

Реферат

Актуальность проблемы рационального использования подземных вод для водоснабжения полуострова постоянно растет, особенно в связи с прогнозируемым ростом населения полуострова Крым. Для изучения закономерностей формирования ресурсов подземных и поверхностных вод, а также факторов, влияющих на их многолетнюю изменчивость с возможностью дальнейшей экстраполяции подходов и результатов, выделен репрезентативный участок – территория Альминского артезианского бассейна и зона формирования его ресурсов в Горном Крыму.

Охарактеризованы основные тенденции гидродинамического режима и химического состава подземных вод, выявлена недостаточность и отрывочность доступных данных мониторинга, составлен обзор существующих представлений о возрасте и изотопном составе поверхностных и подземных вод.

Для анализа рисков формирования интрузий морских вод при водоотборе подземных вод вблизи побережья выбран Орловский водозабор, на котором на протяжении нескольких десятков лет отмечаются превышения ПДК по хлоридам, общей жесткости и минерализации.

Приведены предварительные результаты анализа данных полевого исследования взаимосвязи поверхностных и подземных вод на исследуемой территории, выполненных в рамках двух выездов на полевые работы весной и летом 2021 г. Показано, что химический состав подземных и поверхностных вод, в основном, контролируется широким распространением богатых карбонатом кальция пород. Однако, в некоторых родниках, скважинах и реках видны отклонения от стандартного гидрокарбонатно-кальциевого состава, связанные с антропогенным влиянием, разгрузкой подземных вод таврической серии и интрузией морских вод.

Обоснована геофильтрационная схема Альминского артезианского бассейна и примыкающей к нему горноскладчатой области. Разработана цифровая трехмерная геофильтрационная модель репрезентативного бассейна. Результаты предварительных расчетов показали, что технически, разработанная модель воспроизводит достаточно реалистичную картину распределения уровней подземных вод и естественного баланса потока. Численное балансово-замкнутое решение достигается без проблем неустойчивости и за приемлемое время, что свидетельствует о готовности разработанной модели для последующих калибрационных расчетов, в ходе которых будут уточняться значения

отдельных параметров и проверяться различные варианты учета пространственной неоднородности.

Ведение

Для разработки решений по обеспечению водной безопасности Республики Крым и города федерального значения Севастополь, необходимо научное обеспечение на основе анализа закономерностей формирования ресурсов подземных и поверхностных вод, а также факторов, влияющих на их многолетнюю изменчивость. Для обеспечения достаточной детальности исследований с возможностью дальнейшей экстраполяции подходов и результатов, было произведено районирование изучаемой территории с выделением репрезентативного участка – территории Альминского артезианского бассейна и зоны формирования его ресурсов.

Изучение закономерностей формирования ресурсов подземных и поверхностных вод предполагает модельный подход, для этого предварительно была проведена геофильтрационная схематизация. Для наполнения модели фактическим материалом был проведен сбор и анализ фондовых материалов, в результате, были охарактеризованы основные тенденции гидродинамического режима и химического состава подземных вод, составлен обзор имеющихся представлений о возрасте и изотопном составе подземных вод, выбран типовой прибрежный водозабор для дальнейшего анализа рисков формирования интрузии морских вод. Натурное обследование изучаемой территории, а также гидрометрические и гидрогеохимические исследования производилось в ходе двух полевых экспедиций, результаты которых дополнили материалы об изучаемой территории и выявили направления для дальнейшей работы. На данный момент, в ходе заключительного этапа работ, разработана и подготовлена для калибровки геофильтрационная модель подземных вод в пределах территории Альминского артезианского бассейна и зоны формирования его ресурсов.

1 Выделение репрезентативного бассейна

Существует несколько схем гидрогеологического районирования Крымского полуострова (авторство ФГБУ «Гидроспецгеология» 2018 г.), схема на базе общего регионального гидрогеологического районирования Украины, разработанного в 1984 г. (опирается на работу авторов 8-го тома Гидрогеологии СССР). Однако предложенные в них структуры не позволяют учесть все особенности формирования потоков подземных вод и применить их для дальнейшей работы при решении поставленных задач. Поэтому было проведено выделение гидрогеологических элементов, с учетом данных о тектоническом и

геологическом строении [1-4, 10], а также информации о гидрографической сети региона, максимально учитывающее структуру потоков подземных вод и условия их формирования.

Исследования решено было сфокусировать на реках северо-западных склонов Крымских гор (Альма, Кача, Бельбек, Чёрная, Западный Булганак), поскольку они протекают по основным типам гидрогеологических структур, бассейны рек расположены на значительной территории, охватывающей различные типы физико-географических, климатических и геологических условий, также реки достаточно многоводны, а их поверхностный сток интенсивно используется для хозяйственно-питьевых нужд.

