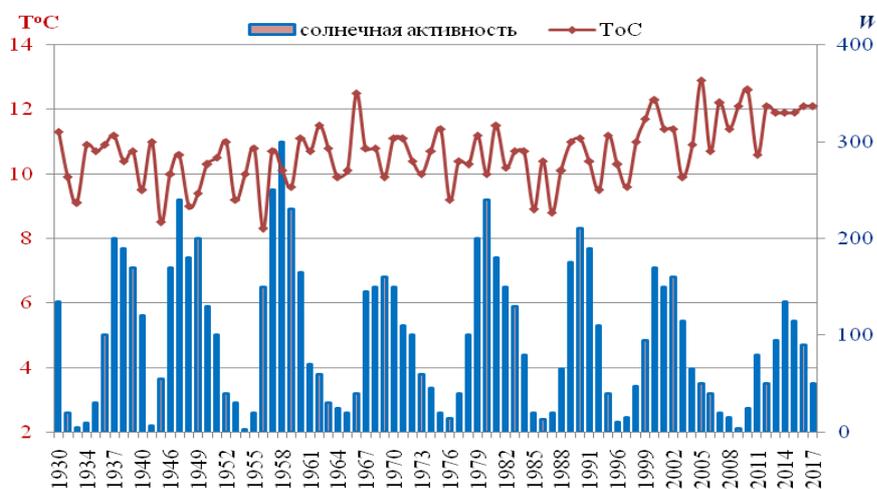


Рис. 7. Зависимость среднегодовой температуры воздуха от активности солнца (станция Симферополь 204 м) (Жук, Ергина, 2018)

Для этого же временного периода (1930-2017 гг.) прослежена зависимость среднегодовой суммы осадков от активности солнца. В 70% случаев установлено, что минимальные среднегодовые температуры соответствуют максимальному количеству атмосферных осадков. Это обосновывается влиянием солнечной активности на циркуляцию атмосферы, вследствие чего выпадение атмосферных осадков на территорию происходит с разной интенсивностью (рис.8) (Жук, Ергина, 2018).

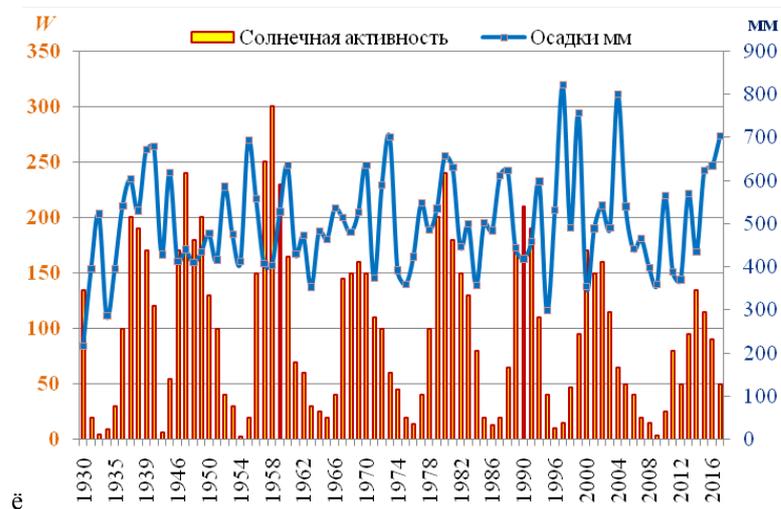


Рис. 8. Зависимость среднегодовой суммы осадков от активности солнца (станция Симферополь 204 м) (Жук, Ергина, 2018)

Помимо этого, в Крыму (особенно в предгорье) устанавливается тенденция увеличения среднегодовой температуры и атмосферных осадков (за последние 130 лет на 20%) (Жук, Ергина, 2018; Никифорова, Лапченко, 2019; Горбунов и др., 2014). По анализу этой тенденции установлено, что среднегодовые значения увеличиваются за счет зимних температур (Ергина, Жук, 2018). Также в отдельные годы бывают значительные отклонения данных показателей (Жук, Ергина, 2018).

1.3 Растительные покровы

Предгорье представляет собой лесостепь с чередованием степной растительности и участками дубового леса. Большая часть территории лесостепи занята хозяйскими угодьями: садами, огородами и виноградниками. С северного склона Второй гряды начинается лесная зона. В лесах в основном встречается дуб (пушистый, скальный), ясень, клен, рябина, крушина и кизил. На более высоких гипсометрических отметках (500-600 м над ур. м.) преобладают буковые и буково-грабовые леса, в которых встречаются бук, граб, клен и липа.

Почвы данной местности маломощны, залегают в непосредственной близости с коренными породами или их элювием и вследствие высокой щебенистости являются областью высокой инфильтрации атмосферных осадков в грунты

(Гидрогеология...,1960). Собственно, это является основной причиной плохо развитой канализации и поступлением токсичных веществ в подземные воды.

Столовые горы (горы с плоской, усеченной вершиной) представляют собой безлесье со степным травянистым покровом. Лишь изредка на них могут встречаться бук и сосна причудливых форм из-за влияния сильных ветров.

1.4 Гидрография

Гидрографическая сеть имеет резкое различие между Горным и степным Крымом ввиду различий в рельефе и климате. Горный Крым – основной источник питания рек и область с густо развитой речной сетью, где берут свое начало почти все реки Крымского полуострова.

Все реки Крымского полуострова относятся к категории малых и делятся на 5 групп по характеру стока поверхностных вод. Реки северо-западных склонов гор берут начало на северном склоне Главной гряды, характеризуются полноводностью и значительными уклонами, текут субпараллельно друг другу и впадают в Черное море, имеют тенденцию к пересыханию в летние засушливые периоды и нередко заболочены на устьях (реки Альма, Бодрак, Кача, Бельбек, Черная). При пересечении участков, сложенных водонепроницаемыми породами, реки теряют довольно большую часть воды на инфильтрацию, пополняя запасы подземных вод (Гидрогеология..., 1970). Облик рельефа представляет собой разобщенные отроги с окаймлением твердых суглинистых элювиально-делювиальных пород.

Большая часть гидрогеологических исследований проводилась в районе долины среднего течения р. Бодрак (рис.9). Река Бодрак – самый полноводный и протяженный левый приток р. Альмы, берущий начало на юго-западных склонах хребта Азарпсырт (с максимальной абс. отм. 560 м) и северных склонах г. Вольская (абс. отм. — 486 м). Река протекает с юго-востока на северо-запад через д. Трудолюбовка и п. Скалистое (Каюкова, 2015). Питание в верхах р. Бодрак осуществляется за счет атмосферных осадков и талых снегов, а ниже по течению реку питают источники. Наибольший вклад несет источник Вербочки, где существует месторождение подземных вод, которое обеспечивает водой с. Прохладное.

В летние периоды испаряемость вод с поверхности реки достигает своего пика, и р. Бодрак летом пересыхает. Трещиноватые коренные породы и аллювиальные отложения реки поглощают часть потока.

Глава 2. ГЕОЛОГО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ

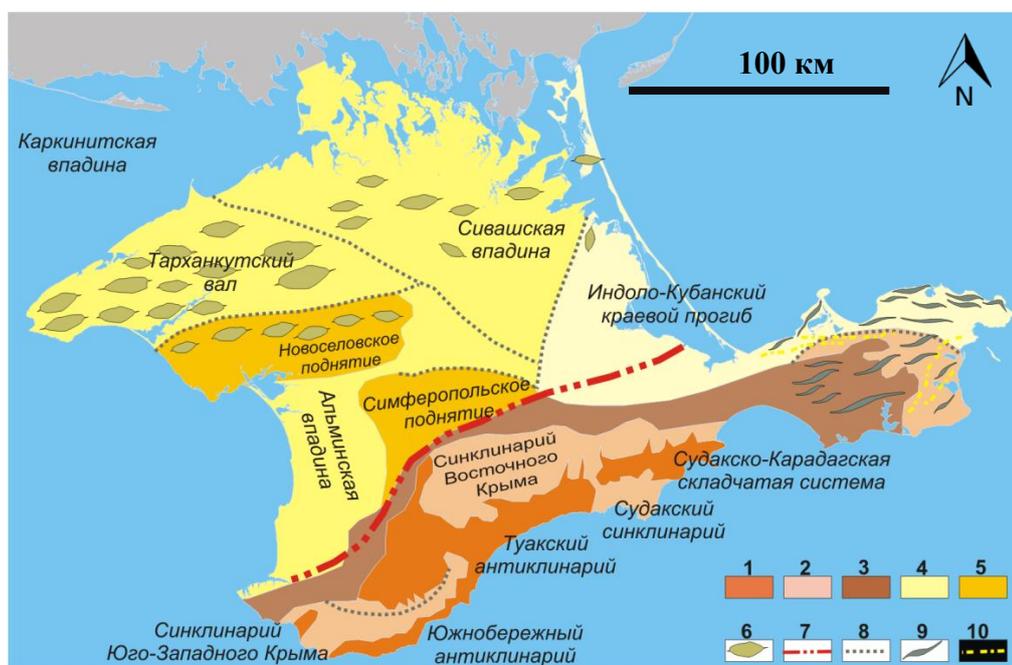
2.1 Геологические условия

2.1.1 Геологическое районирование

Крымский полуостров принадлежит северной окраине Альпийско-Средиземноморского (Тетического) пояса, обладает аккреционной и частично коллизионной структурой, образованной в мезозое-кайнозое у южной окраины палеозойского Евразийского континента. Горные образования Крыма относятся к тектонотипу киммерид (Бискэ, 2019).

Существует 2 взгляда на формирование Горного Крыма – фиксистская модель (по М.В. Муратову) и мобилистская (по В.В. Юдину).

Согласно концепции фиксизма, Горный Крым – огромная антиклинальная система (мегаантиклинорий), в структуре которой выделяется складчатое ядро (породы триаса и юры), моноклиральное северное крыло (породы мела, палеогена и миоцена), восточное периклиральное окончание (породы олигоцена и миоцена); южное крыло мегантиклинория и часть ядра глубоко погружены под дно Черного моря (рис. 10) (Муратов, 1940).



1 – большие антиклинории; 2 – крупные синклинории; 3 – С и Ве погружение мегантиклинория; 4 – участки с глубоким залеганием РЗ фонд.; 5 – выступ РЗ фонд. под МЗ; 6 – Тарханкутско-Джанкойские антиклинали; 7 – предполагаемый глубинный разлом, разделяющий антиклинорий горного Крыма и Скифскую платформу; 8 – разломы; 9 – антиклинали; 10 – синклинали.

Рис. 10. Схема геологического строения Крыма (по М.В. Муратову) (Крымология, 28.03.2020)

С другой стороны, задолго до появления фиксистской концепции, в 30-40-е гг. XX века намечается структурно-мобилистская концепция формирования горного Крыма. В работах мобилиста В.В. Юдина отражено, что Горный Крым – крупная складчато-надвиговая система в составе Альпийско-Гималайско-Индонезийского пояса (рис.11). В системе выделяются надвинутые с юга на север тектонические пластины, а к более мелким структурам относятся различные чешуи, складки и надвиги. Помимо перечисленных структур, горный Крым осложнен хаотическими комплексами, представленными меланжами и олистостромами (Юдин, 2000).

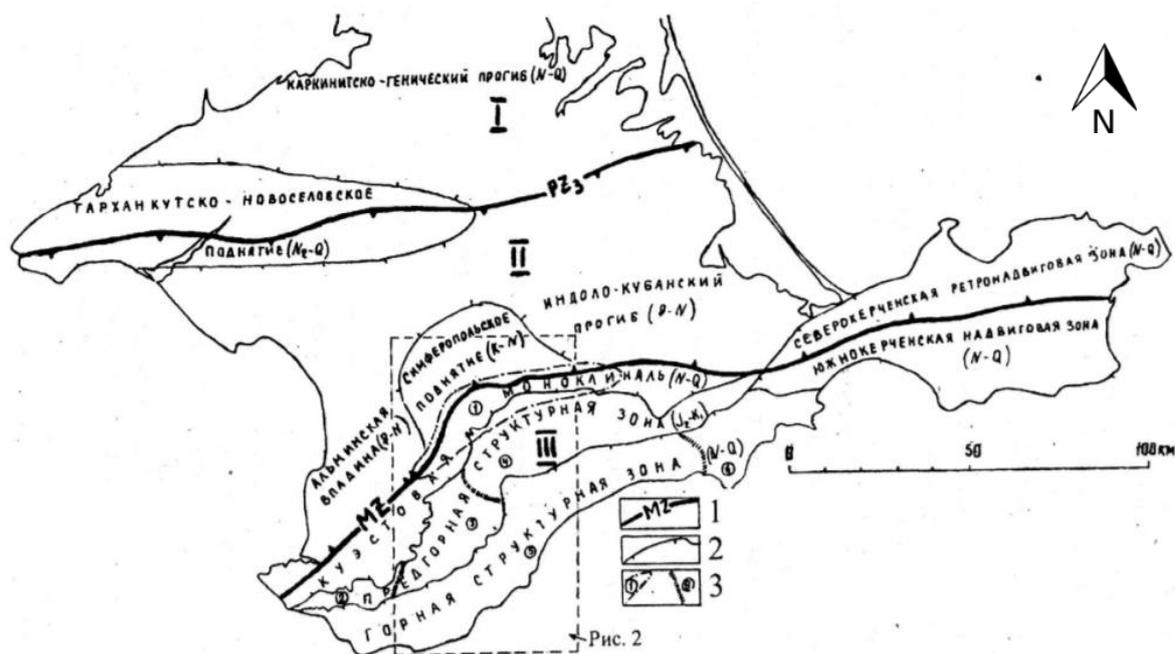
К структурам первого порядка палеозоя-мезозоя относятся коллизионные зоны (сутуры), которые являются признаком закрытия палеоокеанов, происходившие с поглощением древней океанической коры в зонах субдукции и сопровождалось коллизией континентов, микроконтинентов и террейнов. Выделено 2 сутуры: Предгорная мезозойская и Северокрымская палеозойская (Юдин, 2000).

Предгорная шовная зона представляет собой границу между Горнокрымским террейном (Крымией) и Скифской микроплитой (Скифией), является довольно масштабным надвигом с падением сместителя на север и прослеживается под отложениями мезозоя-кайнозоя поперек всего Крымского полуострова и далее на Кавказскую складчатую область (Юдин, 2000).

На севере Скифия ограничена Северокрымской палеозойской сутурой с падением сместителя на юг и так же, как Предгорная сутура, перекрыта слабдеформированным осадочным чехлом мезозойского и кайнозойского возраста. Далее на север расположена Украинская плита (Украиния), которая в свою очередь отделена от Восточно-Европейской платформы Донецкой палеозойской сутурой (Юдин, 2000).

К структурам первого порядка кайнозоя относят Равнинный Крым и Горный Крым. По концепции фиксизма данные структуры относили к платформе и к мегаантиклинорию в составе геосинклинали соответственно.

К структурам второго порядка относится Куэстовая моноклираль – полоса слабодислоцированных толщ мел-неогенового возраста, которая формирует Вторую и Третью гряды с изрезанным рельефом вследствие эрозионной деятельности.



Структуры I порядка: I - Украинская плита (PZ₂₋₃); II - Скифская плита (PZ₃); III – Горнокрымский террейн (T₃ - K₁), ныне Крымская складчато-надвиговая область J-K₁+N-Q). Условные обозначения в легенде: 1 - границы структур I порядка: PZ₃ - Северокрымская сутура, MZ - Предгорная сутура, 2 - границы структур II порядка; 3 - границы структур III порядка (в кружках): 1 - Симферопольский погребенный вал, 2 - Чернореченское поперечное опускание, 3 - Альминское поперечное поднятие, 4 - Салгирское поперечное опускание, 5 - Алуштинская структурная подзона, 6 - Меганомская структурная подзона.

Рис. 11. Тектоническое районирование Крыма (Юдин, 2000)

По данным В.В. Юдина (2000) в Горном Крыму локальные структуры представлены надвигами с падением на север, чешуйками и приразрывными складками, размеры которых могут достигать сотни метров. Наиболее мелкие и интенсивные складки характерны для флиша таврической серии.

