

## ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ЗОНАЛЬНОСТЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ГЛАВНОЙ ГРЯДЫ КРЫМСКИХ ГОР

*Ю. И. Шутов*

Содержание. В статье излагаются результаты геологических, геофизических и гидрогеологических работ в центральной части Главной гряды Крыма, проводившихся при строительстве Ялтинского гидротоннеля. Кратко освещаются геологическое строение участка и его гидрогеологические особенности. Приводится развернутая картина гидрохимической зональности подземных вод на участке, полученная при обработке результатов анализов проб воды из тоннеля и из поверхностных источников. Освещаются генетические связи между водами отдельных гидрохимических зон.

В 1960—1963 гг. комплексной экспедицией Института минеральных ресурсов (г. Симферополь) и Московского университета были проведены геофизические, карстологические, геолого-структурные и гидрогеологические исследования в связи со строительством Ялтинского гидротоннеля. Геологическую и гидрогеологическую документацию проходки тоннеля вели Ю. И. Шутов и В. Д. Приблуда, геологическую съемку на поверхности вели И. Н. Васильев, В. Н. Фомин, Л. П. Задорожная, геофизические работы производились под руководством В. К. Хмелевского. Общее руководство экспедицией и карстологическими работами осуществлялось заведующим отделом карстологии и сейсей Института минеральных ресурсов Министерства геологии СССР Б. Н. Ивановым.

В результате работ коллектива экспедиции было установлено сложное геологическое строение участка работ, основные закономерности распределения поверхностного и подземного стока, особенности закарстованности массива. Все это позволило выявить и охарактеризовать гидрохимическую зональность подземных вод.

Участок исследований располагался в узкой полосе на Ялтинском плато с прилегающими склонами между селами Васильевкой на юге и Счастливым на севере. Ялтинский горный массив в направлении с юго-запада на северо-восток вытягивается почти на 10 км. Ширина его в основании 6—8 км, ширина водораздельной части изменяется от 0,3 до 2,5 км. Эрозионное расчленение (глубина долинной сети) северного склона достигает 300—350, южного — 500—550 м. Водораздельная поверхность Ялтинского хребта поднята на высоту 1300 м над уровнем моря и незначительно расчленена с амплитудами до 150 м.

Наибольшее количество осадков выпадает на водораздельной части хребта (годовая норма 964 мм для пояса с высотами 1100—

1200 м). Высотный коэффициент снижения осадков составляет 45 мм на 100 м для южного склона и 50 мм — для северного.

На участке исследований наиболее древними породами, выходящими на дневную поверхность, являются отложения средней юры, представленные двумя ярусами, — батским и байосским. Толща байоса — бата сложена аргиллитами, алевролитами и песчаниками. В верхах байоса залегает пачка кератофировых туфов мощностью до 90 м. На песчано-сланцевую толщу средней юры несогласно налегают отложения верхней юры, представленные тремя ярусами — лузитанским, кимериджским, титонским. Верхнеюрская толща представлена в основном карбонатными породами: биогермами (лузитанский ярус), различными органогенными известняками, конгломератами, брекчиями, мало мощными пластами песчаников, алевролитов, аргиллитов. Плиоцен-четвертичные отложения в виде мощных гравитационных шлейфов глыбовых навалов хорошо развиты на южном склоне. По характеру осадков и степени дислоцированности пород в строении Ялтинского хребта принимают участие два структурных этажа: нижний этаж включает песчано-глинистую толщу средней юры, интенсивно дислоцированную пликативными и дизъюнктивными нарушениями; верхний этаж включает отложения верхней юры, разбитые дизъюнктивными дислокациями. В пределах участка выделены три крупных дизъюнктивных нарушения субширотного простирания с амплитудами, измеряемыми первыми сотнями метров, а также более мелкие нарушения, амплитуды которых измеряются первыми десятками метров.

Работами экспедиции выявлены следующие основные гидрогеологические закономерности:

1. Породы верхней юры могут рассматриваться как водосодержащие только вдоль зон тектонических нарушений и трещиноватости. Среднеюрские породы на участке исследований служат водоупором, хотя в зонах интенсивной тектонической трещиноватости и в них наблюдается замедленная циркуляция подземных вод. Хорошо проникаемы глыбовые навалы, развитые на южном склоне.

2. Питание подземных вод происходит за счет непосредственной инфильтрации и инфлюации атмосферных осадков через трещиноватые и закарстованные породы на поверхностных водосборах участка, а также за счет подтока из соседних водосборов карстовых вод, вдоль крупных тектонических разломов, осложненных сбросами. Подток этих вод установлен экспериментально — прокрашиванием флюоресцеином. Сток подземных вод вдоль сбросов происходит по широкой зоне трещиноватости, особенно развитой в опущенных блоках (до 200—300 м по данным, полученным при проходке тоннеля). В то же время слабая водопроницаемость приподнятых блоков, а особенно некарстующиеся участки брекчированных пород, располагающиеся непосредственно у сместителя (ширина этих участков не превышает 10—15 м по проходке тоннеля), оказывает экранирующее воздействие на подземный сток с водосборов, расположенных гипсометрически выше зон нарушений. Таким образом, зоны нарушений являются одновременно экранами для подземных вод у сместителей и основными путями циркуляции вод в трещиноватых породах опущенных блоков.