Однако выделить среди упомянутых рек одну, не представляется возможным, поскольку поток подземных вод, сформированный в пределах Главной гряды, движется параллельно руслам рек, частично разгружаясь в речную сеть, и, согласно исследованиям [6, 14], направлен к Черному морю; подземные водоразделы между бассейнами этих рек отсутствуют, поэтому, в контексте гидрогеологических исследований, решено рассматривать водосборы рек северо-западного склона Крымских гор как единую систему. Согласно гидрогеологической карте Крымского полуострова, составленной ФГБУ «Гидроспецгеология» в 2018 г. [1], рассматриваемая территория расположена в пределах двух гидрогеологических структур: Альминского артезианского бассейна и Крымской сложной гидрогеологической области [1]. Данные структуры имеют свои отличительные черты формирования потока подземных вод и, в то же время, тесно взаимосвязаны, так как зона формирования питания Альминского артезианского бассейна расположена на главной гряде Крымских гор. Границы выделенного репрезентативного бассейна представлены на рисунке 1.1.

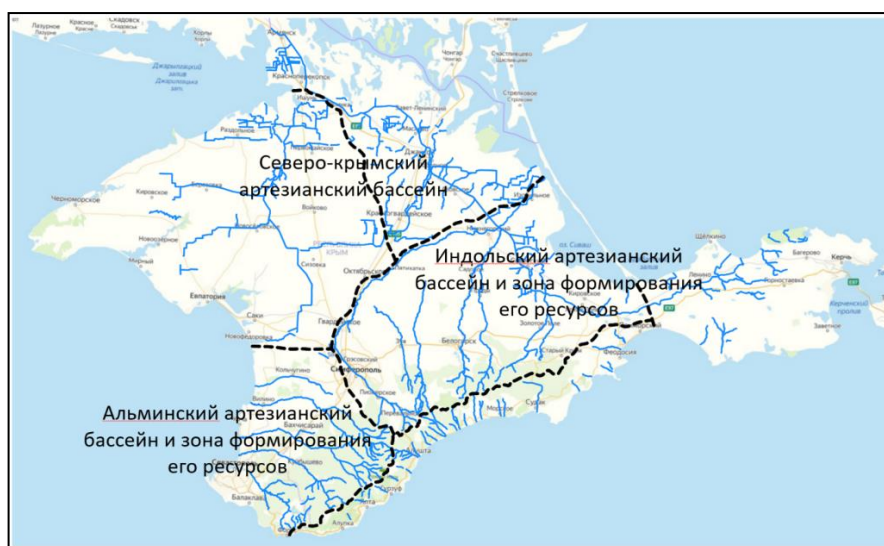


Рисунок 1.1 – Схема гидрогеологического районирования, принятая в данной работе

2 Анализ эксплуатации и основных тенденций режима подземных вод на территории репрезентативного бассейна

Подземные воды на территории Крымского полуострова достаточно активно используются для хозяйственно-питьевого водоснабжения еще с советского периода. Почти в каждом населенном пункте равнинного Крыма оборудовано не менее одной водозаборной скважины, эксплуатирующей, как правило, миоценовый водоносный комплекс.

По состоянию на начало 2020 г. на территории Республики Крым государственным балансом учтены 99 участков на 13 месторождениях подземных вод с суммарными запасами 1048,965 тыс. м³/сут [15]. На эксплуатацию запасов месторождений выдано 390 лицензий на право пользования недрами для добычи (разведки и добычи) подземных вод с суммарным разрешенным водоотбором 516,647 тыс. м³/сут. Фактический водоотбор подземных вод в 2019 г. на разведанных месторождениях составил 180,577 тыс. м³/сут, то есть, степень освоения запасов подземных вод в настоящее время составляет около 17 % [15].

В рамках Государственной программы Республики Крым "Охрана окружающей среды и рационального использования природных ресурсов Республики Крым на 2015-17 гг.», работы по мониторингу подземных вод на территории Крымского полуострова проводятся в следующих направлениях: мониторинг подземных вод в рамках Государственного мониторинга состояния недр (ГМСН) по скважинам Государственной опорной наблюдательной сети (далее ГОНС); мониторинг состояния подземных вод на участках недр местного значения (далее МСПВ) по скважинам территориальной (опорной в разных источниках) наблюдательной сети (ТНС, ОНС); объектный мониторинг подземных вод на участках водозаборов, осуществляемый недропользователями по скважинам опорной или локальной наблюдательной сети (ЛНС).

На территории репрезентативного бассейна представлены скважины государственной опорной наблюдательной сети и территориальной сети. Из 120 режимных скважин территориальной сети Республики Крым, на территорию репрезентативного бассейна попадали в разные годы 6-8 скважин. Объектная сеть на территории города Севастополя приурочена к водозаборам и характеризует антропогенный режим подземных вод, поэтому в рамках данной работы не анализируется. Родники, на которых в настоящее время проводятся режимные наблюдения, расположены за пределами изучаемой территории.