2.1.2 Геологическое строение

В строении Горного Крыма выделяется два структурных этажа. Породы нижнего структурного этажа представлены сжатыми и осложнёнными надвигами складок с юрским возрастом. Данные породы выжаты в антиформы. На размытой поверхности складок несогласно залегают более крупные и простые складчатые структуры верхнего этажа, представленные толщами мела, палеогена и неогена. По концепции фиксизма, отложения второго структурного этажа образуют северо-западное и северное крылья Крымского мегаантиклинория, соответствуют предгорным грядам и в профиле образуют синформы (Муратов..., 1960).

В Горном Крыму выделяется 3 крупные синклиналильные структуры: Судакский синклинорий и синклинории на юго-западной и восточной оконечности Горного Крыма. Эти крупные чашеобразные структуры разделяются перемычками –

антиклинориями. Самый крупный – Качинское поднятие, которое располагается между юго-западным и восточным синклинорием в верховьях рек Качи и Альмы и представляется собой вытянутую в северо-восточном направлении антиформу. Складчатое ядро Качинского поднятия представлено породами нижнего структурного этажа, породы верхнего структурного этажа слагают северо-западное крыло. К этому крылу приурочена область изучения – бассейн р. Бодрак.

Для области Горного Крыма характерны крупные сбросы и надвиги. Один из сбросов разделяет на юго-востоке Качинское поднятие от Юго-Западного синклинория (Муратов, 1960).

По взгляду ученых, придерживающихся концепции мобилизма, на вышеупомянутой области выделяется Куэстова моноклираль и сложноустроенная Предгорная структурная зона, которые в свою очередь являются частью Горнокрымского террейна (рис.11).

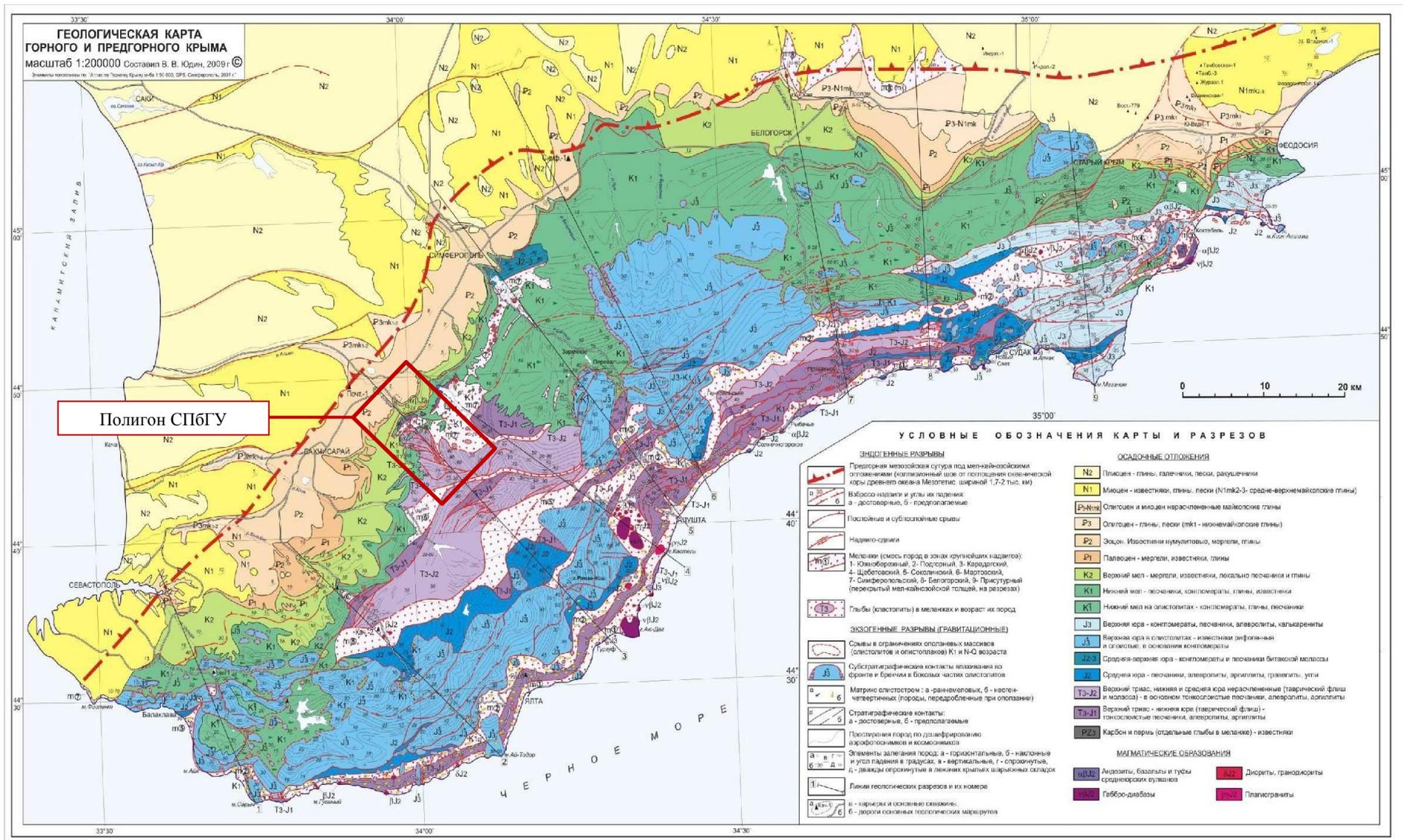


Рис. 12. Геологическая карта Горного и предгорного Крыма (Юдин, 2009)

2.1.3 Стратиграфия

Палеозойская эратема

В Горном Крыму известны складчатые палеозойские породы фундамента Скифской плиты, о чем говорит преобладание в вышележащей таврической песчаной толщи продуктов размыва верхнепалеозойских гранитоидов (Бискэ, 2019).

Во второй половине карбона и перми образовались впадины типа межгорных котловин, предполагаемо с широким распространением известняков указанного возраста (Муратов, 1973).

Мезозойская эратема

Триасовая и юрская система (Т-Ј)

Таврическая серия (Т₃-Ј₁ tv)

Таврическая серия – мощная толща (более 1500 м) ритмически переслаивающихся песчаных и глинистых отложений, которая слагает основание Крымских гор и представляет наиболее древние породы Горного Крыма, не считая выше упомянутых раннепалеозойских глыб, не выходящих на дневную поверхность.

Породы таврической серии довольно сильно дислоцированы, образуют складки и осложнены надвигами, зонами дробления и перемятиями. Отложения таврической серии являются флишем и представлены чередованием серо-черного аргиллита, алевропелита, алевролита с песчаником от темно-бурых до желтоватых цветов. Внутри глинистых слоев встречаются отдельные конкреции сидеритов (Муратов, 1973).

Эскиординская серия (Т₃-Ј_{1b} es)

По представлению А.С. Моиссева эскиординская серия является самостоятельным подразделением, которая в свою очередь по представлению М.В. Муратова является средней частью таврической серии (Муратов, 1960). Она состоит из преимущественно терригенного и глинистого материала флишевого строения нарушенной ритмичности.

Толщи образуют 3 формации: флишоидная терригенная, грубообломочная, которая представляет собой молассу, и флишоидную глинистую, которая включает мендерскую, джидаирскую и кичикскую толщи. (Мазарович, Милеев, 1989)

Образования эскиординской серии обладают формой тектонических клиньев разного объема или аллохтонные покровы (Мазарович, Милеев, 1989).

По данным В.В. Юдина (2000) эскиординская серия выделяется как тектонический меланж (полоса хаотически расположенных сложнораздробленных горных пород с тектоническими надвигами). В меланже выделяются олистостромы с

разнообразием литологических особенностей и разновозрастные глыбы. Хаотический комплекс ограничен эндогенно-тектоническими контактами.

Карадагская серия (J_{2b})

Карадагская серия представлена вулканогенно-осадочными образованиями довольно большой мощности (до 500-1000 м) и распространена почти на всей территории Горного Крыма.

Выходы вулканогенно-осадочных пород карадагской серии известны на окраинах Качинского поднятия в долине реки Б. Салгир близ Симферополя, на северном крыле поднятия – в долинах рек Альма и Бодрак, на южном крыле – в верховьях рек Кача, Альма и Бельбек (Мазарович, Милеев, 1989).

В долине реки Бодрак карадагская серия вскрывается в центральной части д. Трудолюбовки. Породы серии представлены андезито-базальтовыми лавами, туфами, туфоаргиллитами, туфопесчаниками, туфоконгломератами и имеют восточные-северо-восточные простирания и крутые падения на север. Основание серии сложено темно-серыми уплотненными глинами с прослоями песчаников и сидеритовых конкреций. Байосский ярус средней юры определяется по находкам аммонитов и белемнитов в вулканогенно-осадочной пачке (Мазарович, Милеев, 1989).

Карадагская серия отделена от распространённых южнее толщ эскиординской серии тектоническим контактом - весьма крупным разрывом, заполненным прерывистой полосой осадочных брекчий, образованного в результате поступления в осадочный бассейн мощного селевого потока (Мазарович, Милеев, 1989).

Меловая система (K)

Куэстова моноклираль расположена в северо-западной и западной части района р. Бодрак, сложена мел-эоценовой карбонатно-глинистой осадочной тощей, мощность которой достигает 800 м. Толща по углам 7-12° полого наклонена к северо-северо-западу и по падению выполаживается до субгоризонтального залегания. В данных отложениях четко прослеживаются зоны трещиноватости, брекчирования, зеркала скольжения и мелкие принадвиговые складки (Юдин, 2000).

Отложения мела несогласно залегают на нижележащей толще эффузивно-осадочных пород байосского яруса средней юры. Она наклонена на северо-запад под углами 30-70° (Юдин, 2000).

Нижний отдел (K₁)

Нижний мел Предгорной гряды относительно малой мощности, с прерывистым и неустойчивым разрезом и признаками поднятия в середине альба (K_{1al}). До альба

встречаются известково-щелочные вулканиты нижнего мела, которые обнажены и пройдены скважинами вдоль Второй гряды (Бискэ, 2019).

Отложения нижнего мела представлены терригенными и карбонатными породами: глинами, мергелями, известняками, конгломератами, песчаниками. И они подразделяются на следующие толщи (Муратов, 1973):

1. Нижний валанжин (берриасовый горизонт) - K_1v^1
2. Средний-верхний валанжин и нижний готерив – K_1v^{2-3} - K_1h^1
3. Верхний готерив и нижний баррем - K_1h^2 - K_1br^1
4. Верхний баррем и апт -, K_1br^2 - K_1a
5. Альб - K_1al

Верхний отдел (K_2)

Отложения верхнемеловой системы представлены известняково-мергельными породами с подчиненными песчаными породами общей мощностью до 500 м. Данные толщи широко распространены в юго-западной части Горного Крыма, где они участвуют в формировании Второй гряды. В основном породы верхнего мела залегают без углового несогласия, но с небольшим стратиграфическим перерывом на породах альбского яруса нижнего мела (Мазарович, Милеев, 1989).

Сеноманский ярус (K_2s) начинается с песчаных пород (глауконитовые песчаники, конгломераты), сменяющиеся выше толщей светлых и светло-серых мергелей, переслаивающихся с темно-серыми глинистыми мергелями. Породы яруса содержат характерную для данного возраста фауну - аммонитов, белемнитов, фораминифер. Сверху согласно ложатся глинисто-карбонатные породы туронского яруса (K_2t), затем коньякского (K_2k) суммарной мощности около 46 м (Мазарович, Милеев, 1989).

Сантонский ярус (K_2st) представлен светлыми мергелями и известняками с прослоями более темных глинистых мергелей, верхние пачки состоят из белых мергелей с пропластками зеленовато-серых глинистых мергелей и конкреций кремней. Белые и голубовато-серые мергели также представлены в толщах кампанского яруса. В верхних слоях кампана породы приобретает местами желтовато-серый цвет на поверхности выветривания (Мазарович, Милеев, 1989).

Маастрихтский ярус (K_2m) в низу толщ представлен серыми песчанистыми мергелями с голубовато-серыми и желтовато-серыми оттенками и железистыми конкрециями.

В кровле маастрихта наблюдается хард-граунд (англ. hard ground – твердая почва), а выше слой с перекрытой фауной маастрихта и обогащение глауконитом.

Кайнозойская эратема

Палеогеновая система (Р)

Несогласно на породах верхнего мела залегают терригенно-карбонатные отложения палеогеновой системы, слагающие Предгорную гряд. Отложения нижнего отдела кайнозоя образуют полосы выходов на дневную поверхность вдоль Предгорной и Внешней гряд. Общая мощность палеогеновых отложений достигает 200 м.

Нижний палеоген (палеоцен)

С размывом на Маастрихте залегают датские отложения (Р_{1d}). Они представлены серпуло-криноидно-мшанковыми органично-обломочными известняками (Геологическая история..., 2006).

В основании несогласно залегающего на дании танетского яруса (Р_{1t}) также развит хардграунд. В таненете выделяется три горизонта: подгубковый, сложенный мергелями с устрицами и гастроподами; губковый, состоящий из мергелей, насыщенных окремнелыми губками; надгубковый, представленный мергелями с мелкими фораминиферами (Муратов, 1960).

Отложения палеоцена распространяются вдоль северного склона Предгорной гряды в виде узкой полосы. Выходы нижнего палеоцена приурочены к обрывам и склонам Третьей гряды.

Средний палеоген (эоцен)

Между эоценом и палеоценом существует небольшое угловое несогласие: эоцен местами с размывом ложатся на отложениях нижнего мела, верхнего мела, палеоцена (Геологическая история..., 2006).

Эоценовые отложения представлены толщей светлых зеленоватых и коричневых глин с включениями галек и фосфоритовых конкреций, переходящих в мергели, а затем в нуммулитовые известняки, которые чередуются с бурыми, желтоватыми, белыми мергелями выше по разрезу. Местами в Горном Крыму карбонатные отложения опесчаниваются (Муратов, 1960).

Образования данного возраста оконтуривают северные склоны Предгорной и Внешней гряд.

Четвертичная система (Q_I, Q_{III}, Q_{IV})

Четвертичные отложения с резким угловым несогласием плащеобразно перекрывают нижележащие толщи. Стратиграфия четвертичных отложений Крымского полуострова основана на сопоставлении речных террас, делювиально-пролювиальными уровнями с выделенными морскими террасами Черного моря. В Крыму выделяется шесть континентальных террасовых поверхностей (Муратов, 1973).

Главную роль среди континентальных четвертичных образований Крыма играют аллювиальные отложения, составляющие поймы рек и поверхности речных террас (Муратов, 1973).

В области изучения подземных вод четвертичные образования представлены аллювием, делювием, пролювием, делювием-пролювием, элювием и коллювием с плейстоценовым и голоценовым возрастом.

Аллювиальные образования – отложения речных долин. Главным образом аллювиальные отложения на изучаемом участке формируют речную долину р. Бодрак и близлежащие овраги. В районе Предгорной гряды у слияния рек Альмы и Бодрака аллювий представлен окатанными галечниками, а в 10 км к юго-востоку – галечниками и суглинками. Четвертичные отложения более молодых уровней являются песками, галечниками и суглинками (Муратов, 1973).

Делювиальные отложения – продукты, образовавшиеся в результате смыва разрушенных горных пород и накапливающиеся у подножий склонов. Делювий изучаемой области сложен желтовато-бурыми и бурыми лёссовидными суглинками с включениями щебня. Данный тип четвертичных отложений распространен на склонах и в оврагах. Мощность достигает 15-20 м (Муратов, 1973).

Пролювиальные образования представлены небольшими конусами выноса, состоящие из мелкой известняковой частично отсортированной щебенки мелового и эоценового возраста. Мощность пролювиальных отложений составляет 5-10 м.

Делювиально-пролювиальные образования представлены желтоватыми суглинками с обломками щебня, покрывающие широкие выположенные склоны. Мощность данных отложений не более 5-6 м (Муратов, 1973).

Элювиальные образования представлены отложениями кор выветривания, образовавшихся в верхних слоях плоских гор и куэст.

Коллювиальные образования – обвальные, осыпные, оползневые отложения, формирующиеся под действием силы тяжести на склонах гор, куэст и оврагов.

Интрузивные образования

В области д. Трудюлюбовки известны 2 типа интрузивных образований, приуроченных к зоне тектонического меланжа: кластолиты и собственно интрузивные тела (штоки, силлы) со средне-позднеюрским возрастом. К ним относится Первомайский шток, силл Короновского.