3. Как на северном, так и на южном склоне хребта существует поглощение поверхностного руслового стока в области развития верхнеюрских карбонатных пород — полное во время меженного режима, частичное во время паводков. Поглощение происходит вдоль зон интенсивного тектонического дробления пород в связи с региональными раз-

ломами, а также вдоль зон трещиноватости и крупных тектонических трещин.

4. В связи с интенсивным развитием трещинных и карстовых форм в замкнутых бессточных водосборах, расположенных на плато, происходит полное поглощение атмосферных осадков (за вычетом испаряющейся части).

5. Разгрузка подземных вод, циркулирующих в верхних частях трещиноватых, закарстованных зон крупных разрывных нарушений, осуществляется в карстовых источниках нижних поясов склонов, там, где трещиноватые зоны вскрыты крупными эрозионными врезами.

До работ экспедиции для данного района, как и для всего Горного Крыма, принимались представления о закарстованности карбонатных пород до толщи песчаниково-глинистых отложений. В связи с этим считалось, что направление стока определяется уклонами водоупорного ложа, подстилающего карбонатные породы поздней юры.

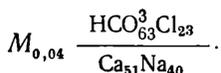
По химическому составу воды Горного Крыма подразделялись до настоящего времени на несколько групп. И. Г. Глухов [4] в породах верхней юры выделял гидрокарбонатно-кальциевые воды, а М. В. Чуринов [15] — гидрокарбонатно-кальциевые и гидрокарбонатно-кальциево-магниевые воды; для отложений таврической свиты — гидрокарбонатно-хлоридно-натриево-магниевые и кальциево-натриевые, а для ее глубоких горизонтов — хлоридно-натриевые. Группа гидрокарбонатно-сульфатных и гидрокарбонатно-хлоридных, кальциевых, кальциево-натриевых и кальциево-магниевых вод указана им без привязки к определенным отложениям. С. В. Альбов отмечает, что «главная гряда (яйла) Горного Крыма (мощные толщи верхнеюрских известняков) является структурой раскрытой, промываемой с пресными гидрокарбонатно-кальциевыми водами» [1, стр. 6].

Какие-либо данные о зональности залегания вод различных типов в карбонатных породах и о генетических связях между ними в указанных работах отсутствуют.

По результатам подземной документации в разрезе горного массива выделяются десять гидрогеологических зон с водами устойчивого и слабоустойчивого химического состава, с различным режимом и разными условиями циркуляции. В пределах некоторых зон удалось выделить подзоны с увеличением или уменьшением отдельных компонентов в химическом составе вод, отмеченных при наблюдениях.

При описании гидрогеологических зон из общего числа результатов химических анализов выводилось среднее, на основании которого определялись тип воды и средняя минерализация. Учитывая, что исходными материалами в метаморфизме подземных вод в Горном Крыму на протяжении четвертичного времени служат атмосферные осадки, обзор вод различного химического состава целесообразно начать с рассмотрения атмосферных осадков.

Атмосферные осадки поступают на поверхностные водосборы как в жидком, так и в твердом состоянии. Химические анализы атмосферных осадков показали для смежного района Ай-Петринского плато, что они относятся к гидрокарбонатно-натриево-кальциевым с минерализацией 42,1 мг/л [2]. Средний химический состав их может быть выражен формулой



Повышенное содержание иона хлора — 23 и натрия — 40% · экв объясняется близостью морского бассейна. Содержание ионов кальция

и карбонат-ионов связано с поступлением в атмосферу пылеватых частиц выветрелых известняков. Содержание иона магния весьма незначительно — 9% экв и может объясняться поступлением ионов магния в атмосферу из морских аэрозолей в виде  $MgCl_2$ ,  $MgSO_4$  или пылеватых частиц выветрелых мергелей и доломитов, не прикрытых почвой [8]. Незначительное содержание иона магния в атмосферных осадках соответствует почти полному отсутствию доломитизированных пород на поверхности центральной части Горного Крыма.