В рамках работ по договору были проанализированы фондовые данные по отчетам о ГМСН (2015, 2019 гг.) и мониторинге подземных вод по участкам недр местного значения (2015, 2018, 2019 гг.) на территории Республики Крым, также материалы, полученные в Территориальном фонде геологической информации г. Севастополя.

Стоит отметить, что данные гидродинамического режима подземных вод на территории репрезентативного бассейна носят отрывочный характер, поэтому достоверный анализ гидродинамического режима можно будет выполнить только при наличии продолжительных временных рядов, полученных из данных БД АИС ГВК Подземные воды. Полноценная гидрохимическая характеристика водоносных комплексов также затруднена, количество точек опробования и продолжительность наблюдений невелики, пространственное распределение точек неравномерно.

3 Изотопный состав вод изучаемого региона

Анализ опубликованной литературы по исследованиям изотопного состава природных вод Крыма, выявил, что современные и значимые работы представляют результаты исследования содержаний и закономерностей распределения стабильных изотопов кислорода ($\delta^{18}\text{O}$) и водорода ($\delta^2\text{H}$) в атмосферных осадках региона [16-18, 24-25], детальные исследования стабильных изотопов $\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$ и $\delta^{13}\text{C}$ были проведены для карстовых подземных вод Горного Крыма [17].

Атмосферные осадки региона широко изучены в отношении содержания и распределения в них стабильных изотопов кислорода и водорода. Рассчитана локальная линия метеорных вод: $\delta^2\text{H}=7,3$ $\delta^{18}\text{O}+4,8$. Также вычислены высотные градиенты изотопных значений, составившие $-0,17\pm 0,07$ ‰ на 100 м для $\delta^{18}\text{O}$ и $-1,0\pm 0,8$ ‰ на 100 м для δD . Детальных работ по тритиевым исследованиям атмосферных осадков обнаружить не удалось – единичные данные по содержанию ^3H в природных водах северо-западного склона Крымских гор за июнь-июль 2006, 2009–2010 гг. приведены в работе Каюковой Е.П. [23].

Изотопный состав ($\delta^2\text{H}$, $\delta^{18}\text{O}$, ^3H , ^{14}C) основных водоносных горизонтов Равнинно-Крымского артезианского бассейна достаточно изучен в рамках выполнения темы 380–83 [22]. Содержание ^{14}C для подземных вод готерив-барремского водоносного комплекса было оценено Амеличевым с соавторами [20]. Работ по исследованию изотопного состава подземных природных вод региона мало, и они в основном выявляют содержание и распределение двух стабильных изотопов: 18-кислорода и дейтерия. Аналитические

исследования ^{234}U , ^{238}U , ^{226}Ra , ^{228}Ra , $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ и $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ были выполнены в последние годы коллективом под руководством Д.А.Новикова [21].

Изотопные значения большинства проб воды, отобранных из скважин расположенных в пределах Главной гряды Крымских гор, Предгорья и Крымской равнины, находятся близко к значениям Локальной линии метеорных вод. Выделяют две группы подземных вод: первая группа включает воды, сформировавшиеся в климатических условиях близких к современным, а вторая группа – воды, сформировавшиеся в условиях более холодного и влажного климата. К первой группе вод относятся воды водоносных горизонтов в палеоцен-эоценовых, нижнемеловых и верхнеюрских отложениях, до 745 м глубины, расположенные в Крымском Предгорье. На Крымской равнине этот диапазон значений характерен для скважин отбора воды из неглубоких (глубина 3÷80 м) водоносных горизонтов в миоценовых толщах.

Карстовые подземные воды Крыма имеют неизменный изотопный состав воды, аналогичный значениям среднегодового состава осадков в зоне питания и незначительные отклонения от этих значений обусловлены крупными осадками и паводковыми явлениями.

Изотопный состав поверхностных водотоков северо-западных склонов Крымских гор со средней отметкой профиля речного русла 340 м над уровнем моря формируется преимущественно за счет зимне-весенних осадков. В условиях равнинного Крыма процессы испарения значительно влияют на фракционирование изотопов в поверхностных водоемах.

4 Выбор прибрежного водозабора для определения модели изменения химического состава подземных вод в процессе эксплуатации

Для всех водозаборов, расположенных вблизи берега моря, существует вероятность ухудшения качества подземных вод, связанного с интрузией морских вод (внедрение клина соленых морских вод в прибрежные водоносные горизонты). Водоснабжение Крымского полуострова в значительной степени базируется на подземных водозаборах, часть из которых расположена в непосредственной близости к морю. В некоторых из них уже произошло ухудшение качества подземных вод – в процессе эксплуатации стали отмечаться превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) для питьевых вод по хлоридам, общей жесткости и минерализации.