2.2 Гидрогеологические условия

2.2.1 Гидрогеологическое районирование

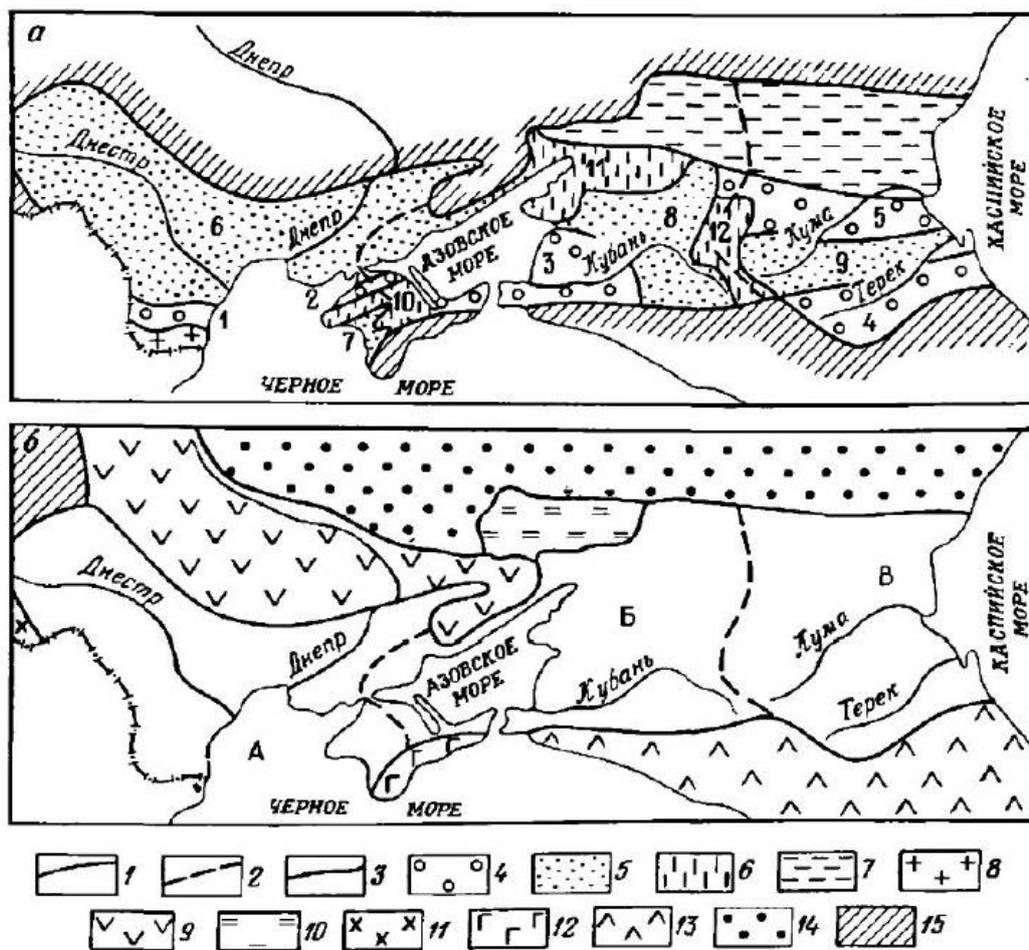
На Крымском полуострове происходит сочленение двух крупных гидрогеологических структур: Каспийско-Черноморская артезианская область и Крымская мезозойско-кайнозойская гидрогеологическая складчатая область (Кирюхин, Толстихин, 1987). Каспийско-Черноморская артезианская область, включает в себя Причерноморский и Приазовский артезианские бассейны первого порядка, в пределах которых располагаются Предгорные гряды (рис.13).

Исследуемая территория приурочена к промежуточной области между Альминским артезианским бассейном второго порядка и Крымской сложной гидрогеологической складчатой областью (рис.14). В свою очередь Альминский артезианский бассейн входит в состав Причерноморского артезианского бассейна первого порядка (рис.13) (Кирюхин, Толстихин 1987).

По данным сайта ФГБУ «Гидроспецгеология» Альминский артезианский бассейн относится к Скифскому сложному артезианскому бассейну первого порядка, а Причерноморский бассейн является бассейном второго порядка (рис.14).

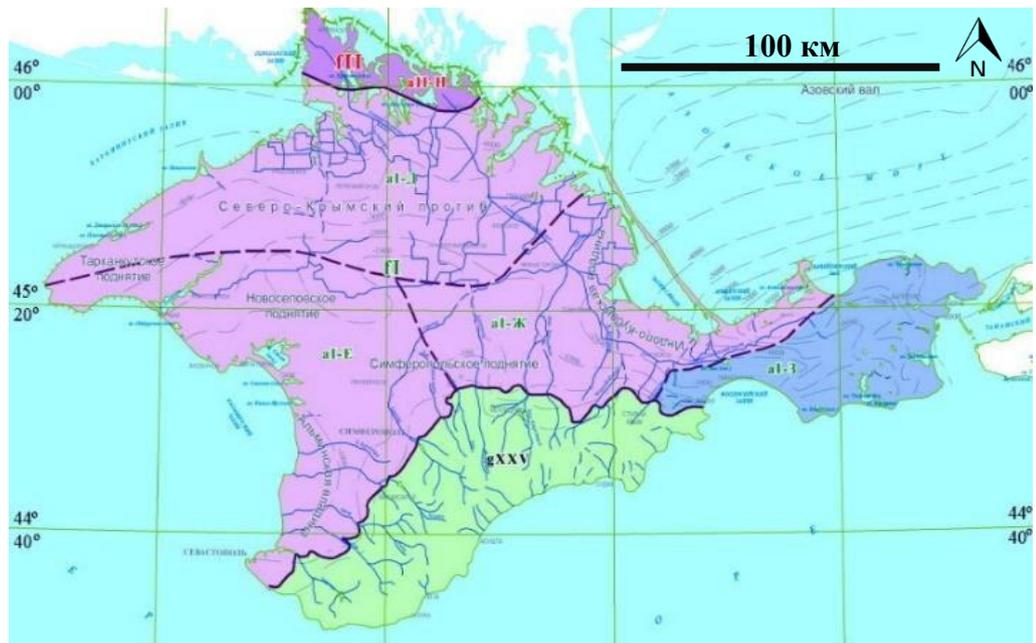
Причерноморский артезианский бассейн первого порядка обладает следующими специфическими чертами (Кирюхин, Толстихин 1987):

1. Территория в районе Крымского полуострова приподнята относительно соседних областей. Эта черта является причиной соответствующей направленности и зональности распределения стока – с юга на север (с предгорья к равнине). Отсюда следует, что между Горным Крымом и равнинным Крымом тесная связь.
2. Преобладание аридного климата
3. Терригенно-карбонатный разрез чехла, преимущественно морского генезиса
4. Наличие мощного и выдержанного регионального водоупора майкопских глин (P_3-N_1)
5. Широкое развитие дизъюнктивов
6. Проявление современных и палеокарстовых процессов
7. Проявление неотектоники, землетрясений, гидровулканизма.



1 – границы АО; 2 – границы АБ; 3 – границы геологических структур; 4 – прогибы (1 – Преддобружинский, 2 – Каркнитский, 3 – Азово-Кубанский, 4 – Терско-Кумский, 5 – Восточно-Маньчский); 5 – впадины (6 – Северо-Причерноморская, 7 – Альминская, 8 – Восточно-Кубанская, 9 – Терско-Кумская); 6 – своды (10 – Крымский, 11 – Ростовский, 12 – Ставропольский); 7 – Кряж Карпинского; 8 – Добужинский массив; 9 – Украинская СО; 10 – Донецкая СО; 11 – Карпатская СО; 12 – Крымская СО; 13 – Кавказская СО; 14 – Прикаспийский АБ; 15 – Львовский АБ. Артезианские бассейны Каспийско-Черноморской АО: А – Северо-Причерноморский; Б – Приазовский; В – Средне-Каспийский.

Рис. 13. Схема структурно-геологического (а) и гидрогеологического (б) районирования Каспийско-Черноморской артезианской области. (Кирюхин, Толстихин, 1987).



УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

1. Гидрогеологические структуры

I-го порядка

fI Скифский сложный артезианский бассейн (САБ)

fII Восточно-Европейский сложный артезианский бассейн (САБ)

gXXV Крымская сложная гидрогеологическая складчатая область (СГСО)

— Граница гидрогеологических структур I-го порядка

II-го порядка

al-Д Северо-Крымский АБ

al-Е Альминский АБ

al-Ж Индольский АБ

al-З Керченская гидрогеологическая складчатая область (ГСО)

alI-Н Причерноморский АБ

--- Граница гидрогеологических структур II-го порядка

2. Прочие обозначения

-3000 Стратоизогипсы поверхности домеловых отложений и их отметки

Рис. 14. Гидрогеологическое районирование Республики Крым (ФГБУ «Гидроспецгеология», 15.04.2020)

2.2.2 Гидрогеологическая характеристика Горного Крыма

Горный и степной Крым обладают тесной гидрогеологической связью, вследствие чего воды крымского предгорья занимают среднее положение между трещинно-карстовыми водами Главной гряды и артезианскими бассейнами Степного Крыма. Куэсты, яйлы и карстовые образования характеризуются сильной трещиноватостью и способствуют просачиванию атмосферных осадков.

Питание грунтовых вод осуществляется преимущественно за счет инфильтрации атмосферных осадков. Движение вод внутри горизонта происходит в направлении речных долин, балок, где они разгружаются в виде источников с различным дебитом (Устойчивый..., 2000). Таким образом, Вторая и Третья гряда Крымских гор является областью питания Альминского артезианского бассейна.

Химический состав подземных вод формируется при медленном выщелачивании малорастворимых солей вследствие процессов выветривания. По данным Е.П. Каюковой (2010) воды в основном пресные сульфатно-гидрокарбонатные или гидрокарбонатные магниево-кальциевые со средней минерализацией 0,6 г/л, а средние показатели жесткости воды достигают 8-12 мг-экв/л.3

Подземные воды изучаемой области являются водами активного водообмена, и они связаны с аллювиальными и делювиальными, пролювиальными, элювиальными четвертичными отложениями, терригенно-карбонатными породами (K_1h - K_2km , P_1d - P_2lt), а также с корой выветривания коренных пород (вулканогенно-осадочные толщи J_2b). В центре д. Трудолюбовки в вулканогенно-осадочной толще развита область трещиноватости, которая является водоносной зоной (Каюкова, Чарыкова, 2010). Таким образом, в пределах исследуемой территории выделяются следующие водоносные и водоупорные горизонты и зоны (Каюкова, 2017):

- Четвертичный водоносный горизонт (Q);
- Среднеэоценовый водоносный горизонт (P_2l);
- Верхнепалеоценово-нижнеэоценовый водоупорный горизонт;
- Датско-инкерманский водоносный комплекс (P_1d-m);
- Верхнесантонско-верхнемаастрихтский преимущественный водоупор;
- Верхнетуронско-коньякский водоносный горизонт ($K_2t^2-K_2k$);
- Нижнесеноманско-нижнетуронский водоупорный горизонт;
- Верхнеальбско-нижнесеноманский водоносный горизонт ($K_1al^3-K_2s^1$);
- Верхнеальбский водоупорный горизонт;
- Верхнебаремско-аптский водоупорный горизонт;
- Валанжин-нижнебарремский водоносный горизонт ($K_1v-h_2^1, K_1h_2^2-br_2^1$);
- Водоносная зона вулканогенно-осадочной толщи (J_2b);
- Байосский региональный водоупорный горизонт;
- Верхнетриасово-нижнеюрский региональный водоупорный горизонт.

Глава 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования макрокомпонентного, микрокомпонентного и изотопного состава природных вод восточной части Бахчисарайского района Крымского полуострова проводятся с конца 90-х гг. Вместе с подземными водами, тщательно изучались поверхностные воды и атмосферные осадки.

При изучении вод применялись комплексные исследования (полевые и лабораторные), и они проводились в 3 этапа: предполевой подготовительный этап, этап исследований непосредственно на территории Крымского учебного полигона и исследования в стенах лаборатории кафедры гидрогеологии СПбГУ.

В ходе гидрогеологической практики была отобрана и впоследствии изучена 61 проба природных вод: 32 пробы подземных вод, 14 проб поверхностных вод и 15 проб атмосферных осадков (рис.15).



Рис. 15. Отобранные пробы

3.1 Подготовительный этап

Подготовительный этап исследования включал в себя изучение научной литературы и различных данных, связанных с областью исследования (монографии, статьи, тезисы, интернет ресурсы). Помимо этого в г. Санкт-Петербург заранее была проведена подготовка к летним полевым исследованиям в Крыму: сбор вещей для пребывания в поле и необходимых канцелярских принадлежностей, а также подготовка Н.И. Суминой к полевому сезону свежих реактивов, электронных приборов, лабораторной посуды и тар для отбора проб.

3.2 Полевые исследования

Полевое опробование, проводившееся в июле 2019 г., включало в себя:

- Гидрогеологические наблюдения в ходе маршрутов, ведение полевого дневника;
- Отбор проб на точках наблюдения;
- Гидрохимические исследования;

В ходе маршрутного изучения вод на учебном полигоне СПбГУ и на территории за его пределами производилось опробование гидрогеологических объектов: скважин, колодцев, ставков, источников, мочажин и р. Бодрак. Отмечались геологические, гидрогеологические, геоморфологические особенности территории и климатические условия пробоотбора. Непосредственно на месте отбора проб электрохимическими методами (потенциметрия и кондуктометрия) определялись следующие параметры: кислотно-щелочной баланс среды (рН), окислительно-восстановительный потенциал (Eh), температура (Т°С) и удельная электропроводность (УЭП).

С помощью электронных приборов фирмы HANNA потенциметрическим методом при использовании рН-метра (рис.16.а), Eh-метра (рис. 16.б) и термометра (рис.16.в) определялись кислотно-щелочной баланс воды, окислительно-восстановительный потенциал и температура соответственно. Принцип работы приборов заключается в прохождении тока через электроды, помещенные в исследуемую жидкость. Кондуктометрические методы анализа применялись для определения значения УЭП воды. Принцип работы кондуктометра (рис.16.г) основан на определении зависимости электропроводности воды и количества растворенных соединений.

3.3 Лабораторные исследования

Лабораторные исследования проводились как в полевой лаборатории Крымской базы СПбГУ, так и в лаборатории кафедры гидрогеологии СПбГУ в Санкт-Петербурге. В свою очередь используемые лабораторные методы подразделяются на химические и инструментальные.

3.3.1 Химические методы анализа

К химическим методам анализа относится количественный анализ, при котором определяется количественное соотношение компонентов в анализируемом веществе по ГОСТу. В ходе анализа макрокомпонентов применялся объемный

(титриметрический), турбидиметрический и гравиметрический (весовой) методы анализа.

В полевой лаборатории и лаборатории кафедры гидрогеологии СПбГУ титриметрическим методом определялась жесткость и содержание ионов Ca^{2+} , Cl^- , CO_3^{2-} , HCO_3^- согласно ГОСТу 23268.9-78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые» (ГостЭксперт, 16.04.2020).

Суть метода состоит в определении точного содержания иона с помощью изменения объема раствора реагента (титранта) с известной концентрацией, который добавляют к исследуемому веществу (рис.17).

Точность данного метода зависит от правильно приготовленных реактивов и от точности фиксирования точек эквивалентности, т.е. момента, когда количество реактива станет эквивалентно количеству реагирующего вещества (Каюкова, 2017).



Рис. 17. Проведение титриметрического анализа в условиях полевой лаборатории

Для определения ионов SO_4^{2-} в подземных и поверхностных водах применялись турбидиметрический и гравиметрический (весовой) методы согласно ГОСТу 4389-72 «Вода питьевая. Методы определения содержания сульфатов» (ГостЭксперт, 16.04.2020).

Турбидиметрия – метод количественного анализа, основанный на измерении интенсивности света прошедшего через дисперсную систему (суспензию или аэрозоль) (Химик, 15.04.2020). Данный метод применялся для первичной и примерной оценки содержания сульфат-иона в пробе в условиях полевой лаборатории с помощью портативного мутномера на территории базы СПбГУ.