Содержание агрессивной углекислоты в различных пробах колеблется от 5,5 до 95,5 мг/л (среднее 25 мг/л). Интенсивность карбонатной агрессии для дождевых вод (I по Ф. Ф. Лаптеву) равна 18, а для снеговых осадков — 22, рН=5,5—6,6 (среднее 6,4). В 50 из 57 проб

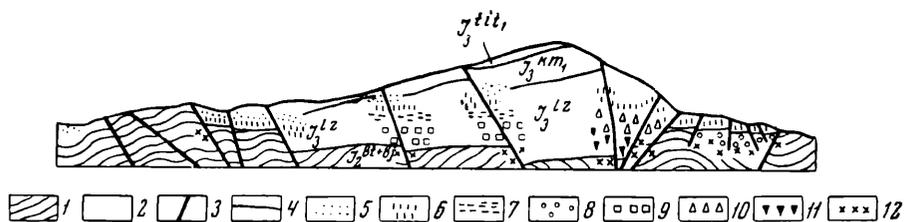


Рис. 1. Схематический гидрохимический разрез через Ялтинский массив: 1 — песчано-сланцевые отложения средней юры; 2 — карбонатные отложения верхней юры; 3 — линии тектонических нарушений; 4 — стратиграфические границы; 5 — воды гидрокарбонатно-кальциевого состава; 6 — гидрокарбонатно-магниевый-кальциевого; 7 — сульфатно-гидрокарбонатно-натриевого; 8 — гидрокарбонатно-натриевого; 9 — гидрокарбонатно-сульфатно-натриевого; 10 — сульфатно-натриево-магниевый-кальциевого; 11 — сульфатно-натриевого; 12 — хлоридно-натриевого и гидрокарбонатно-хлоридно-натриевого

обнаружены значительные количества  $H_2O_2$  (производились только качественные определения). Все это свидетельствует о большой агрессивной способности атмосферных осадков по отношению к известнякам [2].

Воды верхнеюрских отложений делятся на: 1) трещинно-карстовые воды гидрокарбонатно-магниевый-кальциевого и гидрокарбонатно-кальциевого состава; 2) трещинные сульфатные и хлоридные воды.

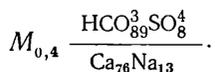
Гидрокарбонатно-кальциевые воды циркулируют в верхах разреза и тоннелем вскрыты лишь в одной неглубокой зоне, в местах проникновения их по крупным тектоническим нарушениям в глубь массива. Гидрокарбонатно-кальциевые воды встречаются только среди гидрокарбонатно-магниевый-кальциевых вод.

Гидрокарбонатно-кальциевые воды характерны для верхних частей зон нарушений на северном склоне и плато (рис. 1). Образуются они при движении агрессивных атмосферных вод в толще известняков к местным базисам карстования и разгрузки. Агрессивная углекислота переводит карбонат кальция в растворимый бикарбонат.

По данным В. Н. Дублянского [5], для Ай-Петринской яйлы воды, отобранные в карстовых шахтах на глубине до 100 м, обладают гидрокарбонатно-кальциевым составом с минерализацией 232,9 мг/л (среднее из 35 проб). Отсюда можно сделать вывод, что процесс выщелачивания известняков наиболее интенсивно идет в верхах разреза карбонатных пород и сопровождается ростом минерализации гидрокарбонатно-кальциевых вод. С глубиной, по мере расходования агрессивной углекислоты, процесс выщелачивания затухает. Весьма характерно то,

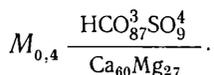
что минерализация вод источников, расположенных на разных абсолютных отметках (средняя за год), не увеличивается с уменьшением отметок. Так, например, минерализация источника, расположенного на отметке 1120 м — 278,2 мг/л, на отметке 970 м — 431,1 мг/л, на отметке 820 м — 325,3 мг/л, на отметке 725 м — 432,4 мг/л, на отметке 485 м — 328,7 мг/л. Эти различия могут свидетельствовать о разных скоростях движения вод массива в различных трещиноватых зонах. Отмечено, что воды, циркулирующие в зонах крупных нарушений, обладают пониженной минерализацией (328,7 мг/л), а воды, циркулирующие в зонах сравнительно мелких нарушений, обладают повышенной минерализацией (432,4 мг/л). Приведенные данные подтверждают разобщенность циркуляции подземных вод массива в различных зонах.

Интересно проследить содержание магния в водах источников, расположенных на разных абсолютных отметках. Так, если в источниках, расположенных выше 720 м, содержание ионов магния составляло не выше 9% экв, то в источниках, расположенных ниже 720 м, содержание ионов магния увеличивается до 17% экв. Принимая, что воды, питающие верхние и нижние источники, находятся приблизительно в одинаковых условиях, т. е. в открытой системе при равных  $pCO_2$  и температуре, увеличение иона магния, вероятно, следует отнести за счет увеличения магниевой составляющей во вмещающих породах [12]. Средний химический состав гидрокарбонатно-кальциевых вод района соответствует формуле