Орловский водозабор города Севастополя представляет интерес для построения геофильтрационной модели по причине наличия признаков инфильтрации морских вод к водозаборным скважинам. Запасы подземных вод были оценены и утверждены в 1962 г. в количестве 40 тыс. м³/сут, на 2020 г. величина водоотбора на Орловском водозаборе составила всего 18,7 тыс. м³/сут, однако, по данным химических анализов 2019 и 2020 годов, концентрации отдельных компонентов превышают ПДК: по минерализации – 1,24 г/л (ПДК – 1 г/л); хлоридам, – 425 г/л (ПДК – 350 мг/л) и общей жесткости – 11,2 мг-экв/л (ПДК 7 мг-экв/л).

5 Полевые исследования и их первичные результаты

В меженный сезон 2021 года кафедра гидрогеологии Геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова провела полевые работы, включающие 2 полевых выезда (рисунок 5.1) совместно с кафедрой гидрологии суши Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. Первый выезд состоялся в мае, проводилось рекогносцировочное обследование рек и водопунктов в пределах репрезентативного бассейна. Был проведен отбор проб речных вод для определения концентрации макрокомпонентов. Из родников и скважин был произведен отбор проб на макро- и микрокомпоненты, а также на стабильные изотопы воды. В июле состоялся второй выезд, были отобраны пробы из рек, скважин и родников для определения макро-, микрокомпонентов, стабильных изотопов воды, концентраций трития и органического углерода. Силами кафедры гидрологии суши выполнено измерение расходов рек и родников.

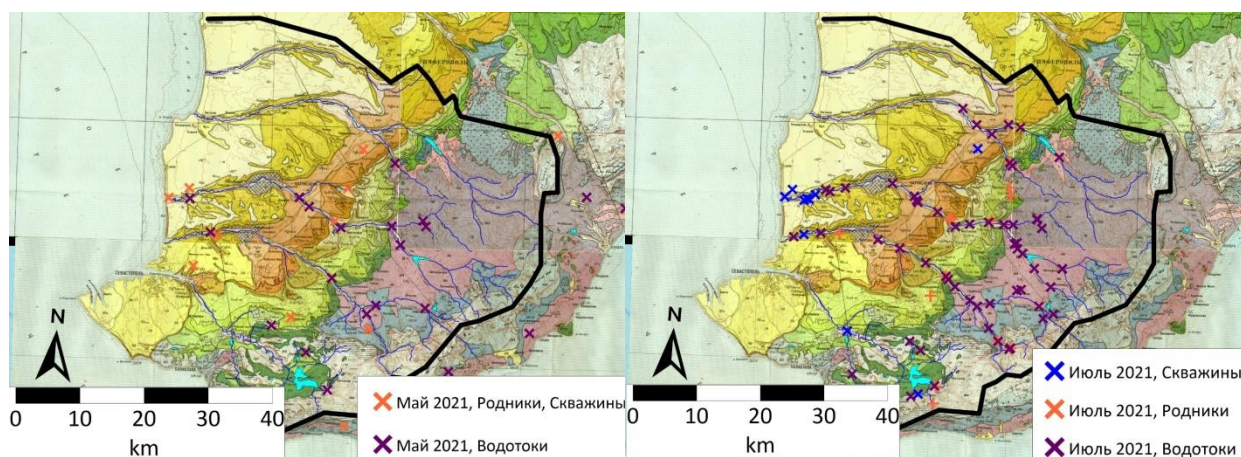


Рисунок 5.1 – Схема опробования первого (слева) и второго (справа) полевого выезда

По полученным результатам определений химического состава, можно сказать, что подземные воды, в основном, гидрокарбонатно-кальциевые, содержание магния колеблется

от 1 до 15% от общей суммы катионов. Среди анионов преобладает гидрокарбонат, но также встречаются воды с содержанием сульфата до 37% от суммы анионов и содержанием хлоридов до 55%. Высокую долю ионов хлора и магния в некоторых пробах можно объяснить влиянием интрузии морских вод.

Состав речных вод обладает большей вариабельностью. Выявлены, в основном, гидрокарбонатно-кальциевые воды, тем не менее, наблюдается существенный вклад ионов магния и натрия в катионной части и сульфат- и хлорид-ионов в анионной для некоторых проб. Выявлено, что для реки Марты (приток реки Кача) и ее притока реки Финарос и для реки Бодрак (приток реки Альма) наблюдается заметное, вплоть до подавляющего, влияние сульфат-иона и магний-иона. По-видимому, это связано с тем, что истоки этих водотоков располагаются в районе выхода на поверхность пород таврической серии, которые, по литературным данным, не имеют заметных примесей легкорастворимых минералов источников ионов сульфата и магния. Определение источников данных компонентов и остальных факторов формирования таких составов вод является важнейшей задачей дальнейших исследований, решение которой, возможно, позволит оценить ресурсы подземных вод пород таврической серии.