Гравиметрический (весовой) метод осуществлялся для получения более точных данных о сульфат-ионах (чувствительность метода 2 мг/дм^3), содержащихся в пробах,

отобранных из подземных и поверхностных водных объектов. Данный метод основан на осаждении сульфата хлоридом бария (BaCl_2) в кислой среде в виде сульфата бария (BaSO_4) и измерении точной массы изучаемого вещества постоянного состава с помощью аналитических весов. Проведение весового метода химического анализа осуществлялся в лаборатории кафедры гидрогеологии СПбГУ в Санкт-Петербурге.

На территории Российской Федерации предельно допустимая концентрация (ПДК) сульфат-иона в воде не должна превышать значения 500 мг/дм^3 по СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества» (Роспотребнадзор, 16.04.2020).

3.3.2 Инструментальные методы анализа

Для определения SO_4^{2-} атмосферных осадков, NO_2^- и NH_4^+ применялся колориметрический метод анализа вследствие небольшого объема отобранных проб. Суть метода состоит в установлении концентрации вещества по окраске раствора при прохождении светового потока через него с помощью фотоколориметра DR/890 Nach (рис.16.д).

Нитрат-ионы (NO_3^-) определялись потенциометрическим методом с помощью иономера И-500 (производитель ЗАО «Аквилон») (рис.16.е). Данный метод основан на прямом определении нитрат-ионов с помощью ионоселективного метода согласно ГОСТу 23268.9-78 «Воды минеральные питьевые лечебные, лечебно-столовые и природные столовые. Методы определения нитрат-ионов» (ГостЭксперт, 16.04.2020). Чувствительность прибора составляет от $3 \cdot 10^{-8}$ до $5 \cdot 10^{-1}$ моль/л (Аквилон СЗ, 16.04.2020).

Предельно допустимая концентрация (ПДК) нитратов (NO_3^-) - 45 мг/л ; нитритов (NO_2^-) - $3,3 \text{ мг/л}$ (по нитрит-иону), или 1 мг/л в пересчете на азот аммонийный; ионов аммония (NH_4^+) - $2,5 \text{ мг/л}$ согласно СанПиНу 2.1.4.1175-02 «Гигиенические требования к качеству воды нецентрализованного водоснабжения. Санитарная охрана источников» (Гольм, 2019; Роспотребнадзор, 16.04.2020).

		
а. pH-метр HANNA	б. Eh-метр HANNA	в. Термометр HANNA
		
г. Кондуктометр HANNA	д. Фотоколориметр DR/890 Hach	е. Ионмер И-500

Рис. 16. Электронные приборы (TZSupplies, 09.03.2020)

Для установления микрокомпонентов и катионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+}) и их концентраций в природных водах применялись микрокомпонентные исследования. Первый этап проводился непосредственно после отбора и состоял в пробоподготовке. Образцы консервировались в пробирках с применением азотной кислоты из расчета 2 мл азотной кислоты на 100 мл пробы (Каюкова, 2004).

Микрокомпонентные исследования проводились в Санкт-Петербурге и состояли в непосредственном определении содержания микрокомпонентов с применением масс-спектрометрии (ICP MS).

Определялись следующие микрокомпоненты в мг/л: Ag, Al, As, B, Ba, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V, Zn, NO_3^- .

Предел обнаружения для катионов Na^+ - 0,001 мг/л, K^+ - 0,005 мг/л, Ca^{2+} - 0,005 мг/л, Mg^{2+} - 0,0001 мг/л (Каюкова, 2017).

3.3.3 Изотопные исследования

Суть изотопных исследований природных вод состоит в измерении стабильных изотопов $\delta^{2}\text{N}$ и $\delta^{18}\text{O}$. Пробоподготовка состояла в отборе пробы на изотопы в стеклянные герметичные колбочки. Анализ изучаемых в данной работе проб

производится в Ресурсном центре СПбГУ «Геомодель» в стенах изотопной лаборатории с помощью инфракрасного спектрометра Picarro. Абсолютные погрешности измерения $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ составляют $\pm 0,1\%$ и $\pm 1\%$ соответственно (Каюкова, 2017).

Эталонными образцами являются лабораторные образцы, которые в свою очередь привязаны к стандартам МАГАТЭ V-SMOW (Венский стандарт среднеокеанической воды), SLAP (Стандарт легких антарктических осадков) и GIPS (гренландский лед) (Каюкова, 2017).

3.4 Методы обработки данных

Результаты исследований химического состава обрабатывались с помощью программы для работы с электронными таблицами – MS Office Excel. В таблицах расчетным путем определялась минерализация и содержание некоторых ионов (Na^+K^+ , Mg^{2+}).

Суммарное содержание Na^+K^+ в изучаемой пробе определялось разницей между суммарным содержанием анионов и жесткостью воды. А для получения количества содержащихся в пробе ионов магния из полученной жесткости воды вычитается содержание иона кальция в исследуемой пробе. Расчет данных компонентов осуществляется компонентов в мг-экв/л.

Построенная в Excel сводная таблица состоит из трех блоков: в первом блоке содержание макрокомпонентов выражено в мг-экв/л, во втором – в мг/л, в третьем – в экв-%/л, который необходим для составления формул Курлова. *Формула Курлова* – это псевдоформула, отражающая химический состав воды по преобладающим анионам и катионам, а также такие параметры, как минерализация, pH, температура, газовый состав.

С помощью компьютерного обеспечения для построения химических диаграмм AqQa v1.1.5.1. осуществлялось построение диаграмм Дурова.

Для навигации по участку исследования применялись приложения, основанные на картографии: Google Earth Pro, Google Maps, SAS.Planet. Привязка мест пробоотбора проводилась в программе ArcGIS Desktop 10.4 (приложение ArcMap) на топооснову восточной части Бахчисарайского района Крыма, в частности д. Трудолюбовки и северной части с. Скалистое.

Глава 4. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ

В результате опробования и изучения атмосферных осадков, подземных и поверхностных вод Горного Крыма, изучены особенности химического состава, характерного для летнего сезона. Наиболее детально изучен бассейн среднего течения р. Бодрак (территория Крымского учебного полигона СПбГУ).

Гидрогеологические объекты бассейна р. Бодрак имеют свой оригинальный код. На тип водного объекта указывает первая цифра кода: 0 – водопровод, 00 – источник централизованного водоснабжения, 1 – источник, 3 – колодец, 3* - скважина, 5 – ставок, 6 – р. Бодрак. На рисунке 18 представлены точки опробования июля 2019 г. (приложение 1, 2).

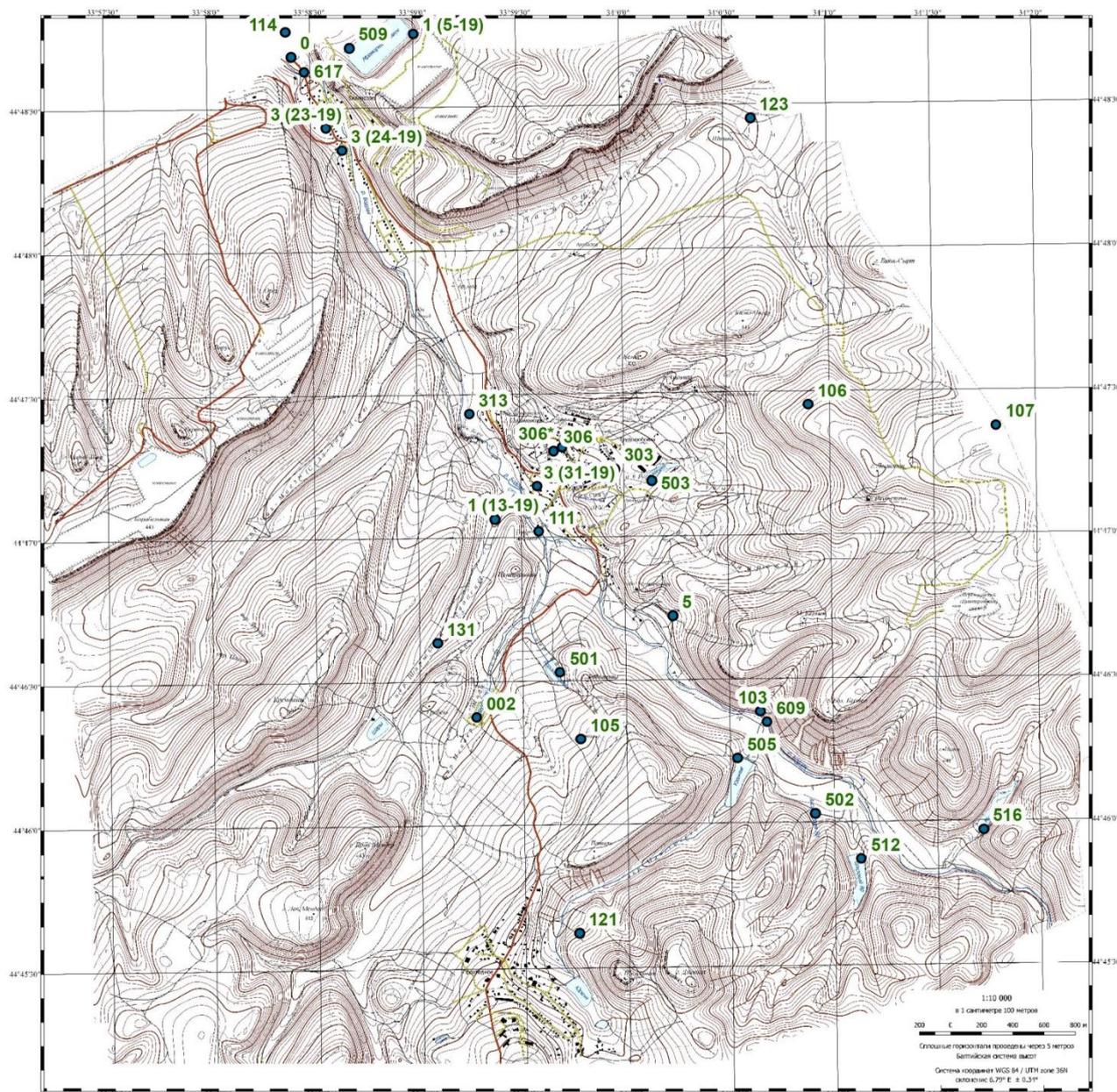


Рис. 18. Карта опробования гидрогеологических объектов бассейна р. Бодрак

Атмосферные осадки

В летний сезон 2019 г. были отобраны и впоследствии проанализированы 15 проб атмосферных осадков. Пункт сбора осадков расположен на территории Крымской учебно-научной базы СПбГУ в д. Трудолюбовка (44°47'10"N, 33°59'59"E). Сбор атмосферных осадков производился в пластиковую ёмкость на открытой степной местности вдали от деревьев (за исключением двух проб, отобранных под кронами деревьев) на некотором расстоянии от поверхности земли. При интерпретации часть проб не рассматривается в связи с резкими отклонениями химического состава, что в свою очередь может быть связано с загрязнением проб.

Химический состав атмосферных осадков Крымского Предгорья представлен в таблицах 2, 3 и 4, также в таблице 4 представлены метеоусловия пробоотбора по данным метеостанции п. Почтовый.

В таблице 3 представлены статистические характеристики основных показателей химического состава. Выборка производилась для 8 проб атмосферных осадков. На первое место по среднему содержанию среди катионов выходят ионы кальция, среди анионов – гидрокарбонаты. Средняя минерализация метеорных вод составила 25,6 мг/л. Высокая изменчивость концентрации наблюдается у гидрокарбонат-ионов, значения обладают максимальной дисперсией и максимальным стандартным отклонением.

По преобладающим компонентам атмосферные осадки в основном гидрокарбонатные кальциевые или гидрокарбонатно-хлоридные натриево-кальциевые. Но все же главную роль в летние месяцы 2019 г. среди анионов обычно занимают HCO_3^- , а среди катионов - Ca^{2+} . Кислотно-щелочной показатель варьирует от слабокислого до нейтрального, удельная электропроводность располагается в диапазоне от 8 до 41 мкСм/см, средняя минерализация атмосферных осадков в июне-июле 2019 г. составила 25 мг/л.

Атмосферные осадки можно разделить на 6 основных групп (Каюкова, 2017; Матвеев, Башмаков, 1966). Атмосферные осадки, выпадающие в Крымском Предгорье, относятся к пятой группе гидрокарбонатно-кальциевых вод.

Таблица 2

Химический состав атмосферных осадков июня-июля 2019 г.

№	Дата	рН	УЭП	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	СГ	НСО ₃ ⁻
				расч	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л
			μS	мг-экв/л	мг-экв/л	мг-экв/л	мг-экв/л	мг-экв/л
д1-19	23.06.19	6,8	41	<u>2,3</u> 0,01	<u>5,0</u> 0,25	<u>1,8</u> 0,15	<u>5,3</u> 0,15	<u>18,3</u> 0,3
д7-19	25.06.19	6,3	8	<u>1,1</u> 0,05	<u>4,0</u> 0,2	<u>1,22</u> 0,1	<u>6,7</u> 0,2	<u>12,2</u> 0,2
д8-19	28.06.19	6,6	28	<u>0,2</u> 0,01	<u>5,6</u> 0,3	<u>2,7</u> 0,22	<u>5,7</u> 0,16	<u>18,3</u> 0,3
д9-19	08.07.19	5,8	14	<u>2,1</u> 0,09	<u>2,2</u> 0,11	<u>1,1</u> 0,1	<u>5,0</u> 0,14	<u>6,1</u> 0,1
д11-19	12.07.19	7,1	12	<u>1,8</u> 0,1	<u>2,0</u> 0,1	<u>1,22</u> 0,1	<u>6,4</u> 0,2	<u>3,1</u> 0,05
д12-19	13.07.19	7,1	16	<u>2,3</u> 0,1	<u>4,0</u> 0,2	<u>2,2</u> 0,1	<u>5,3</u> 0,15	<u>12,2</u> 0,2
д13-19	15.07.19	7,4	18	<u>2,5</u> 0,11	<u>2,2</u> 0,11	<u>1,1</u> 0,1	<u>5,7</u> 0,16	<u>6,1</u> 0,1
д15-19	04.08.19	6,5	30	<u>2,5</u> 0,11	<u>4,0</u> 0,2	<u>1,2</u> 0,1	<u>9,2</u> 0,26	<u>6,1</u> 0,1

При разных условиях пробоотбора

д1-19	23.06.19	6,8	41	<u>2,3</u> 0,01	<u>5,0</u> 0,25	<u>1,8</u> 0,15	<u>5,3</u> 0,15	<u>18,3</u> 0,3
д2-19	23.06.19	6,9	38	<u>0,9</u> 0,04	<u>6,0</u> 0,3	<u>2,4</u> 0,2	<u>6,7</u> 0,2	<u>18,3</u> 0,3
д3-19	23.06.19	6,8	38	<u>3,0</u> 0,13	<u>3,6</u> 0,2	<u>1,5</u> 0,1	<u>4,6</u> 0,13	<u>15,3</u> 0,25

Примечание: SO₄²⁻ ниже предела обнаружения (< 2 мг/л),
д1-19 пробоотбор на открытом степном участке, д2-19 – под кроной дуба, д3-19 – под кроной грецкого ореха;

Таблица 3

Статистические характеристики основных показателей химического состава атмосферных осадков июня-июля 2019 г. (данные 8 проб)

	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	СГ	НСО ₃ ⁻	рН	М
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л		мг/л
средние	1,9	3,8	1,8	5,6	12,2	6,8	25,6
медиана	2,2	3,8	1,7	5,5	13,8	6,9	23,0
минимум	0,2	2,0	1,1	4,6	3,1	5,8	12,0
максимум	3,0	6,0	2,7	6,7	18,3	7,4	41,0
дисперсия	0,8	2,6	0,4	0,5	39,8	0,2	145,7
стандарт. отклонения	0,9	1,6	0,6	0,7	6,3	0,5	12,1
коэфф. вариации	0,5	0,4	0,36	0,1	0,5	0,07	0,5
стандартн. ошибка	0,3	0,6	0,2	0,3	2,2	0,2	4,3

Таблица 4

Химический состав атмосферных осадков и метеосостояние пробоотбора в июне-июле 2019 г. по данным метеостанции п. Почтовый