Гидрокарбонатно-магниевые кальциевые воды циркулируют в верхах зон нарушений на южном склоне и ниже гидрокарбонатно-кальциевых вод в зонах нарушений на плато и северном склоне. Гидрокарбонатно-магниевые кальциевые воды приурочены к породам луситанского яруса, сложенного наряду со слоистыми карбонатными породами также и рифогенными телами. Рифовые тела (биогермы), состоящие в основном из кальцита, имеют неравномерные пятнистые включения доломита. Эта избирательная доломитизация отчетливо видна при исследованиях шлифов, когда под микроскопом наблюдается метасоматическое замещение кальцита кристаллическим доломитом (ромбоздры). Вторичный доломит мог образоваться в результате перераспределения  $CaMg(CO_3)_2$  в процессе литификации известкового осадка [13]. При определении содержания  $MgCO_3$  в породе объемным методом обнаруживается колебание содержаний  $MgCO_3$  в различных участках. Очень четко прослеживается взаимосвязь содержания  $MgCO_3$  в породе в различных участках в зоне циркуляции гидрокарбонатно-магниевых кальциевых вод с содержанием иона  $Mg^{2+}$  в воде (таблица).

Средний химический состав гидрокарбонатно-магниевых кальциевых вод для участка исследований может быть выражен формулой



Сульфатные воды. Образование сульфатных вод в районе Ялтинского хребта связано с процессами окисления сульфидов железа. Пирит и марказит в виде отдельных зерен, конкреций или скоплений мелких кристаллов в больших количествах находятся в породах средней юры, особенно в ее верхних частях. При микроскопическом исследовании сульфиды железа отмечены в виде коллоидных сгустков и

Среднее содержание иона магния в воде и  $MgCO_3$  в породе для различных участков зоны гидрокарбонатно-магниево-кальциевых вод

№ участков	Среднее содержание $MgCO_3$ в весовых % в породе	Среднее содержание иона $Mg^{2+}$ в % экв в воде
I	3	18,6
II	3,3	25,6
III	5,1	35
IV	2,9	12,3
V	5,2	33,3

идиоморфных кристаллов. Форма выделения свидетельствует об их несомненной аутигенности. Содержание пирита колеблется от 1 до 15% (определено в шлифах). В верхах среднеюрской толщи часто встречаются небольшие конкреции марказита. При исследовании шлифов отмечается частичное разедание зерен пирита. Присутствие в аргиллитах средней юры конкреций сидерита наряду с гидрогетитом, пиритом и марказитом доказывает стадийность образования аутигенных минералов на стадии диагенеза, выражающуюся в виде последовательных новообразований: гидрогетит — лептохлориты — сидерит — пирит [14]. Весьма характерно, что большое количество пирита встречено при проходке тоннеля в среднеюрских породах, в условиях, исключающих возможность проникновения поверхностных вод, насыщенных кислородом. Пирит в виде отдельных зерен и кристаллов встречается и в среднеюрских породах, местами содержание пирита в шлифах достигает 15%. При микроскопическом исследовании карбонатных пород отмечается большое число гидроокислов железа, заполняющего микротрещины.

Образование сульфатных вод происходило в результате проникновения атмосферных вод, насыщенных кислородом и углекислотой, к породам, обогащенным пиритом и марказитом. В условиях прерывистого поднятия Главной гряды Крымских гор на протяжении четвертичного времени [3, 10, 16] создавалась благоприятная обстановка для заполнения трещинных систем пресными водами в карбонатных породах, обогащенных пиритом, а местами, при неглубоком залегании кровли среднеюрских отложений, — в песчано-сланцевых породах средней юры. Окисление сульфидов предположительно шло по реакции  $4FeS_2 + 15O_2 + 2H_2O = 2Fe_2(SO_4)_3 + 2H_2SO_4$ .

Возникающая при этом серная кислота переводила в раствор образующиеся сульфаты кальция и магния, а выделяющаяся свободная углекислота служила источником дополнительного образования растворимых бикарбонатов [6]. При этом конечный продукт взаимодействия серной кислоты на карбонатные породы — гипс и ангидрит при достаточно больших концентрациях сульфат-иона (свыше 30 мг экв) — переходил в осадок, заполняя трещины и мелкие каверны. При проходке тоннеля встречено 16 участков различной протяженности, на которых трещины выполнены гипсом и ангидритом. Часть участков встречена в сухих, необводненных породах. Мощность заполнения трещин гипсом до 6—8, обычно 0,5—1 см. С. А. Дуров [7] указывает, что гипс должен образовываться везде, где идет интенсивный процесс окисления сульфидов. Гипс является «отбросом» этого процесса как значительно менее растворимый сульфат, чем соли магния и натрия. Этим, в частности, объясняется небольшое содержание иона кальция в сульфатных водах.

Признаками локального окисления сульфидов в настоящее время является также аномальное повышение температуры (на 3—4°) в некоторых зонах принудительно возникшей циркуляции сульфатных вод. Известно, что реакция окисления сульфидов имеет резко выраженный экзотермический эффект.