Большую роль в формировании ресурсов природных вод Крыма играют карстовые родники, в которых разгружаются подземные воды, сформированные в закарстованных породах верхнеюрского возраста. Данные родники сосредоточены на северном и южном склонах первой гряды Крымских гор, и они дают начало или питают большую часть рек. Изучение данных родников представляется делом необычайной важности, при этом, к сожалению, не удалось посетить важнейшие родники, расположенные в Крымском заповеднике.

6 Геофильтрационная схематизация и разработка региональной модели репрезентативного бассейна

Движение подземных вод рассматривается в пределах Альминского артезианского бассейна (АБ) и его горного обрамления в Крымской сложной гидрогеологической складчатой области (СГСО). Предполагается, что в пределах СГСО формируется значительная доля расхода рассматриваемых рек, основным проницаемым слоем в её пределах является мезозойская зона экзогенной трещиноватости, которая примыкает к собственно Альминскому артезианскому бассейну, и для этих двух областей следует рассматривать единый геофильтрационный поток.

Плановые границы разработанной модели совпадают с границами Альминского артезианского бассейна (рисунок 1.1), граница со сложной горной Крымской гидрогеологической областью [1], может быть выбрана только приблизительно, поскольку известные работы [5-9, 11, 13, 14] не позволяют однозначно определить водораздел между южным берегом Крыма и артезианскими бассейнами к северу. Верхняя граница модели совпадает с поверхностью земли, цифровая модель рельефа основана на данных проекта SRTM, а нижняя граница проведена по подошве водоносного горизонта, приуроченного к зоне экзогенной трещиноватости триасовых и юрских отложений.

Модель состоит из 9 расчетных слоев, соответствующих водоносным и водоупорным толщам. В виду ограниченного распространения, аллювиальные отложения не выделяются в отдельный слой, их свойства будут учтены путем добавления соответствующих геофильтрационных параметров в самый верхний активный слой.

Имеющихся фондовых данных недостаточно для построения трехмерной геофильтрационной схемы Альминского АБ. При построении гидрогеологической карты специалисты ФГБУ «Гидроспецгеология» составили каталог, содержащий сведения о 1007 водозаборных скважинах, однако на исследуемой территории расположено только 72 скважины, из которых 22 – не полностью вскрывают единственный водоносный горизонт и не могут быть использованы для построения геологической модели. Для построения пространственной геофильтрационной схемы можно использовать геологические разрезы по 40 скважинам, и только 15 из них имеют глубину более 200 м., при общей рассматриваемой мощности разреза более 1000 м. По этой причине разрезы скважин использованы в качестве вспомогательной информации. В качестве основы использованы опорные структурные карты, в составе государственной геологической карты Украины, крымской серии [12]. Мощности слоев задаются как доли от известной мощности интервала, значение которых оценивается по геологическим разрезам известных глубоких скважин. В результате пространственной интерполяции опорных поверхностей и использования данных о мощности по скважинам, получен каркас трехмерной геофильтрационной схемы для репрезентативного бассейна, представленный на рисунке 6.1.

На верхней границе было задано инфильтрационное питание. Внешние плановые границы по суше (рисунок 1.1), совпадающие с границами между артезианскими бассейнами, были приняты непроницаемыми. Следует отметить, что в ходе калибровки модели будет подбираться величина расхода питания, поступающего с горно-складчатой области, что позволит скомпенсировать неточности в выделении внешней границы расчетной области.

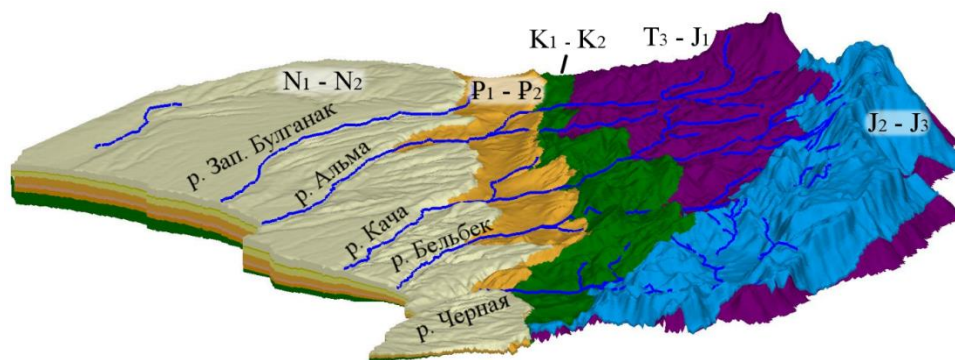


Рисунок 6.1 – Общий вид трехмерной геологической модели

На западной внешней границе учитывается разгрузка подземных вод в море. Ранее выполненные работы [11, 13, 14] подтверждают общее направление потока подземных вод в направлении моря, с незначительным влиянием рек даже для верхних горизонтов, однако условия разгрузки мало изучены. Целесообразным представляется задание по контуру береговой линии в каждом водоносном горизонте граничного условия III рода с уровнем дренирования, равным уровню моря, и с отдельной величиной фильтрационного сопротивления для каждого водоносного горизонта, которая будет подбираться в ходе калибровки модели.