№	Дата выпадения осадков	Формула Курлова	Количество атмосферных осадков	Температура	Направление ветра	Скорость ветра
			мм	°С	румбы	м/с
д1-19	23.06.19	$M_{0,04} \frac{HCO_3^- 60 Cl^- 30}{Ca^{2+} 50 Mg^{2+} 30 (Na^+ + K^+) 20}$ pH6,8	23,0	22,2	В	2
д7-19	25.06.19	$M_{0,01} \frac{HCO_3^- 57 Cl^- 29 SO_4^{2-} 12}{Ca^{2+} 57 Mg^{2+} 29 (Na^+ + K^+) 14}$ pH6,3	38,0	23,3	В	1
д8-19	28.06.19	$M_{0,03} \frac{HCO_3^- 59 Cl^- 31}{Ca^{2+} 51 Mg^{2+} 40}$ pH6,6	13,0	19,3	СЗ	3
д9-19	08.07.19	$M_{0,02} \frac{Cl^- 48 HCO_3^- 35 SO_4^{2-} 14}{Ca^{2+} 38 (Na^+ + K^+) 32 Mg^{2+} 30}$ pH5,8	6,0	20,5	штиль	-
д11-19	12.07.19	$M_{0,01} \frac{Cl^- 64 HCO_3^- 18 SO_4^{2-} 15}{Ca^{2+} 36 Mg^{2+} 36 (Na^+ + K^+) 28}$ pH7,1	33,0	14,2	ЮВ	1
д12-19	13.07.19	$M_{0,02} \frac{HCO_3^- 50 Cl^- 38 SO_4^{2-} 10}{Ca^{2+} 50 (Na^+ + K^+) 28 Mg^{2+} 22}$ pH7,1	6,0	12,2	ЮЗ, В	2
д13-19	15.07.19	$M_{0,02} \frac{Cl^- 52 HCO_3^- 32 SO_4^{2-} 13}{Ca^{2+} 33 (Na^+ + K^+) 32 Mg^{2+} 27}$ pH7,4	2,0	19,1	штиль	-
д15-19	04.08.19	$M_{0,03} \frac{Cl^- 64 HCO_3^- 24 SO_4^{2-} 10}{Ca^{2+} 49 (Na^+ + K^+) 27 Mg^{2+} 24}$ pH6,5	27,0	20,6	ЮЗ	5
При разных условиях пробоотбора						
д1-19	23.06.19	$M_{0,04} \frac{HCO_3^- 60 Cl^- 30}{Ca^{2+} 50 Mg^{2+} 30 (Na^+ + K^+) 20}$ pH6,8	23,0	22,2	В	2
д2-19	23.06.19	$M_{0,04} \frac{HCO_3^- 56 Cl^- 35}{Ca^{2+} 54 Mg^{2+} 36}$ pH6,9				
д3-19	23.06.19	$M_{0,04} \frac{HCO_3^- 58 Cl^- 30 SO_4^{2-} 12}{Ca^{2+} 38 (Na^+ + K^+) 27 Mg^{2+} 25}$ pH6,8				

Примечание: д1-19 пробоотбор на открытом участке, д2-19 – под кроной дуба, д3-19 – под кроной грецкого ореха;

Среднее значение кислотно-щелочного показателя равно 6,8, в пробе д9-19 данный показатель равен 5,8. Это может говорить о наличии загрязнения атмосферных осадков. По данным метеостанции п. Почтовый в этот день преобладали южные ветры. Метеорные воды с кислой средой опасны для горных пород Крымского полуострова, так как они являются отличным агентом выветривания.

По данным гидрохимических анализов найдена связь минерализации выпавших в Предгорье в летний период 2019 г. атмосферных осадков и удельной электропроводности, которая представлена на рисунке 19. Минерализация, рассчитанная таким способом, равна 0,569 УЭП.

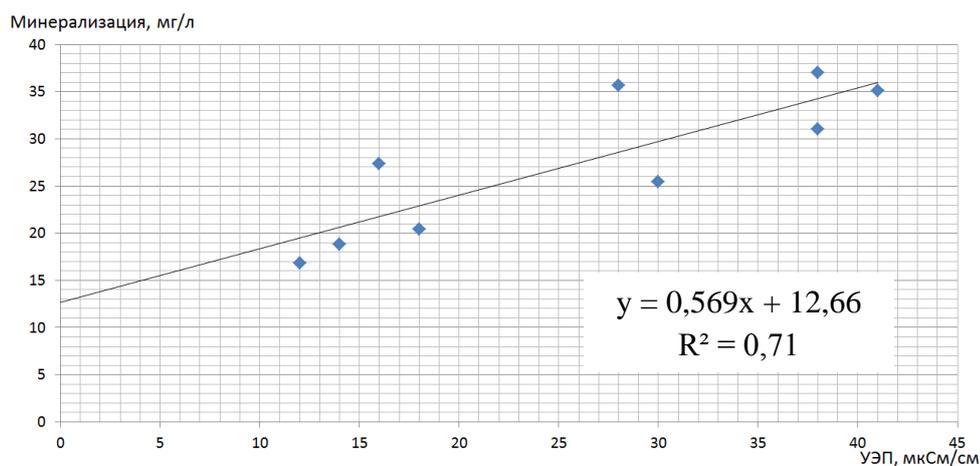


Рис. 19. График зависимости минерализации (мг/л) атмосферных осадков от удельной электропроводности (мкСм/см)

Атмосферные осадки в данном районе периодически изучались с 1999 по 2010 гг. По результатам тех лет состав дождей в летние периоды времени был преимущественно гидрокарбонатно-кальциевым. Ионы HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+} и SO_4^{2-} происходят из почв и карбонатных горных пород, Cl^- и Na^+ обладают морским генезисом (Каюкова, 2011).

В таблице 2 и 4 дополнительно представлены данные атмосферных осадков, отобранных при разных условиях, а именно под кронами деревьев. Не смотря на то, что минерализация проб, отобранных на открытом участке, под кроной дуба и под кроной грецкого ореха, практически не отличается, химический состав претерпевает изменения вследствие влияния биотического фактора. Таким образом, под кроной дуба больше хлоридной составляющей, под кроной грецкого ореха проявляется сульфатная и натриевая составляющая.

На рисунке 20 изображена диаграмма Дурова, на которой показан химический состав атмосферных осадков. Условными обозначениями показана информация о количестве выпавших осадков. Наиболее минерализованными оказались атмосферные осадки, выпавшие в меньшем объеме (<10 мм). Это связано с взвешенными в воздухе

пылеватыми частицами, которые могут являться ядрами конденсации капель дождя и влиять на химический состав дождевой воды.

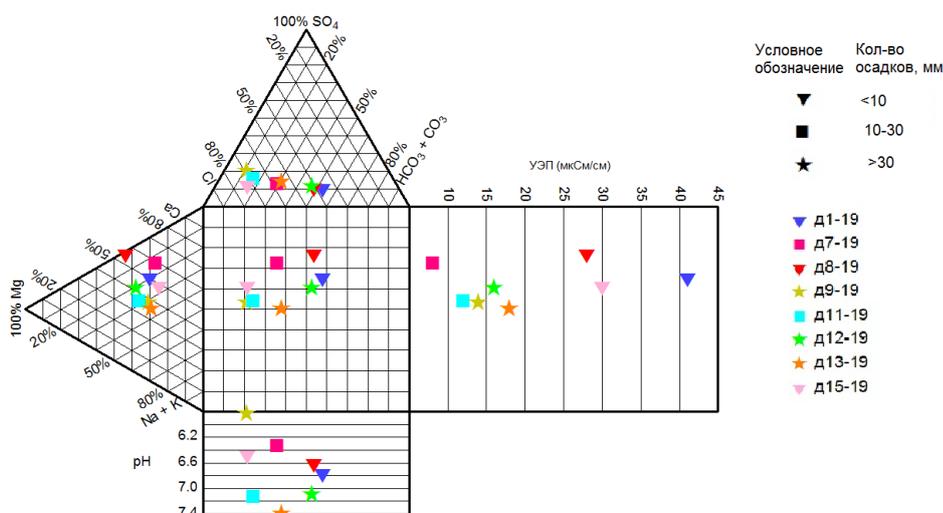


Рис. 20. Химический состав атмосферных осадков, выпавших летом 2019 г. в Предгорье на диаграмме Дурова

Поверхностные воды

В течение гидрогеологической практики были опробованы и впоследствии изучены некоторые реки Горного Крыма и поверхностные воды в долине р. Бодрак, представленные ставками.

Химический состав рек Горного Крыма и ставков (водоёмов) представлен в таблицах 5 и 6 соответственно. Поверхностные воды в большинстве своем пресные жесткие от нейтральных до слабощелочных сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые. Формулы Курлова, составленные по данным химического анализа:

Реки Горного Крыма

$$M_{0,4-0,6} \frac{HCO_3^- (83 - 68) SO_4^{2-} (21 - 11) Cl^- (9 - 5)}{Ca^{2+} (91 - 30) Mg^{2+} (46 - 7) (Na^+ + K^+) (23 - 2)} \text{ рН}7,2 \text{ Т}^{\circ}\text{С}21,1$$

Ставки (водоёмы) долины р. Бодрак

$$M_{0,4-0,8} \frac{HCO_3^- (71 - 22) SO_4^{2-} (68 - 18) Cl^- (16 - 6)}{Ca^{2+} (63 - 25) Mg^{2+} (45 - 13) (Na^+ + K^+) (36 - 15)} \text{ рН}7,9 \text{ Т}^{\circ}\text{С}25,5$$

Статистические характеристики основных показателей химического состава 8 ставков (водоёмов) отражены в таблице 7. Из таблицы следует, что средняя минерализация составляет около 0,64 г/л, среднее значение кислотно-щелочного показателя равно 7,9; максимальное среднее значение среди катионов занимают ионы кальция, среди анионов – гидрокарбонат-ионы.

На рисунке 21 показана связь минерализации поверхностных вод (ставков) долины среднего течения р. Бодрак и удельной электропроводности, которая

представлена на графике. Минерализация, полученная по данным графика, равна 0,955УЭП.

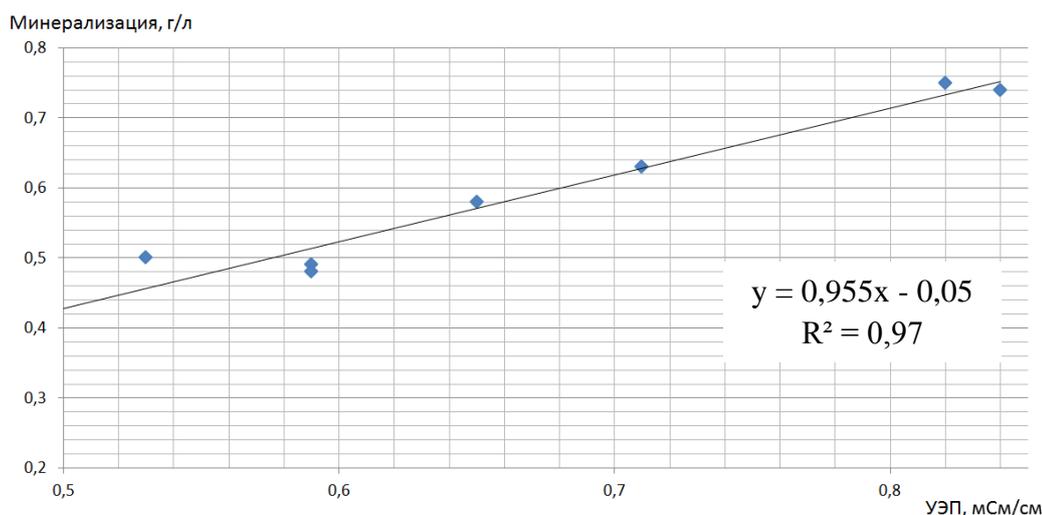


Рис. 21. График зависимости минерализации (г/л) поверхностных вод от удельной электропроводности (мСм/см)

Не смотря на то, что химический состав рек и водоёмов похож, в случае рек содержание ионов HCO_3^- и Ca^{2+} выше. Это обосновывается тем, что реки берут свое начало в карбонатных породах, насыщаясь данными ионами. Помимо этого, ставки подпитываются подземными водами, и с поверхности водоёмов происходит интенсивное испарение воды (особенно в летний период), что влечет за собой изменение химического состава и обосновывает различия минерализаций.

На рисунке 22 представлен химический состав поверхностных вод Горного Крыма на диаграмме Дурова. Ставки Мраморный, Аммонитовый и Колхозный отличаются повышенной минерализацией вследствие непосредственного антропогенного влияния (наличие домов поблизости). Ставки, расположенные вверх по течению р. Бодрак, отличаются более низкой минерализацией.

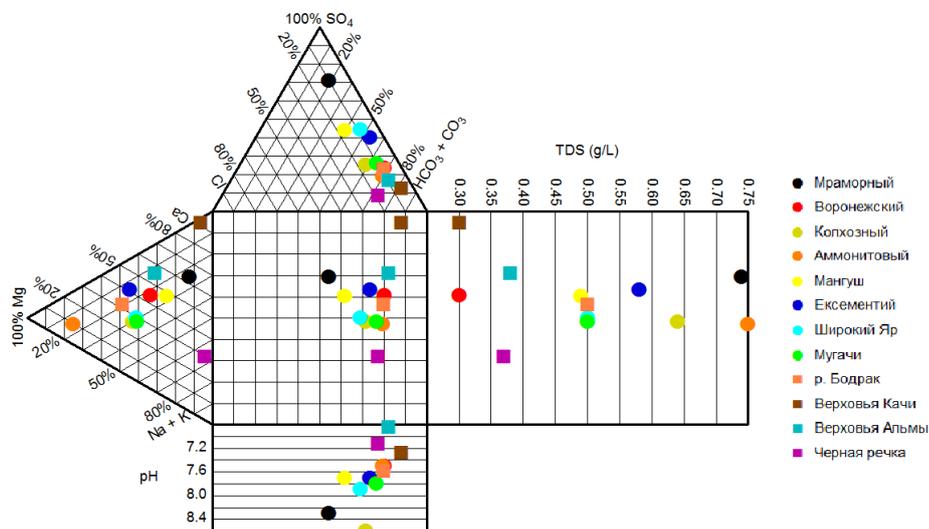


Рис. 22. Химический состав поверхностных вод долины р. Бодрак на диаграмме Дурова

Проанализирован микрокомпонентный состав некоторых ставок по данным Е.П. Каюковой за 2003 г. В большинстве ставок значения Al, B, Mn и Pb превышают ПДК согласно ГН 2.1.5.1315-03 «Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в воде водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования». По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) значение предельно допустимой концентрации бария равно 0,7 мг/л. В данном случае барий не выходит за рамки принятых норм.

Таблица 5

Химический состав рек Горного Крыма, 2019 г.

№	Объект	рН	Т	УЭП	М	М	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
			°С	мS	г/л	г/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л
617	р. Бодрак	7,6	21	0,59	0,51	0,51	<u>29,9</u> 1,3	<u>42,1</u> 2,1	<u>38,9</u> 3,2	<u>21,3</u> 0,6	<u>72,1</u> 1,5	<u>292,8</u> 4,8
А	Верховья Качи	7,3	-	0,33	0,27	0,30	<u>2,2</u> 0,1	<u>70,1</u> 3,5	<u>3,0</u> 0,3	<u>7,1</u> 0,2	<u>21,0</u> 0,4	<u>195,2</u> 3,2
Г	Верховья Альмы	6,9	-	0,38	0,32	0,38	<u>16,0</u> 0,7	<u>56,1</u> 2,8	<u>19,4</u> 1,6	<u>14,2</u> 0,4	<u>33,0</u> 0,7	<u>244,0</u> 4,0

Примечание: $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ – изотопные данные кафедры гидрогеологии СПбГУ 2018 г.; пробы проанализированы в Ресурсном центре СПбГУ «Геомодель».

Таблица 6

Химический состав ставок в долине р. Бодрак, 2019 г.