При проходке некоторых участков с сульфатной обводненностью наблюдалось появление красных натеков в местах водопроявлений на стенах выработки. Это явление можно объяснить тем, что при окислении закиси железа атмосферным кислородом они переходили в коллоидную окись железа с выпадением в осадок. Иногда отмечались бурые хлопья, выносимые водой из промываемых трещин. Известно, что ионы железа сопутствуют главным образом ионам  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$ . Соединения закиси железа нестойки и легко выделяются из воды. В нашем случае может идти реакция  $4\text{Fe}(\text{HCO}_3)_2 + \text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} = 4\text{Fe}(\text{OH})_3 + 8\text{CO}_2$ . Вероятно, подобные процессы имели место и в прошлом, на что указывает отмечавшееся присутствие гидроокислов железа в микротрещинах карбонатных пород.

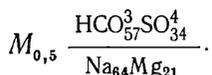
Однако в связи со стабилизацией поднятий и гидродинамической обстановки на современном этапе нет активного водообмена с водами, насыщенными  $\text{CO}_2$  и кислородом, в результате чего окисление сульфидов на исследованном участке прекратилось. На это указывает нейтральная или слабощелочная реакция сульфатных вод ( $\text{pH} > 7$ ), отсутствие в воде большого количества ионов железа, сравнительно невысокие минерализации вод, совершенно недостаточные для образования гипса и ангидрита. В то же время в трещинах наряду с гипсовыми и ангидритовыми заполнителями присутствует большое количество глинистого кольматирующего материала, перекрывающего гипсы и ангидриты. Закольматированные трещинно-карстовые полости отмечены и в зонах пресных вод, где зачастую встречаются полости, полностью выполненные щеленисто-глинистым материалом. Глины заполнителя окрашены в основном в бурые цвета.

Все это свидетельствует о разных условиях формирования сульфатных вод, связанных с общим ходом геологических процессов в Горном Крыму в четвертичном времени и развитием тектонической трещиноватости в связи с неотектоническими движениями. Стабилизация трещинных систем с кольматажем приводила к увеличению минерализации этих вод и их застойному режиму.

В то же время при поднятиях горного массива и связанного с этим увеличения амплитуд расчленения рельефа и интенсивности карстования некоторые зоны застойных вод могли частично «приоткрываться» для доступа пресных гидрокарбонатно-кальциевых вод небольшой минерализации, что в свою очередь приводило к опреснению минерализованных вод, а иногда при интенсивно развитых процессах эрозии — к полному осушению трещинно-карстовых полостей. Примером этого служит пещера Ставрикайская, расположенная на высоте 700—725 м над уровнем моря к юго-западу от участка на расстоянии около 3 км. Происхождение гипсовых заполнителей трещин в этой ныне безводной карстовой полости нельзя объяснить иначе, как отложением гипсов из высокоминерализованных сульфатных вод. При проходке тоннеля в зонах сульфатных вод во многих точках отмечено суфлярное выделение газа  $\text{H}_2\text{S}$ , содержание  $\text{H}_2\text{S}$  в воде по отдельным анализам достигало 25 мг/л. Не исключено, что образование  $\text{H}_2\text{S}$  связано с биохимическим восстановлением сульфатов в присутствии органического вещества [9], поскольку содержание углеводов в газовых вытяжках из пород достигает 12,57%.

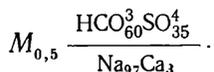
При рассмотрении сульфатных вод, встреченных в тоннеле в разных зонах нарушений, отмечено, что с глубиной для каждой зоны минерализация, а также содержание ионов  $\text{SO}_4^{2-}$  и  $\text{Na}^+$  увеличиваются. Однако для разных зон нарушений в пределах участка это происходит по-разному. В зонах нарушений северного склона сверху залегают

пресные сульфатно-гидрокарбонатно-натриевые воды (см. рис. 1), химический состав их можно выразить формулой



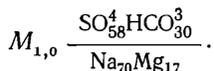
Это сульфатные воды, сильно разбавленные пресными, циркулирующими в верхах карбонатной толщи и проникающими по трещиноватым зонам в глубь массива. Отмечается незначительное количество ионов кальция (15% · экв) и магния (21% · экв), что связано с большой удаленностью от очага окисления сульфидов, при движении от которого воды теряли двухвалентные катионы и частично  $\text{SO}_4^{2-}$  путем адсорбции в коллоидных комплексах или в результате кристаллизационных процессов при больших концентрациях. Подток таких минерализованных вод к зоне тоннеля происходит с северо-восточных водосборов, где при высоком залегании водоупора и интенсивной трещиноватости карбонатной толщи возможен доступ трещинно-карстовых вод к песчано-сланцевым породам средней юры.