На первом этапе, при воспроизведении естественного потока подземных вод, внутренними граничными условиями являются только реки. Из опыта выполненных полевых работ известно, что реки могут служить как дренами, так и источником питания для подземных вод, с возможным осушением участков русла. Поэтому реки следует рассматривать как внутреннее граничное условие зависимого гидрологического режима, с учетом возможного отрыва уровня подземных вод и с учетом возможного изменения расхода реки вдоль русла.

Численная геофильтрационная модель, в соответствии с геофильтрационной схемой, разрабатывается для семейства программ Modflow, созданных Американской геологической службой (USGS), выбрана версия Modflow 6 [26], с возможностью расчетов на неструктурированных сетках. Это позволяет в рамках одной модели совместить более грубую дискретизацию для описания Альминской впадины в целом, и более мелкую дискретизацию для моделирования рек и водозаборных сооружений (рисунок 6.2).

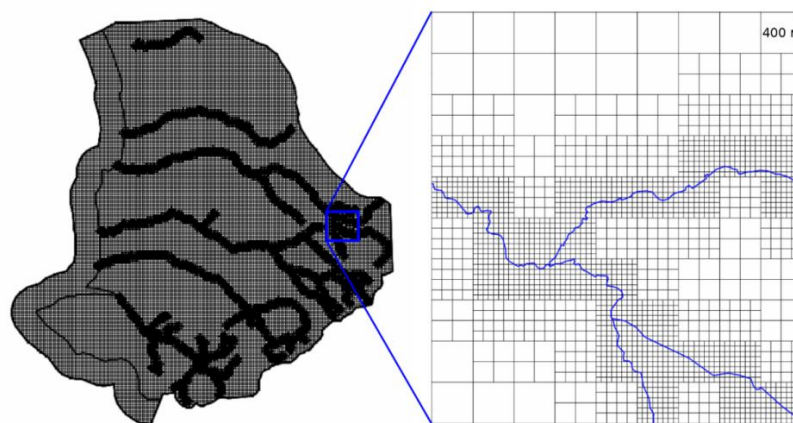


Рисунок 6.2 – Общий вид модельной сетки и пример переменной дискретизации

Результаты предварительных расчетов показали, что технически, разработанная модель воспроизводит достаточно реалистичную картину распределения уровней подземных вод (рисунок 6.3) и естественного баланса потока. Численное балансово-замкнутое решение достигается без проблем неустойчивости и за приемлемое время, что свидетельствует о готовности разработанной модели для последующих калибрационных расчетов, в ходе которых будут уточняться значения отдельных параметров и проверяться различные варианты учета пространственной неоднородности.

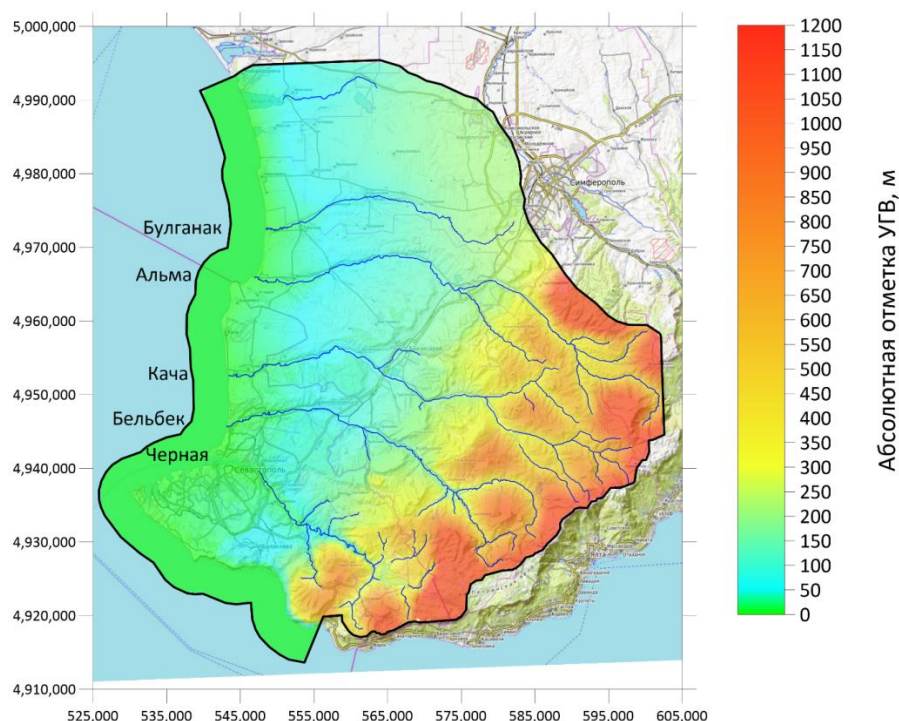


Рисунок 6.3 – Расчетный УГВ, полученный при начальных значениях параметров.