Код точки	Название объекта	рН	Т	УЭП	М	М	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
			°С	мS	г/л	г/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л
509	Мраморный	8,3	22,6	0,84	0,75	0,74	<u>59,7</u> 2,6	<u>135,3</u> 6,8	<u>16,4</u> 1,4	<u>39,0</u> 1,1	<u>364,5</u> 7,6	<u>122,0</u> 2,0
501	Воронежский	7,5	24,8	0,36	0,29	0,29	<u>20,1</u> 0,9	<u>34,1</u> 1,7	<u>15,8</u> 1,3	<u>10,6</u> 0,3	<u>42,0</u> 0,9	<u>164,7</u> 2,7
503	Колхозный	8,6	24,6	0,71	0,63	0,63	<u>62,0</u> 2,7	<u>48,1</u> 2,4	<u>46,2</u> 3,8	<u>49,6</u> 1,4	<u>110,2</u> 2,3	<u>317,2</u> 5,2
тн 25-19	Аммонитовый	7,5	25,8	0,82	0,73	0,75	<u>37,8</u> 1,6	<u>20,0</u> 1,0	<u>97,2</u> 8,0	<u>39,0</u> 1,1	<u>93,3</u> 1,9	<u>463,6</u> 7,6
505	Мангуш	7,7	25,5	0,59	0,51	0,49	<u>43,8</u> 1,9	<u>66,1</u> 3,3	<u>20,7</u> 1,7	<u>39,0</u> 1,1	<u>144,1</u> 3,0	<u>170,8</u> 2,8
502	Ексеметий	7,7	27,0	0,65	0,57	0,58	<u>27,1</u> 1,2	<u>66,1</u> 3,3	<u>43,7</u> 3,6	<u>17,7</u> 0,5	<u>152,6</u> 3,2	<u>268,4</u> 4,4
512	Широкий Яр	7,9	27,4	0,59	0,51	0,48	<u>46,1</u> 2,0	<u>40,1</u> 2,00	<u>34,0</u> 2,8	<u>21,3</u> 0,6	<u>144,1</u> 3,0	<u>195,2</u> 3,2
516	Мугачи	7,8	26,5	0,53	0,46	0,50	<u>49,8</u> 2,2	<u>38,1</u> 1,90	<u>34,0</u> 2,8	<u>24,8</u> 0,7	<u>84,8</u> 1,8	<u>268,4</u> 4,4

Таблица 7

Статистические характеристики основных показателей химического состава ставок (водоёмов), 2019 г. (8 проб)

	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	рН	M
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л		г/л
средние	43,3	56,0	38,5	30,1	142,0	246,3	7,9	0,64
медиана	44,9	44,1	34,0	31,9	127,2	231,8	7,8	0,62
минимум	20,1	20,0	15,8	10,6	42,0	122,0	7,5	0,36
максимум	62,0	135,3	97,2	49,6	364,5	463,6	8,6	0,84
дисперсия	214,3	1271,4	699,2	179,6	9468,9	11949,1	0,2	0,02
стандарт. отклонения	14,6	35,7	26,4	13,4	97,3	109,3	0,4	0,2
коэфф. вариации	0,3	0,6	0,7	0,4	0,7	0,4	0,05	0,3
стандартн. ошибка	5,2	12,6	9,4	4,7	34,4	38,7	0,1	0,06

Подземные воды

Подземные воды долины среднего течения р. Бодрак связаны с мезозойскими и кайнозойскими отложениями разного литологического состава. Район характеризуется высокими скоростями водообмена неглубокозалегающих подземных вод.

Подземные воды преимущественно слабощелочные жесткие сульфатно-гидрокарбонатные или гидрокарбонатные магниевые-кальциевые с минерализацией около 1 г/л. Формулы Курлова составлены для источников (13 проб) и колодцев (5 проб) среднего течения бассейна р. Бодрак:

Источники долины р. Бодрак

$$M_{0,4-1,0} \frac{HCO_3^- (89 - 30) SO_4^{2-} (62 - 20) Cl^- (10 - 4)}{Ca^{2+} (86 - 30) Mg^{2+} (48 - 18) (Na^+ + K^+) (32 - 5)} \text{ рН}7,4 \text{ Т}^{\circ}\text{С}15,8$$

Колодцы долины р. Бодрак

$$M_{0,7-1,2} \frac{HCO_3^- (71 - 62) SO_4^{2-} (19 - 8) Cl^- (15 - 8)}{Ca^{2+} (67 - 22) Mg^{2+} (55 - 14) (Na^+ + K^+) (33 - 15)} \text{ рН}7,3 \text{ Т}^{\circ}\text{С}14,0$$

Химический состав грунтовых вод представлен в приложении 3 и на диаграмме Дурова (рис.23). По графику можно увидеть, что источники в основном имеют меньшую минерализацию по сравнению с колодцами.

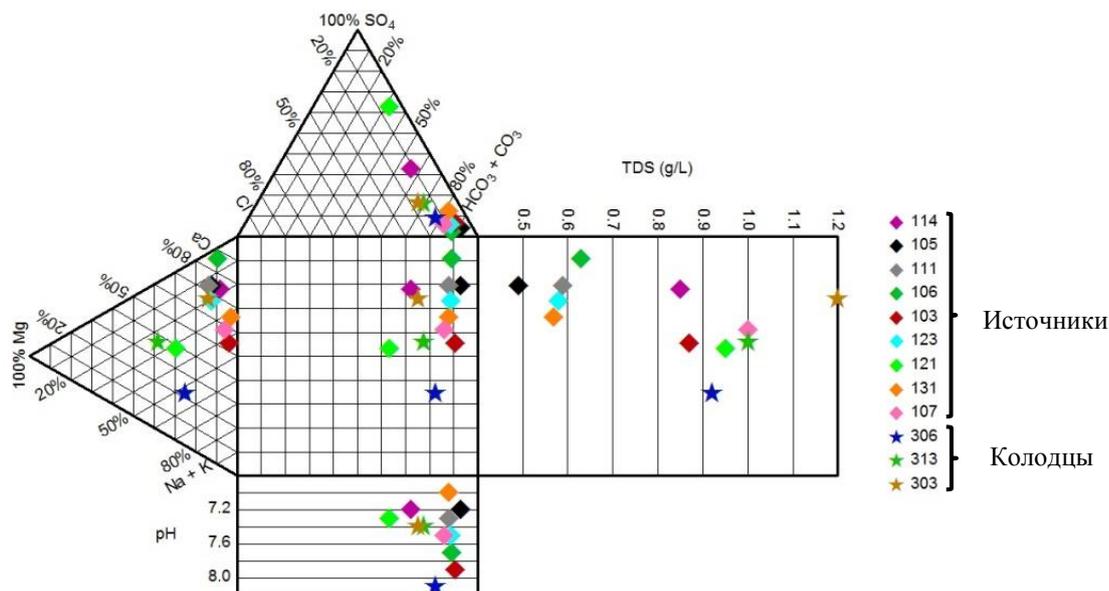


Рис. 23. Химический состав подземных вод долины р. Бодрак на диаграмме Дурова

Таким образом, подземные воды в бассейне р. Бодрак формируются за счет ионов гидрокарбонатов и кальция. В подземных водах прослеживаются следующие зависимости: в анионном составе - $\text{HCO}_3^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$, в катионном составе - $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+ + \text{K}^+$.

При инфильтрации воды взаимодействуют с вмещающими породами, приобретая именно такой химический состав. Одновременно протекают процессы растворения, выщелачивания, окисления, гидролиза, обменные реакции. Вследствие этих процессов увеличивается минерализация и обогащение микрокомпонентов в воде.

По данным гидрохимических анализов найдена зависимость минерализации грунтовых вод долины р. Бодрак от удельной электропроводности. Зависимость представлена на рисунке, минерализация рассчитанная таким способом равна $0,778\text{УЭП}$ (рис.24).

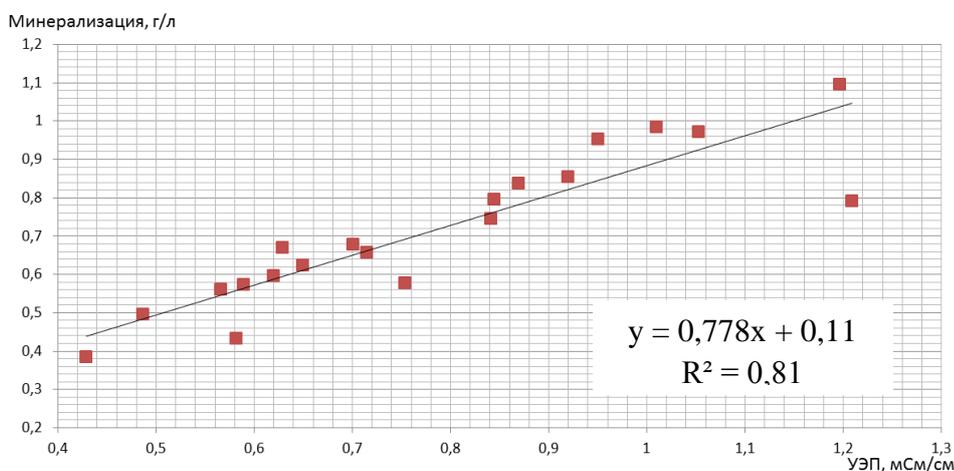


Рис. 24. График зависимости минерализации (г/л) подземных вод от удельной электропроводности (мСм/см)

В таблице 8 представлены статистические характеристики основных показателей химического состава подземных вод по данным 20 проб (13 источников, 5 колодцев, 2 скважины). Средняя минерализация грунтовых вод активного водообмена бассейна р. Бодрак составляет 0,78 г/л. Формирование химического состава подземных вод формируется главным образом за счёт гидрокарбонат ионов (около 58%) и ионов кальция (около 15%). Наибольшие отклонения от среднего значения наблюдаются у гидрокарбонатов, вследствие высокой вариации концентрации гидрокарбонат-иона.

Таблица 8

Химический состав подземных вод в долине р. Бодрак, в летний период 2019 г.
(данные 20 проб)

	$\text{Na}^+ + \text{K}^+$	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	HCO_3^-	pH	M
	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л	мг/л		г/л
средние	50,1	103,9	22,3	31,1	81,9	399,6	7,4	0,78
медиана	44,8	104,2	11,2	26,6	46,6	384,3	7,4	0,73
минимум	9,4	30,1	2,4	9,9	5,0	195,2	6,8	0,43
максимум	135,6	186,4	60,1	78,0	394,2	585,6	8,1	1,21
дисперсия	1118,4	1404,8	378,3	314,2	10351,8	11920,9	0,1	0,05
стандарт. отклонения	33,4	37,5	19,5	17,7	101,7	109,2	0,3	0,2
коэфф. вариации	0,7	0,4	0,9	0,6	1,2	0,3	0,04	0,3
стандартн. ошибка	7,5	8,4	4,4	4,0	22,8	24,4	0,07	0,05

Формирование химического состава подземных вод

Основными факторами формирования химического состава подземных вод являются как природные, так и антропогенные факторы. Главные – географические, геолого-гидрогеологические и физико-химические.

Уровень грунтовых вод колеблется в зависимости от сезона питания. Пик уровня приходится на весенний период вследствие таяния снегов, и в то же время играют важную роль невысокая температура и небольшое испарение влаги. Совокупность этого обеспечивает благоприятные условия для инфильтрации атмосферных осадков (Каюкова, 2017).

В летний и осенний сезоны уровень грунтовых вод напрямую зависит от климатических условий весеннего периода. Несмотря на то, что летний период довольно жаркий, испарение неглубоко залегающих подземных вод не будет интенсивным вследствие наличия растительного и лесного покрова (Каюкова, 2017).

Формирование химического состава подземных вод осуществляется в 4 этапа: атмосферный, биогенный, литогенный и испарительный (Гидрогеохимия, 1993).

Метеорные воды – основной источник питания, главный фактор формирования химического состава грунтовых вод и агент химического выветривания. После выпадения атмосферных осадков, происходит инфильтрация сквозь растительный и почвенный покров вследствие чего состав атмосферных осадков может меняться. В Горном Крыму инфильтрационное питание подземных вод в теплый сезон может осуществляться при осадках более 22 мм/сут (Дублянский, 1967).

Инфильтрация атмосферных осадков сквозь почву оказывает влияние на газовый состав, так как в почвенном слое происходят процессы окисления и как следствие концентрация углекислого газа возрастает, концентрация кислорода уменьшается (Посохов, 1975). Углекислый газ – источник образования гидрокарбонатов, свободный кислород поддерживает окислительную среду в грунтовых водах активного водообмена. По данным Е.П. Каюковой значение Eh в подземных водах долины среднего течения р. Бодрак +200 мВ.

На литогенном этапе формирования подземных вод происходит взаимодействие воды с вмещающими горными породами, что ведет к значительным изменениям химического и газового состава. При фильтрации вод через карбонатные породы, которые слагают большую часть разреза, происходит обогащение ионами кальция и гидрокарбоната. Активно происходит химическое выветривание горных пород, которое влечет за собой окисление, выщелачивание, обмен ионами и др., также биологическое выветривание.

Испарительный этап происходит в жарких засушливых условиях, что также влечет за собой изменение газового и химического состава вод вследствие увеличения концентрации соединений в растворе и осаждения некоторых минералов.

Антропогенная деятельность тоже оказывает влияние на природные воды. В некоторых пробах наблюдается превышение ПДК нитрат-ионов в связи с хозяйственной деятельностью: отсутствие централизованной канализации из-за маломощного почвенного покрова и непосредственной близости с коренными породами, домашнее хозяйство, огороды.

Средний химический состав природных вод Горного Крыма представлен на диаграмме Дурова (рис.25). Диаграмма составлена по наиболее представительным данным химического анализа 5 проб подземных вод, 3 проб ставков, 3 проб рек, 7 проб атмосферных осадков. На родство природных вод указывает преобладание в каждом типе вод ионов кальция и гидрокарбонат-ионов. Также на графике четко видно, что минерализация вод увеличивается в ряду атмосферные осадки – реки – ставки (водоёмы) – подземные воды.

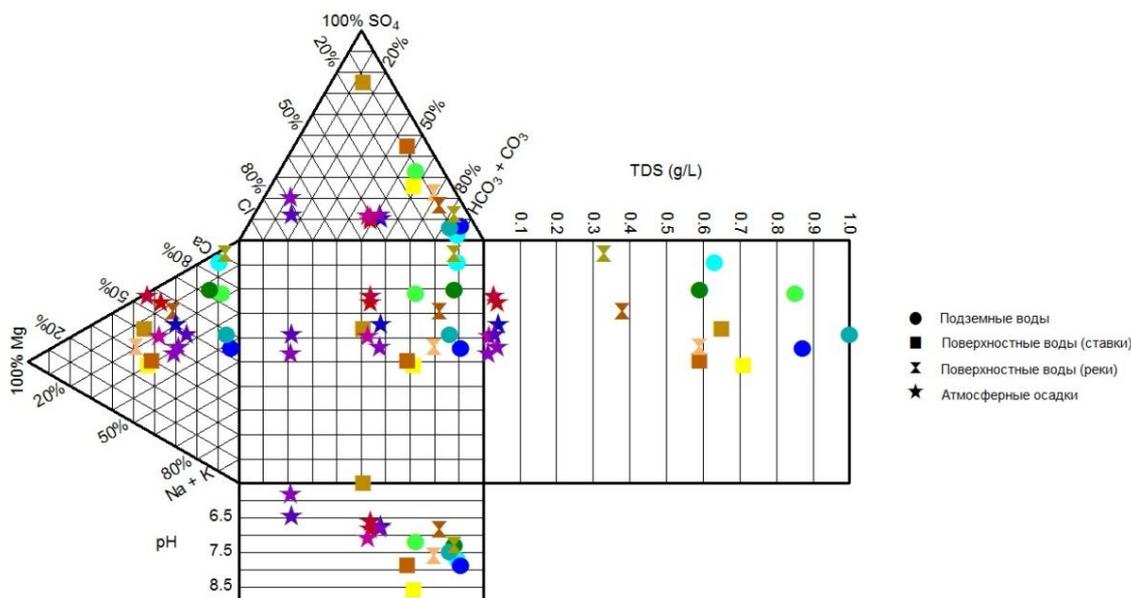


Рис. 25. Химический состав природных вод Горного Крыма на диаграмме Дурова

Изотопный состав природных вод

Соотношения изотопов водорода и кислорода позволяют изучать их историю эволюции в природе благодаря тому, что они являются единственными характеристиками вещественного состава молекул воды.