Анализ водных вытяжек из аргиллитов и алевролитов средней юры показал сульфатно-гидрокарбонатно-натриевый состав, выражаемый формулой



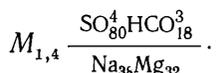
Как видим, анионный состав водных вытяжек идентичен таковому для вод сульфатно-гидрокарбонатно-натриевых, катионный состав не совпадает, что объясняется, как уже указывалось, значительным разбавлением пресными водами.

Ниже сульфатно-гидрокарбонатно-натриевых вод залегают гидрокарбонатно-сульфатно-натриевые, средний химический состав которых выражается формулой



Это менее разбавленные воды вследствие удаленности от зон циркуляции, из которых могут проникать разбавляющие пресные воды. Здесь наблюдается рост сульфатов натрия и уменьшение содержания ионов кальция и магния вследствие меньшего разбавления.

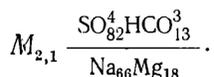
На южном склоне в условиях большого расчленения рельефа, препятствующего переводу поверхностных и атмосферных вод в подземный сток, в связи с чем разбавление идет крайне медленно и нерегулярно, в низах карбонатной толщи нами встречены сульфатно-натриево-магниевые-кальциевые воды, средний химический состав которых может быть выражен следующей формулой:



Эти воды весьма характерны для зон окисления сульфидов как по содержанию сульфатов, так и по катионному составу: натрий, магний и кальций присутствуют приблизительно в одинаковых количествах. Низкая минерализация и щелочная реакция воды (pH=7,4—8) свидетельствуют о затухании процесса окисления. Однако высокая температура (на 3—4° выше обычной для пресных вод на этих глубинах) ука-

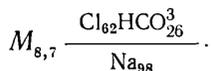
зывает, что процессы окисления локально и в небольших масштабах происходят и в настоящее время.

Ниже сульфатно-натриево-магниевые-кальциевых вод залегают сульфатно-натриевые воды, средний химический состав которых выражается формулой



Эти воды возникли в процессе метаморфизма из вышележащих вод при дальнейшем удалении ионов кальция и магния и бикарбонатов из раствора и перевода их в нерастворимые кальцит, может быть и доломит, вследствие перенасыщения раствора этими ионами при отсутствии поступления в раствор агрессивной углекислоты извне.

Хлоридные воды. В самых низах карбонатной толщи, в прослоях алевролитов и аргиллитов нами встречены гидрокарбонатно-хлоридно-натриевые воды, химический состав которых выражается формулой



Образование этих вод связано, вероятно, с накоплением в водах ионов натрия и хлора в результате более высокой вертикальной нисходящей скорости этих ионов в закрытых системах [11]. На наличие процессов десульфатизации указывает присутствие во вскрытых водах большого количества  $H_2S$ . Хлоридные воды образуются в условиях более длительного застойного режима в слабо промытых морских глинистых отложениях.

Таким образом, намечается два пути метаморфизации пресных вод: от пресных гидрокарбонатно-магниевых-кальциевых вод к хлоридным в зонах разломов. Эти пути отображены нами на сдвоенной треугольной диаграмме С. А. Дурова (рис. 2).

Первый путь — преобразование сульфатных вод на значительном расстоянии от зоны окисления, при интенсивном разбавлении пресными водами (точки 1, 2, 3, 5, 8 на сдвоенной треугольной диаграмме). При этом в анионном треугольнике движение фигуративной точки показывает нам увеличение ионов сульфата при уменьшении интенсивности разбавления и переход от сульфатов к хлору при застойном режиме циркуляции в прослоях глинистых пород в карбонатной толще при отсутствии водообмена с вышележащими водами. В катионном треугольнике движение фигуративной точки указывает на потерю ионов кальция и магния при переходе от гидрокарбонатных вод к сульфатным и на рост содержания иона натрия, увеличивающееся по мере накопления в растворе сульфатов.

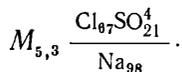
Второй путь во многом повторяет первый (см. точки 1, 2, 6, 7, 8 на сдвоенной треугольной диаграмме), однако увеличение сульфатов до 82% экв указывает на почти полное отсутствие растворения поверхностными водами, а катионный состав, весьма характерный для зон окисления, свидетельствует о близости очагов окисления. Здесь также наблюдается дальнейший метаморфизм вод в сторону увеличения сульфата натрия за счет уменьшения ионов кальция и магния и дальнейший переход от сульфатных вод к хлоридным.

Воды среднеюрских отложений. В породах вулканогенного комплекса, пройденного тоннелем, на северном склоне встречены гидрокарбонатно-кальциевые воды небольшой минерализации. Это



Образование этих вод связано, по всей вероятности, с дальнейшим накоплением иона хлора и натрия в щелочных водах путем десорбции этих ионов из вмещающих непромытых глинистых пород средней юры. Процесс накопления происходит в условиях крайне застойного режима циркуляции при почти полном отсутствии водообмена с вышележащими водами (см. рис. 2, точки 1, 2, 4, 9 на сдвоенной треугольной диаграмме).