Координаты приведены в проекции UTM зоны 36N на датуме WGS84

Заключение

На основании доступных фондовых материалов, сбора и анализа данных о гидрогеодинамическом и гидрогеохимическом режимах подземных вод и проведения двух этапов полевых исследований получены следующие основные результаты.

Выбран репрезентативный бассейн подземного стока для модельных исследований условий формирования региональных и локальных потоков подземных вод и факторов на них влияющих, а также для изучения взаимосвязи подземных и поверхностных вод на территории полуострова Крым. Он включает Альминскую впадину (бассейны рек Черная, Бельбек, Кача, Альма и Западный Булганак) и прилегающую область питания подземных вод.

В результате анализа фондовых материалов, охарактеризованы основные показатели гидрогеодинамического и гидрогеохимического режима подземных вод.

Для изучения возможного внедрения морских вод в прибрежный водоносный горизонт при водоотборе из него выбран Орловский водозабор города Севастополя, на котором на протяжении нескольких лет отмечаются превышения ПДК по хлоридам, общей жесткости и минерализации.

Приведены предварительные результаты двух полевых экспедиций. Показано, что химический состав подземных и поверхностных вод, в основном, контролируется широким распространением богатых карбонатом кальция пород. Тем не менее, в некоторых родниках, скважинах и реках видны отклонения от стандартного гидрокарбонатно-кальциевого состава, связанные с несколькими факторами: антропогенное влияние, влияние морской интрузии, разгрузка подземных вод таврической серии.

Обоснована геофильтрационная схема Альминского артезианского бассейна и примыкающей к нему горноскладчатой области, репрезентативного объекта формирования ресурсов подземных вод и взаимосвязи их с реками. Разработана цифровая трехмерная геофильтрационная модель этого бассейна, учитывающая все основные черты геофильтрационной схемы. В плане при построении модели использована неструктурированная сетка, позволяющая подробно описать взаимосвязь подземных вод и водотоков.

Для дальнейшего изучения формирования и разгрузки потоков подземных вод полуострова Крым, как и их взаимодействия с поверхностными водами рекомендуются следующие мероприятия:

- Восстановить нарушенные с 1991 года режимные наблюдения за расходами и составом воды родников первой гряды Крымских гор с целью получения длительных и более представительных временных рядов;
- Восстановить нарушенные наблюдения за осадками на карстовых плато первой гряды Крымских гор;
- Провести полевые исследования в сезон с пониженной активностью агротехнических организаций для снижения влияния сельскохозяйственного водоотбора на изменения расходов рек;
- Провести полевые маршрутные исследования по руслам рек, протекающим по породам таврической серии для более подробного изучения их взаимодействия с подземными водами;
- Провести анализ макро-и микрокомпонентного, изотопного состава вод рек и водопроявлений подземных вод в районе выхода на поверхность пород таврической серии для определения пути фильтрации и формирования химического состава подземных вод таврической серии. Анализ полученных данных необходим для определения зон питания, фильтрации и разгрузки подземных вод таврической серии, мощности подрусловых потоков и оценки ресурсов подземных вод данных участков.
- Получить и проанализировать базу данных по мониторингу режима подземных вод БД АИС ГВК Подземные воды.
- Получить доступ к скважинам ГОНС и ТНС расположенным на территории республики Крым.

Список использованных источников

1. Пугач Л.С., Кокорева С.В. «Создание комплектов гидрогеологических и инженерно-геологических карт масштаба 1:1 000 000 по группе листов территории Российской Федерации в 2017-2019 г.г.». ФГБУ «Гидроспецгеология». 2019 г.
2. Государственная геологическая карта СССР (серия Крымская) L-36-XXVIII: геологическая карта [Карта], сост. Трест «Днепргеология» Министерства геологии Украинской ССР; составители Самулева В.И. [и др.], ред. Муратов М.В. – 1:200 000. – К.: 1973.
3. Государственная геологическая карта СССР (серия Крымская) L-36-XXXIV, XXXV: геологическая карта [Карта], МГРИ им. С. Орджоникидзе и трест «Днепргеология» Министерства геологии Украинской ССР; составители Архипов И.В., Крестов А.А. [и др.], ред. Муратов М.В. – 1:200 000. – К.: 1965, 1967, 1973.
4. Государственная геологическая карта СССР (серия Крымская) L-36-XXIX: геологическая карта [Карта], сост. Трест «Днепргеология» Министерства геологии Украинской ССР; составители Успенская Е.А. [и др.], ред. Муратов М.В. – 1:200 000. – К.: 1965.
5. Орехов А.В. и др. Отчет о результатах работ по объекту «Мониторинг подземных вод по участкам недр местного значения на территории Республики Крым», Симферополь, 2018г.
6. Рюмин К.В. и др. Отчет о результатах работ по объекту «Мониторинг подземных вод по участкам недр местного значения на территории Республики Крым», Симферополь, 2019г.
7. Андропова Е.А. и др. Отчет о результатах работ по объекту «Государственный мониторинг состояния недр территории Республики Крым (этап 1)», Симферополь, 2015 г
8. Андропова Е.А. и др. Отчет о результатах работ по объекту «Государственный мониторинг состояния недр территории Республики Крым», Симферополь, 2015 г
9. Орехов А.В. и др. Отчет о результатах работ по объекту «Государственный мониторинг состояния недр территории Республики Крым», Симферополь, 2019.
10. Гидрогеология СССР: Том VIII: Крым / гл. ред. А. В. Сидоренко, М.: Издательство «Недра», 1970, 364 с., 1000 экз.