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) и Всемирная метеорологическая ассоциация в 1958 г. создало Международную программу по измерению изотопного состава (¹H, ²H, ³H, ¹⁶O, ¹⁸O), вследствие осуществления которой, планета была покрыта сетью наблюдательных станций (940 станций) - «Global Network Isotopes in Precipitation» (GNIP) (МАГАТЭ, 14.05.2020).

Поведение стабильных изотопов водорода $\delta^2\text{H}$ и кислорода $\delta^{18}\text{O}$ подчиняется линейному закону: $\delta^2\text{H} = 8\delta^{18}\text{O} + 10$. Линия данной зависимости – линия Крейга, или глобальная линия метеорных вод (ГЛМВ).

Изотопные данные представляются в относительных единицах (Фор, 1989):

$$\delta X(\text{‰}) = (R_{\text{пр}}/R_{\text{ст}} - 1) \times 1000,$$

где R – атомные отношения изотопов - водорода (²H/¹H) или кислорода (¹⁸O/¹⁶O) в пробе и стандарте; δ – отношение стабильных изотопов относительно стандарта в промилле (‰), δ отражает обеднение ($\delta < 0$) или обогащение ($\delta > 0$) тяжелым изотопом по сравнению со стандартом ($\delta = 0$).

Процессы взаимодействия в системах вода-порода и газ-вода (растворение, осаждение, испарение, конденсация и др.) обладает весомой ролью в процессе фракционирования изотопов водорода и кислорода (Изотопия..., 2009).

При определенных климатических и географических условиях взаимоотношение изотопов, оставаясь линейным, может отклоняться от уравнения, описывающее ГЛМВ. В данном случае появляется локальная линия метеорных вод (ЛЛМВ).

Таким образом, изотопный состав атмосферных осадков четко зависит от таких географических параметров как долгота, широта, высота над уровнем моря (с повышением широты и высоты, содержание стабильных изотопов водорода и кислорода будут уменьшаться). С помощью изотопов водорода и кислорода в горных областях можно оценить период увеличения запасов грунтовых вод, абсолютные отметки областей питания (Изотопия..., 2009).

Вариация сезонных климатических условий, а именно температурных колебаний, сильно отражается на концентрации изотопов водорода и кислорода в атмосферных осадках. Наиболее легким изотопным составом будет обладать снег, следовательно, в нем мало тяжелого $\delta^{18}\text{O}$ изотопа. Дожди по сравнению со снегом будут обогащены тяжелым изотопом.

Данные о примерном изотопном составе метеорных вод Крыма можно изучить, основываясь на данных глобальной сети изотопов GNIP ближайших к полуострову стран. Наиболее схожие по высотно-широтному отношению страны: Грузия, Турция, Болгария, Румыния, Молдавия, Украина, Греция, Италия и др. В таблице 6 представлены некоторые страны, подходящие под географические условия Крымского полуострова, и среднегодовые содержания изотопов $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$. Основываясь на этих данных, ожидаемый состав атмосферных осадков: $\delta^2\text{H}$ около -60‰, $\delta^{18}\text{O}$ около -8 ‰ (Каюкова, 2017) (табл.9).

Таблица 9

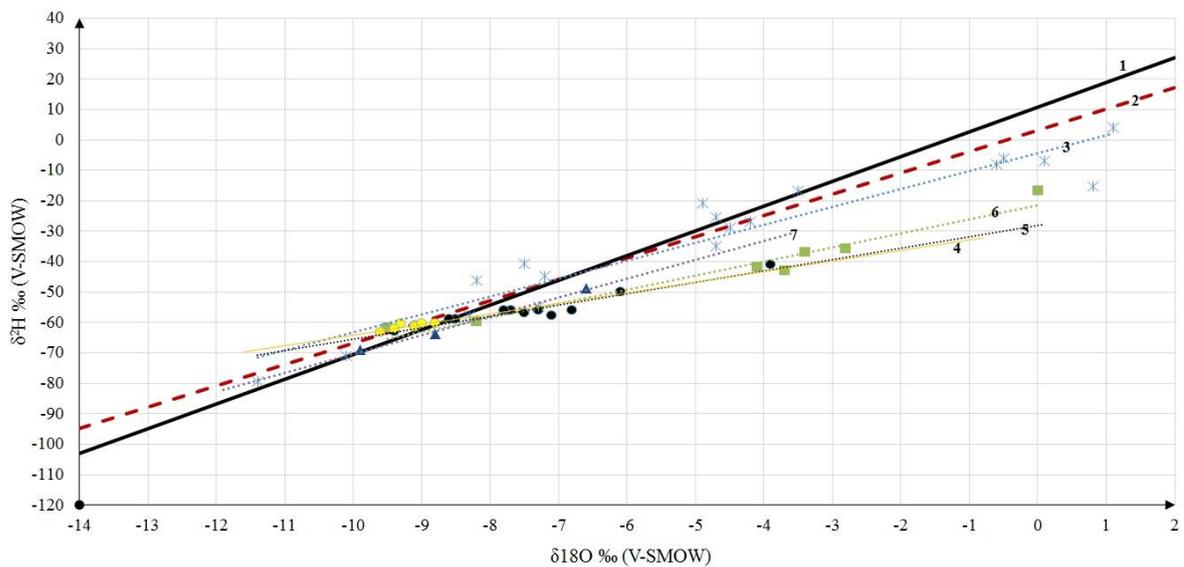
Среднегодовые $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ на отдельных станциях из базы GNIP, близких в высотно-широтном отношении к Крымскому полуострову (Каюкова, 2017)

Номер GNIP	станция	N	E	Alt (м)	данные периода наблюдения	$\delta^{18}\text{O}$ ‰	$\delta^2\text{H}$ ‰
1103500	Вена (Австрия)	48°15'00"	16°22'12"	203	1960-2009	-9,7	-70,1
1256500	Краков (Польша)	50°03'42"	19°50'55"	205	1975-2010	-9,8	-70,0
2685000	Минск (Беларуссия)	53°55'48"	27°37'48"	225	1980-1989	-10,8	-78,0
1664506	Сараклина (Греция)	39°39'45"	21°38'15"	173	1968-1971	-6,2	-35
1646000	Катания (Италия)	37°32'18"	15°04'02"	200	1997-2000	-5,2	

Полученные Е.П. Каюковой данные содержания стабильных изотопов $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в атмосферных осадках, поверхностных и подземных водах области Горного

Крыма представлены на графике (рис.26), построенном в координатах $\delta^2\text{H}-\delta^{18}\text{O}$. Результаты изотопных исследований располагаются относительно главной линии метеорных вод (ГЛМВ), или линия Крейга, также на графике представлена локальная линия метеорных вод (ЛЛМВ) северного склона Крымских гор по результатам двухлетних исследований Ю.В. Дублянского и др. (Каюкова, 2017; Дублянский и др., 2012).

Отклонение ЛЛМВ от ГЛМВ связано с интенсивным испарением воды с окружающих Крымский полуостров крупных водных бассейнов (Дублянский и др., 2012). Следовательно, испарение воды является основным из факторов, приводящих к изменению изотопного состава природных вод вследствие фракционирования стабильных изотопов кислорода и водорода.



	№ линии регрессии	Условные обозначения	Уравнения регрессии	Кол-во проб
—	1	Глобальная линия метеорных вод (ГЛМВ)	$y=8x+10$	
- - -	2	Локальная линия метеорных вод (ЛЛМВ)	$y=7x+3,2$	
*	3	Летние осадки, 2013, д. Трудолюбовка	$y = 5,893x - 4,36 (R^2 = 0,91)$	18
●	4	Подземные воды Горного Крыма, 2013	$y = 3,485x - 29,33 (R^2 = 0,70)$	9
		из них источники	$y = 4,222x - 22,43 (R^2 = 0,61)$	5
●	5	Подземные воды Горного Крыма, 2018	$y = 3,732x - 28,11 (R^2 = 0,99)$	12
		из них источники	$y = 3,888x - 26,8 (R^2 = 0,97)$	7
■	6	Ставки (водоёмы) бассейна р. Бодрак, 2003	$y = 4,604x - 21,58 (R^2 = 0,96)$	7
▲	7	Реки Горного Крыма, 2018	$y = 6,169x - 8,64 (R^2 = 0,99)$	3

Рис. 26. Изотопный состав природных вод в бассейне р. Бодрак (июнь-июль 2003, 2013, 2018 гг.)

Изотопный состав атмосферных осадков исследуемой территории изучался по данным Е.П. Каюковой за июнь-июль 2013 г. Летний сезон 2013 г. был довольно дождливым, в связи с этим было отобрано 14 проб осадков (в сумме 18, так как некоторые осадки отобраны и проанализированы дважды). Средние значения $\delta^2\text{H}$ и

$\delta^{18}\text{O}$ составили $-32,5\text{‰}$ и $-4,6\text{‰}$ соответственно. Средневзвешенные значения атмосферных осадков: $-28,4\text{‰}$ $\delta^2\text{H}$ и $-4,0\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$. Также отмечается, что самые интенсивные атмосферные осадки имеют самый легкий изотопный состав (Каюкова, 2017).

Летом атмосферные осадки, как поверхностные и подземные воды, обладают более легким изотопным составом, по сравнению с другими периодами (осень, зима, весна), когда происходит обеднение стабильными изотопами кислорода и водорода.

В работах Е.П. Каюковой, посвященных изотопному составу природных вод, интерполяцией найден высотный градиент средневзвешенных осадков для северного склона гор Крымского полуострова. Таким образом, это значение для $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^2\text{H}$ составляет $-0,17\text{‰}/100$ м и $-1,1\text{‰}/100$ м соответственно.

На формирование изотопного состава также влияют температурные особенности. Для изучаемых проб была найдена связь между приземной температурой воздуха и стабильными изотопами $\delta^2\text{H}$ и $\delta^{18}\text{O}$ в атмосферных осадках. Значения температур получали их погодного архива п. Почтовый (табл.10) (Каюкова, 2017).

Таблица 10

Средние содержания дейтерия и кислорода-18 в атмосферных осадках д. Трудолюбовки на основе гипотетических уравнений: $\delta^2\text{H} = 2,38 \cdot T - 76,8$ и $\delta^{18}\text{O} = 0,37 \cdot T - 11,5$

	январь	февраль	март	апрель	май	июнь	июль	август	сентябрь	октябрь	ноябрь	декабрь	ГОД
$\delta^{18}\text{O}, \text{‰}$	-10,9	-10,8	-9,7	-7,8	-6,1	-4,4	-3,3	-3,4	-5,3	-7,4	-9,0	-10,4	-7,4
$\delta^2\text{H}, \text{‰}$	-73,1	-72,5	-65,0	-53,0	-41,6	-30,6	-23,3	-24,6	-36,7	-50,2	-60,8	-69,8	-50,1

По графику наблюдается близость изотопного состава рек Горного Крыма и атмосферных осадков (рис. 26). В случае изотопного состава водоёмов, немного другая картина: по графику прослеживается процесс фракционирования изотопов после их выпадения. Таким образом, можно узнать сезон выпадения осадков по углу наклона линии тренда к ЛЛМВ.

Изотопный состав ставок (водоемов) в долине р. Бодрак отличается от изотопного состава подземных вод и атмосферных осадков. Это связано с тем, что в теплый период времени с поверхности водоёмов происходит активное испарение воды. Водоёмы активно подпитываются грунтовыми водами, также атмосферные осадки вносят свой вклад. По литературным данным (данным Е.П. Каюковой) средние значения стабильных изотопов для ставок по изотопным данным за июнь 2003 года: $-5,3\text{‰}$ $\delta^{18}\text{O}$ и $-46,7\text{‰}$ $\delta^2\text{H}$.

Изучение изотопного состава подземных вод водах долины среднего течения р. Бодрак осуществлялся по литературным данным (данным кафедры гидрогеологии

СПбГУ) за летний период 2013 г. и 2018 г. Уравнение регрессии подземных вод для 2013 г. имеет вид: $y=3,5x-29,3$; уравнение регрессии для 2018 г.: $y=3,7x-28,1$. Данные уравнения говорят о том, что изотопный состав грунтовых вод среднего течения р. Бодрак, с учетом возможных погрешностей выборки, остается почти неизменным.

Среднее содержание изотопов кислорода и дейтерия в подземных водах составляет $-7,5\text{‰}$ для $\delta^{18}\text{O}$ и $-56,0\text{‰}$ для $\delta^2\text{H}$. Таким образом, изотопный состав подземных вод более тяжелый, чем изотопный состав поверхностных вод и атмосферных осадков.

Среднее содержание изотопов кислорода и дейтерия в грунтовых водах долины р. Бодрак в летний период меньше, чем в метеорных водах. Данный факт свидетельствует о том, что подземные воды изучаемой территории формировались благодаря более легким зимне-весенним осадкам. Значит, летние атмосферные осадки принимают участие в процессах испарения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выпускная квалификационная работа посвящена изучению основных факторов формирования химического и изотопного состава подземных вод Горного Крыма в восточной части Бахчисарайского района в бассейне среднего течения р. Бодрак на основе физико-географических и геолого-гидрогеологических исследований.

В результате полевого сезона в 2019 г. под началом Е.П. Каюковой была отобрана и впоследствии под руководством Н.И. Суминой проанализирована 61 проба природных вод: 32 пробы подземных вод, 14 проб поверхностных вод и 15 проб атмосферных осадков. При изотопных исследованиях использовались данные Ресурсного центра СПбГУ «Геомодель» предыдущих лет.

В ходе написания данной работы и проведенных гидрохимических исследований выявлены особенности химического и изотопного состава природных вод Горного Крыма на основании чего сделаны следующие выводы:

1. Главный источник питания подземных вод в Предгорьях Крыма – атмосферные осадки (изотопный состав подземных вод расположился вдоль линии метеорных вод).
2. Грунтовые воды имеют инфильтрационный генезис, их химический состав зависит от климатических условий года (осадков и температуры). Грунтовые воды связаны с четвертичными породами, с меловыми и палеогеновыми терригенно-карбонатными породами и с комплексом среднеюрских вулканогенно-осадочных пород (кора выветривания).
3. По преобладающим компонентам атмосферные осадки в основном гидрокарбонатные кальциевые или гидрокарбонатно-хлоридные натриево-кальциевые, причем большей минерализацией обладают кратковременные дожди.
4. Поверхностные воды водоемов - пресные жесткие от нейтральных до слабощелочных сульфатно-гидрокарбонатные магниевые-кальциевые, изотопный состав соответствует водам, прошедшим через существенное испарение. Питание зависит от осадков зимне-весенних месяцев.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аквилон. Официальный сайт компании «Аквилон», специализирующийся на поставках лабораторного оборудования. Код доступа: <https://www.akvilon-nw.ru/> Дата обращения: 16.04.2020.
2. АналитЛаб. Оснащение лабораторий. Код доступа: <http://analitlab.ru/> Дата обращения: 09.03.2020.
3. Бискэ Ю.С. Геология России: Курс лекций. – СПб.: Изд-во С.-Петербур. ун-та, 2019. – 228 с.
4. Геология СССР. Том. 8. Крым / Под ред. Муратова М.В., Сидоренко А.В. М.: Недра, 1969. – 578 с.
5. Гидрогеология СССР. Том. 8. Крым / Под ред. А.В. Сидоренко М.: Недра, 1970. – 351 с.
6. Гольм М.А. Оценка загрязнения соединениями азота природных вод восточной части Бахчисарайского района Крымского полуострова // Тез. докл. XXVI Междунар. научн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов». М.: изд-во МГУ, 2018.
7. ГостЭксперт. Единая база ГОСТов РФ. Код доступа: <http://gostexpert.ru/> Дата обращения: 16.04.2020.
8. Горбунов Р. В., Горбунова Т. Ю., Кононова Н. К. Климатические нормы температуры воздуха на территории полуострова Крым // Культура народов Причерноморья. 2014. № 278, Т. 2. С. 89–94.
9. Дублянский В.Н. Режим влажности почвогрунта Ай-Петринского горного массива и его гидрогеологическое значение // Почвоведение. 1967. Вып. 12. С. 91–97.
10. Дублянский Ю.В., Климчук А.Б., Амеличев Г.Н., Токарев С.В., Шпётль К. Изотопный состав атмосферных осадков и карстовых источников северо-западного склона Крымских гор // Спелеология и карстология. 2012. № 9. С. 14–21.
11. Дублянский Ю.В., Климчук А.Б., Тимохина Е.И., Амеличев Г.Н., Шпётль К. Изменение изотопного состава пород в пристеночных зонах гипогенных карстовых каналов Предгорного Крыма // Спелеология и карстология. 2013. № 10. С. 58–75.
12. Ергина Е.И., Жук В.О. Пространственно-временная изменчивость климата зимних сезонов в Крыму // Ученые записки Крымского федерального

- университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2018. №1. С.104-121.
13. Жук В.О. Потенциальная гидрометеорологическая опасность Крыма // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. №2. С. 72-79.
 14. Жук В.О., Ергина Е.И. Анализ современной метеорологической ситуации в Предгорном Крыму // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2018. №2. С. 227-241
 15. Изменение климата, 2007. Обобщающий доклад Межправительственной группы экспертов. МГЭИК, Женева, Швейцария, 104 с. Код доступа: <http://www.ipcc.ch/>
Дата обращения: 01.09.2010.
 16. Каюкова Е.П. Гидрохимические особенности атмосферных осадков на полигоне Крымской геологической практики // Вестник С.-Петербур. ун-та. 2011. Сер.7, Вып. 3. С. 26-42
 17. Каюкова Е.П. Мезоклимат полигона Крымской геологической практики и современные тенденции его изменения // Вестник С.-Петербур. ун-та. Сер. 7: Геология, география. 2010. Вып. 4. С. 32–46.
 18. Каюкова Е.П. Методика описания водопунктов. Правила отбора и консервации водных проб: - учеб. пособие. - СПб.: Изд-во НИИЗК СПбГУ, 2004. – 16 с.
 19. Каюкова Е.П. Изучение и оценка подземного стока малых рек на примере бассейна р. Бодрак (юго-западный Крым) // Вестник С.-Петербур. ун-та. 2015. Сер. 7. Вып. 2. С. 130-151.
 20. Каюкова Е.П. Оценка подземного стока как элемента водного баланса при комплексных гидрогеологических исследованиях (северо-западные склоны Крымских гор). Диссертация на соискание ученой степени кандидата геолого-минералогических наук. СПб, 2017. – 189 с. Режим доступа: <https://www.dissercat.com/>
 21. Каюкова Е.П. Формирование изотопного состава природных вод Горного Крыма под влиянием естественных процессов // Вестник С.-Петербур. ун-та. 2016. Вып. 2. С. 11-26.
 22. Каюкова Е. П., Котова И. К. Особенности формирования химического состава подземных вод зоны активного водообмена бассейна р. Бодрак (юго-западный Крым) // Вестник С.-Петербур. ун-та. Т. 62. 2017. Вып. 4. С. 343-356.
 23. Каюкова Е.П., Чарыкова М.В. Особенности химического состава подземных и поверхностных вод полигона Крымской учебной практики геологического

- факультета СПбГУ // Вестник С.-Петерб. ун-та. Сер. 7: Геология, география. 2010. Вып. 3. С. 29-47.
24. Каюкова Е.П., Юровский Ю.Г. Водные ресурсы Крыма. // Геоэкология Инженерная геология, Гидрогеология, Геокриология. 2016. №1. С. 15-32.
 25. Кирюхин В.А., Коротков А.И., Шварцев С.Л. Гидрогеохимия: Учебник для вузов. – М.: Недра, 1993. – 384 с.
 26. Кирюхин В.А., Никитина Н.Б., Судариков С.М. Гидрогеохимия складчатых областей. – Л.: Недра, 1989. – 253 с.
 27. Кирюхин В.А., Толстихин Н.И. Региональная гидрогеология: Учебник для вузов – М.: Недра, 1987. – 382 с.
 28. Климат Украины / под ред. Приходько Г.Ф., Ткаченко А.В., Бабиченко В.Н.. Л.: Гидрометеиздат, 1967. – 414 с.
 29. Крым-гид. Все об отдыхе в Крыму. Код доступа: <https://crimeaguide.com/> Дата обращения: 28.03.2020.
 30. Крымология. Код доступа: <http://krymology.info/> Дата обращения: 28.03.2020.
 31. Крымский регион. Официальное радио Крым. Реалии. Код доступа: www.ru.krymr.com/ Дата обращения: 15.03.2020.
 32. КрымPress. Информационная платформа. Код доступа: <https://crimeapress.info/> Дата обращения: 14.04.2020.
 33. Лушик А.В., Горбатюк Н.В., Иваненко Т.А. Обзор формирования подземных вод основных эксплуатируемых водоносных горизонтов в Крыму // Строительство и техногенная безопасность. 2017. №6 (58). С. 99-106.
 34. Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ). Код доступа: <https://www.iaea.org/ru> Дата обращения: 14.05.2020.
 35. Мазарович О.А., Милеев В.С. Геологическое строение. Качинского поднятия Горного Крыма (стратиграфия мезозоя). Учебное пособие. – М.: Изд-во МГУ, 1989. – 168 с.
 36. Матвеев А.А., Башмакова О.И. Химический состав атмосферных осадков некоторых районов СССР // Гидрохимические материалы. 1966. т. 42. С. 3-17.
 37. Муратов М.В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. – М.: Недра, 1960. – 207 с.
 38. Муратов М.В. Руководство по учебной геологической практике в Крыму. Т. II. – М.: Недра, 1973. – 192 с.
 39. МЧС России. Главное управление по республике Крым. Код доступа: <https://82.mchs.gov.ru/> Дата обращения: 17.04.2020.

40. Никифорова М.П., Лапченко В.А. Анализ метеорологических условий на Карадаге в 2014-2018 гг // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. №2. С. 293-307.
41. Никишин А.М., Алексеев А.С, Барабошкин Е.Ю. и др. Геологическая история Бахчисарайского района Крыма (учебное пособие по Крымской практике) – М.: Изд-во Московского ун-та, 2006. – 60 с.
42. Олиферов А.Н., Тимченко З.В. Реки и озера Крыма. – Симферополь: Доля, 2005. – 216 с.
43. Погода и климат. Код доступа: www.pogodaiklimat.ru. Дата обращения: 19.03.2020.
44. Подгородецкий П.Д. Крым: Природа: Справочное издание. – Симферополь: Таврия, 1988. – 192 с.
45. Посохов Е.В. Общая гидрогеохимия. – Л.: Недра, 1975. – 208 с.
46. Роспотребнадзор. СанПиН. Официальные издания санитарно-эпидемиологических правил и норм. Код доступа: <https://rospotrebnadzor.com/sanpin> Дата обращения: 16.04.2020.
47. Соколов А.А. Гидрография СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1952. – 287 с.
48. Устойчивый Крым. Водные ресурсы / под. ред. В.С. Тарасенко. – Симферополь: Таврида, 2003. – 413 с.
49. ФГБУ «Гидроспецгеология». Код доступа: <https://www.specgeo.ru/> Дата обращения: 14.04.2020
50. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопия гидросферы. – М.: Наука, 1983. – 272 с.
51. Ферронский В.И., Поляков В.А. Изотопы гидросферы земли. – М., 2009. – 632 с.
52. Химик. Сайт о химии. Код доступа: <http://www.xumuk.ru/> Дата обращения: 15.04.2020.
53. ЭкоИнструмент. Аналитическое оборудование. Код доступа: www.ecoinstrument.ru/. Дата обращения: Дата обращения: 09.03.2020.
54. Юдин В.В. Геология Крыма на основе геодинамики. (Научно-методическое пособие для учебной геологической практики) - Сыктывкар, 2000. – 43 с.
55. Юдин В.В. Геологическая карта и разрезы Горного, Предгорного Крыма. Масштаб 1:200000. – Симферополь: Союзкарта, 2009.

56. Dublyansky Y.V. et al. Groundwater of the Crimean peninsula: a first systematic study using stable isotopes. *Isotopes in Environmental & Health Studies*, 2019. vol. 55, n. 5, pp. 419.
57. Dublyansky YV, Klimchouk AB, Tokarev SV, Amelichev GN, Langhamer L, Spötl C. Stable isotopic composition of atmospheric precipitation on the Crimean Peninsula and its controlling factors. 2018.
58. Meteoblue. Сайт погоды. Код доступа: www.meteoblue.com/ru. Дата обращения: 19.03.2020
59. TZSupplies. Каталог электронных приборов. Код доступа: www.tzsupplies.com/ Дата обращения: 09.03.2020.
60. World Weather. Сайт погоды. Код доступа: www.world-weather.ru. Дата обращения: 09.03.2020.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Привязка точек опробования подземных вод в долине р. Бодрак

Код точки	Название объекта	Привязка	
		N	E
306	Тр., Калинина 11	44°47'18.0"	33°59'39.9"
306*	Тр., Калинина 11	44°47'18.0"	33°59'39.9"
313	Грушевый сад	44°47'25.8"	33°59'15.4"
1 (тп5-19)	у Мраморного	44°47'25.8"	33°59'15.4"
114	Ск., около водокачки	44°48'45.9"	33°58'23.2"
002	Вербочки	44°46'22.4"	33°59'16.5"
105	СЗ Патиль	44°46'17.7"	33°59'46.7"
111	Эмиров источник	44°47'01.1"	33°59'35.1"
1 (тп 13-19)	Мчж. У Лен. Овр.	44°47'03"	33°59'22.5"
106	Джедаирский овраг	44°47'27.0"	34°00'54.2"
103	Керменский овраг	44°46'23.0"	34°00'4"
123	Два дерева	44°48'3"	34°00'38.1"
121	Меж Шелуд. и Длинной	44°45'37.2"	33°59'45.6"
131	Мчж. в Лен. овр.	44°46'38.0"	33°59'5.4"
107	Афениз	44°46'38.0"	33°59'5.4"
1 (тп 20-19)	Сель-Бухра	44°44'05.6"	33°59'3"
303	Колодец Кузьмича	44°47'14.1"	33°59'57.6"
3 (тп 23-19)	Ск., Ленина 10	44°48'25.9"	33°58'34.7"
3 (тп 31-19)	Тр.,Пер. Южный 4	44°47'9.8"	33°59'35.16"
0 (тп 32-19)	Вдкчк. в Ск.	44°48'40.8"	33°58'24.7"

Привязка точек опробования ставков в долине р. Бодрак

Код точки	Название объекта	Привязка	
		N	E
509	Мраморный	44°48'42.5"	33°58'41.7"
501	Воронежский	44°46'31.7"	33°59'40.7"
503	Колхозный	44°47'11.6"	34°00'8.2"
тн25-19	Аммонитовый	44°46'43.3"	34°00'13.8"
505	Мангуш	44°46'13.4"	34°00'32.2"
502	Ексементий	44°46'01.6"	34°00'54.7"
512	Широкий Яр	44°45'52.3"	34°01'06.7"
516	Мугачи	44°45'57.9"	34°01'43.5"

Химический состав подземных вод в долине р. Бодрак

Код точки	Название объекта	рН	Т	УЭП	Na ⁺ +K ⁺ расч	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
			°С	тS	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л	мг/л мг-экв/л
306	Тр., Калинина 11	8,1	11,5	920	<u>135,61</u>	<u>48,10</u>	<u>34,02</u>	<u>44,32</u>	<u>40,00</u>	<u>451,40</u>
					5,90	2,40	2,80	1,25	0,83	7,40
306*	Тр., Калинина 11	7,4	15,8	1209	<u>46,41</u>	<u>68,14</u>	<u>59,56</u>	<u>35,45</u>	<u>54,86</u>	<u>488,00</u>
					2,02	3,40	4,9	1,0	1,14	8,00
313	Грушевый сад	7,4	12,7	1010	<u>74,58</u>	<u>95,19</u>	<u>60,14</u>	<u>63,81</u>	<u>93,24</u>	<u>561,20</u>
					3,20	4,75	4,95	1,80	1,94	9,20
1 (тн5-19)	у Мраморного	7,5	14,2	841	<u>18,92</u>	<u>155,31</u>	<u>22,48</u>	<u>21,27</u>	<u>317,88</u>	<u>195,20</u>
					0,80	7,75	1,85	0,60	6,62	3,20
114	Ск., около водокачки	7,2	23,2	845	<u>43,21</u>	<u>155,31</u>	<u>10,33</u>	<u>39,00</u>	<u>152,58</u>	<u>378,20</u>
					1,90	7,75	0,85	1,10	3,18	6,20
002	Вербочки	7,1	12,5	620	<u>25,40</u>	<u>112,22</u>	<u>4,86</u>	<u>21,27</u>	<u>5,00</u>	<u>390,40</u>
					1,10	5,60	0,40	0,60	0,10	6,40
105	СЗ Патиль	7,2	12,7	487	<u>20,43</u>	<u>89,78</u>	<u>8,75</u>	<u>9,93</u>	<u>10,00</u>	<u>341,60</u>
					0,90	4,48	0,72	0,28	0,21	5,60
111	Эмиров источник	7,3	14,8	589	<u>22,69</u>	<u>104,21</u>	<u>12,15</u>	<u>20,21</u>	<u>20,00</u>	<u>378,20</u>
					1,00	5,20	1,00	0,57	0,42	6,20
1 (тн 13-19)	Мчж. У Лен. Овр.	7,2	19,0	650	<u>38,44</u>	<u>116,23</u>	<u>6,08</u>	<u>21,27</u>	<u>46,62</u>	<u>390,40</u>
					1,70	5,80	0,50	0,60	0,97	6,40
106	Джедаирски й овраг	7,7	13,5	629	<u>9,39</u>	<u>148,30</u>	<u>9,72</u>	<u>28,36</u>	<u>10,00</u>	<u>463,60</u>
					0,40	7,40	0,80	0,80	0,21	7,60
103	Керменский овраг	7,9	13,5	869	<u>103,21</u>	<u>112,22</u>	<u>4,86</u>	<u>21,27</u>	<u>33,00</u>	<u>561,20</u>
					4,5	5,60	0,40	0,60	0,69	9,20
123	Два дерева	7,5	14,8	582	<u>26,28</u>	<u>74,15</u>	<u>8,51</u>	<u>15,24</u>	<u>15,00</u>	<u>292,80</u>
					1,10	3,70	0,70	0,43	0,31	4,80
121	Меж Шелуд. и Длинной	7,3	19,1	950	<u>99,18</u>	<u>104,21</u>	<u>48,60</u>	<u>24,82</u>	<u>394,18</u>	<u>280,60</u>
					4,30	5,20	4,00	0,70	8,21	4,60
131	Мчж. в Лен. овр.	7,0	12,7	566	<u>52,65</u>	<u>92,18</u>	<u>2,43</u>	<u>12,76</u>	<u>35,00</u>	<u>366,00</u>
					2,30	4,60	0,20	0,36	0,73	6,00
107	Афениз	7,5	-	701	<u>71,99</u>	<u>100,20</u>	<u>6,08</u>	<u>31,91</u>	<u>25,43</u>	<u>439,20</u>
					3,1	5,00	0,50	0,90	0,53	7,20
1 (тн 20-19)	Сель-Бухра	7,1	-	429	<u>15,44</u>	<u>30,06</u>	<u>29,16</u>	<u>14,18</u>	<u>46,62</u>	<u>219,60</u>
					0,70	1,50	2,40	0,40	0,97	3,60
303	Колодец Кузьмича	7,4	13,3	1197	<u>62,54</u>	<u>186,37</u>	<u>23,09</u>	<u>77,99</u>	<u>101,72</u>	<u>585,60</u>
					2,70	9,30	1,90	2,20	2,12	9,60
3 (тн 23-19)	Ск., Ленина 10	6,8	15,7	754	<u>26,13</u>	<u>70,14</u>	<u>37,67</u>	<u>31,91</u>	<u>59,34</u>	<u>341,60</u>
					1,10	3,50	3,10	0,90	1,24	5,60
3 (тн 31-19)	Тр.,Пер. Южный 4	7,5	14,0	1053	<u>57,33</u>	<u>106,21</u>	<u>49,82</u>	<u>54,95</u>	<u>93,25</u>	<u>512,40</u>
					2,50	5,30	4,10	1,55	1,94	8,40
0 (тн 32-19)	Вдкчк. в Ск.	7,4	17,5	715	<u>52,12</u>	<u>110,22</u>	<u>8,51</u>	<u>31,91</u>	<u>84,77</u>	<u>353,80</u>
					2,30	5,50	0,70	0,90	1,77	5,80