В глубинах массива в среднеюрских породах неглубоко от контакта с верхнеюрской толщей, в которой циркулируют пресные карстовые воды, нами встречены хлоридно-натриевые воды (редкий капёж) с повышенным содержанием сульфат-иона, химический состав этих вод выражается формулой



Формирование этих вод связано с редким избирательным проникновением карстовых вод по мелким трещинам в аргиллитово-алевролитовой толще средней юры, по которой происходит замещение ионов кальция и магния ионами натрия в результате катионного обмена и накопления хлора и сульфатов при десорбции из окружающих глини-

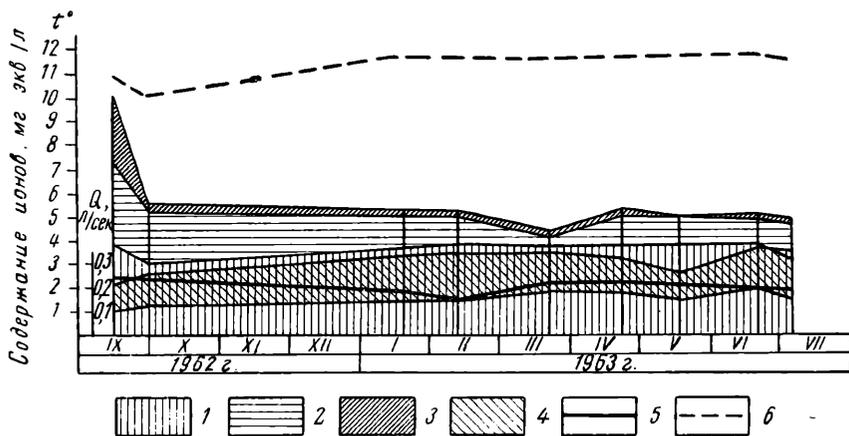


Рис. 3. Гидрохимический профиль по А. А. Бродскому:  
1 — гидрокарбонат-ионы; 2 — сульфат-ионы; 3 — ионы хлора; 4 — ионы магния; 5 — дебит водопоявлений; 6 — температура воды

стых пород. Относительно высокое содержание сульфатов указывает на отсутствие условий их восстановления.

Сульфатные воды, вскрытые тоннелем (сульфатно-натриевые и сульфатно-натриево-магниевые-кальциевые), оказались весьма ценными в лечебном отношении.

Заведующий лабораторией минеральных вод и лечебной грязи института им. И. М. Сеченова Г. Я. Хволес, исследовавший указанные воды, отмечает, что содержание сульфатов в них значительно превышает таковое в подобных водах Мелласа (Крым), Болдоне (Латвия), Таминске (Северная Осетия), Хилово (РСФСР), Варзи-Ятчи (Удмуртская АССР). Эти воды сходны по составу сульфатов с минеральной водой курорта Краинка (под Тулой), применяемой в виде питья при желудочно-кишечных заболеваниях и болезнях почек, в виде ванн при

нарушении обмена веществ, заболеваниях суставов и ревматизме. Биологическое исследование сульфатных вод из гидротоннеля в лаборатории института им. И. М. Сеченова обнаружило ее высокую физиологическую активность. Большой дебит этих вод (108 м<sup>3</sup>/час после проходки) позволяет использовать ее для бутылочного розлива и отпуска большого числа ванн.

Ресурсы подземных вод участка делятся на статические и динамические. Гидрокарбонатно-кальциевые и гидрокарбонатно-магниевые кальциевые воды, смена которых происходит непрерывно и регулярно, относятся к динамическим ресурсам. Химический состав и дебит водопроявлений в разрезе года изменяются слабо и обычно после небольших колебаний после вскрытия сохраняют свою постоянную величину. Сульфатные воды относятся к статическим ресурсам района.

При длительном дренировании вод разных зон тоннелем наблюдается переход от одного химического типа к другому или от более минерализованных вод к