11. Левицкий П.Д. Конько С.И., и др. Отчет по изучению граничных условий в верхней гидродинамической зоне Предгорного Крыма», Крымская ГГЭ, объединение «Крымгеология», Симферополь, 1985г.
12. Державна Геологічна карта України (Кримська серія) L-36-XXVIII, XXXIV: геологическая карта [Карта], Державна геологічна служба, «Південекогеоцентр» УкрДГРІ; составители Чайковский Б.П., Білекций С.В. [и др.], ред. Білекций С.В.– 1:200 000. – К.: 2006
13. Крашин И.И., Афонин С.В., Колотов И.Б. и др. Создание системы гидрогеологических моделей Крыма. (Заключительный отчет по теме VIII $\frac{\text{В.П.І}}{700(28)}$ -70-5/380-84). ВСЕГИНГЕО, 1986, п. Зеленый, 1652 с.
14. Мартакова Е. Л., Отчет о результатах гидрогеологических исследований юго-западной части Крымского п-ва за 1957-1960 г.г., Трест «Днепрогеология», 1961
15. Протокол ТКЗ Республики Крым . №08-2020 от 07.08.2020
16. Селецкий Ю., Приблуда В.Д., Поляков В.Д., Исаев Н.В., Якубовский А.В. Использование концентрации тяжелого изотопа кислорода при изучении подземных вод закарстованных карбонатных массивов Горного Крыма // Водные ресурсы. 1982. № 4. С. 85.
17. Дублянський 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, - № 9. – Симферополь. – 2012. – С. 14-21.
18. Yuri V. Dublyansky, Alexander B. Klimchouk, Sergey V. Tokarev, Gennady N. Amelichev, Lukas Langhamer, Christoph Spötl. Stable isotopic composition of atmospheric precipitation on the Crimean Peninsula and its controlling factors, Journal of Hydrology, Volume 565, 2018, Pages 61-73, ISSN 0022-1694, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.08.006>.
19. Dublyansky Y.V., Spötl C., Klimchouk A.B., Tokarev S.V., Amelichev G.N. Groundwater of the Crimean peninsula: a first systematic study using stable isotopes // Isotopes in Environmental and Health Studies. 2019. T. 55. № 5. С. 419-437.

20. Амеличев Г.Н., Токарев И.В., Токарев С.В. Установление условий формирования термоминеральных вод "Бишули" (Равнинный Крым) изотопно-геохимическими методами //Геохимия. 2019. Т. 64. № 12. С. 1288-1292.
21. Новиков Д.А., Корнеева Т.В., Копылова Ю.Г., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Хващевская А.А. Первые данные о распределении урана и тория в природных водах Байдарской долины (Крымский полуостров) // Химия в интересах устойчивого развития. 2021. Т. 29. № 4. С. 461-471.
22. Вартанян и др., 1986. Отчет «Создание системы гидрогеологических и инженерно-геологических моделей Крыма». Том IV. Геофизические, ядерно-физические, изотопно-индикаторные исследования с целью получения информации для создания постояннодействующей модели «Крым». 376 с.
23. Каюкова Е.П. Оценка подземного стока как элемента водного баланса при комплексных гидрогеологических исследованиях (северо-западные склоны Крымских гор). Диссертация ... кандидата геолого-минералогических наук. Специальность 25.00.07 – Гидрогеология. СПбГУ, ИНЗ. 2018, 189 с.
24. Каюкова Е.П. Формирование изотопного состава природных вод Горного Крыма под влиянием естественных процессов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 7: Геология, география. 2016, выпуск 2, с. 11–26.
25. Токарев И.В., Амеличев Г.Н. Оценка испарения по данным об изотопном составе воды (2H, 18O)// Ученые записки Крымского федерального университета имени В.И Вернадского. География. Геология. 2020. Т. 6. № 2. С. 294-319.
26. Langevin, C.D., Hughes, J.D., Banta, E.R., Niswonger, R.G., Panday, Sorab, and Provost, A.M., 2017, Documentation for the MODFLOW 6 Groundwater Flow Model: U.S. Geological Survey Techniques and Methods, book 6, chap. A55, 197 p., <https://doi.org/10.3133/tm6A55>.