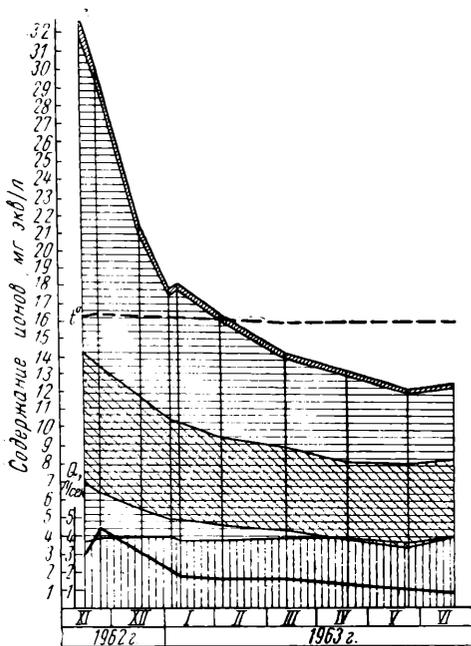


Рис. 4. Обозначения см. на рис. 3

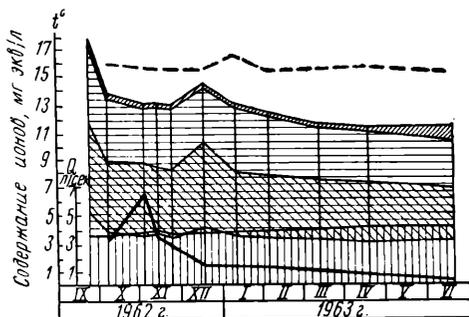


Рис. 5. Обозначения см. на рис. 3

более пресным, что связано со сработкой нижних зон и опусканием вод верхних. Так, на крайней северной границе области распространения слабominерализованных гидрокарбонатно-сульфатно-натриевых вод, при дренировании в тоннель они переходят в пресные при дебите водопроявления, остающемся неизменным, что свидетельствует о незначительной мощности зоны слабominерализованных вод и близости вод, относящихся к динамическим ресурсам (рис. 3)<sup>1</sup>.

Для сульфатно-натриевых и сульфатно-магниевых натриево-кальциевых вод дебит водопроявлений непрерывно уменьшается, причем при дренировании в тоннель наблюдается переход сульфатно-натриевых в сульфатно-магниевые натриево-кальциевые (рис. 4). При дренировании последних химический состав почти не изменяется (рис. 5), но уменьшается минерализация. Все это свидетельствует, как уже указывалось, на отсутствие подтока поверхностных вод в условиях сильно расчлененного рельефа.

<sup>1</sup> На гидрохимических профилях А. А. Бродского показаны изменения во времени химического состава, температуры и дебита для особо характерных водопроявлений.

Выявленные закономерности имеют большое практическое значение для выяснения условий формирования вод различного химического состава в сходных условиях карстовых районов Горного Крыма, а также для прогнозирования водопритоков и агрессивности подземных вод при проектировании горных выработок.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Альбов С. В. О структурно-гидрогеологических и палеогеографических условиях формирования подземных вод Крыма. «Тр. I Укр. гидрогеол. совещания», вып. 1. Киев, Изд-во АН УССР, 1961.
  2. Альбов С. В., Дублянский В. Н. Химический состав атмосферных осадков и его влияние на развитие карста Ай-Петринского горного массива. Сб. «Химич. география и гидрогеохимия», вып. 3 (4). Пермь, 1964.
  3. Бабак В. И. Очерк неотектоники Крыма. «Бюл. МОИП», отд. геол., 1959, т. XXXIV, вып. 4.
  4. Глухов И. Г. О водном балансе и гидрогеологическом районировании юго-западной части Главной гряды Крымских гор. «Вестн. МГУ», сер. геол. 1957, № 4.
  5. Дублянский В. Н. О роли снега в закарстовании и питании карстовых вод. «Изв. АН СССР», сер. геогр., 1963, № 2.
  6. Дуров С. А. Геометрический метод в гидрохимии. Ростовск. книжн. изд-во, 1959.
  7. Дуров С. А. Синтез в гидрохимии. Ростовск. книжн. изд-во, 1961.
  8. Колодяжная А. А. Режим химического состава атмосферных осадков и их метаморфизация в зоне аэрации. М., Изд-во АН СССР, 1963.
  9. Кузнецова З. И. Распределение десульфурствующих бактерий по падению водоносного пласта (Терско-Дагестанская нефтеносная провинция). Сб. «Вопр. гидрогеологии и инженерн. геологии». «Тр. ВСЕГИНГЕО», 1959, № 18.
  10. Муратов М. В. Краткий очерк геологического строения Крымского полуострова. М., Госгеолтехиздат, 1960.
  11. Самойлов О. Я., Соколов Д. С. О возможных причинах вертикальной гидрохимической зональности артезианских вод. «Изв. АН СССР», отд. хим. наук, 1957, № 3.
  12. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. М., Госгеолтехиздат, 1962.
  13. Страхов Н. М. Диагенез осадков и его значение для осадочного рудообразования. «Изв. АН СССР», сер. геол., 1953, № 5.
  14. Страхов Н. М. Основы теории литогенеза, т. II. М., Изд-во АН СССР, 1960.
  15. Чуринов М. В. Формирование подземных вод юго-западной части Главной гряды Крымских гор. Сб. «Вопр. гидрогеологии и инженерн. геологии». «Тр. ВСЕГИНГЕО», 1959, № 16.
  16. Чуринов М. В., Цыпина И. М. К вопросу о роли новейших тектонических движений в развитии оползневых процессов на южном берегу Крыма. Сб. «Вопр. гидрогеологии и инженерн. геологии». «Тр. ВСЕГИНГЕО», 1959, № 18.
-