

Ю.И.Шутов

## ОБВОДНЕННОСТЬ И ТИПЫ ВОД ЯЛТИНСКОГО ГОРНОГО МАССИВА

При геологической документации проходки тоннеля изучались полевыми, а в дальнейшем и лабораторными методами условия залегания и смены пород вдоль выработки, минералогический и химический состав, трещиноватость, а также характер местонахождения и видовой состав фауны.

При гидрогеологических исследованиях велись следующие наблюдения:

1. Определялся дебит, температура, химический состав и агрессивность всех водопроявлений непосредственно после вскрытия на всем протяжении тоннеля.

2. Производились режимные наблюдения за всеми вскрытыми водопроявлениями, а также за суммарным водоприток в выработку и гидростатическими напорами встреченных вод.

3. Велись описания обводненных трещинных и трещинно-карстовых полостей.

Дебиты водопроявлений определялись обычными гидрогеологическими методами при небольших расходах.

В случае внезапных прорывов трещинно-карстовых вод, дебит определялся делением объема воды, затопившей выработку, на время  $|t|$ , за которое произошло затопление. Объем воды  $|v|$  определялся по формуле:  $v = \frac{1}{2} i l^2 b$ ,

где  $i$  — уклон тоннеля,  $l$  — длина затопленной части,  $b$  — ширина выработки.

Расход воды, поступающей в зумпф, определялся следующим образом. При производительности насоса  $Q$ , времени за-



полнения зумпфа (при неработающем насосе)  $t$ , времени откачки из зумпфа  $t_1$ , расход  $Q_x$  воды, стекающей в зумпф:

$$Q_x = \frac{Q \cdot t}{t + t_1}$$

Если не известна производительность насоса и имеется возможность уменьшения количества воды путем изоляции крупного водопроявления, расход с участка определялся по формуле:

$$Q_x = \frac{\alpha t' t \left(1 + \frac{t_1'}{t}\right)}{t_1' \cdot t - t_1 \cdot t'}$$

где  $t$  - время откачки из зумпфа и  $t_1$  - время наполнения зумпфа до изменения притока,  $\alpha$  - величина, на которую изменился приток, равная дебиту изолированного водопроявления,  $t'$  - время откачки из зумпфа и  $t_1'$  - время наполнения зумпфа после изменения притока.

Определение дебита водопритокров, отбор проб и замеры температуры воды производились раз в неделю в первый месяц после вскрытия и раз в месяц в дальнейшем.

Для замера суммарного водопоступления в тоннель применялись треугольные водосливы с углом выреза -  $90^\circ$ . На северном портале, где вода на поверхность откачивалась насосами, использовался самописец уровня воды "Валдай". Ленты с записями изменений уровня воды в водосливе обрабатывались непосредственно на портале. В результате обработки лент определялся средний суточный расход воды из тоннеля.

Определение гидростатических напоров водопроявлений производилось непосредственно на шпурах, а после бетонирования стен и свода на каптажных железных или резиновых трубках с манометром.

Описания трещинно-карстовых полостей включали в себя замеры элементов залегания полости и ее морфометрии, оценки характера и степени заполненности полости минеральными образованиями.

Определение содержания углекислоты, агрессивной по отношению к бетону, производилось по нормам и техническим условиям Н-114-54.



Вычисление количеств углекислоты в воде, агрессивной по отношению к известнякам, производилось по графикам (Лаптев, 1955), для чего определялось содержание свободной углекислоты, гидрокарбонат-иона, иона кальция в мг-экв/л и средний коэффициент активности гидрокарбоната кальция } ср.

На основании вышеперечисленных наблюдений устанавливались границы гидрогеологических зон. Особое внимание при этом уделялось результатам режимных наблюдений за химизмом вод и температурой. Только многократные анализы проб из каждого водопоя дали возможность установить границы гидрохимических зон и колебания химического состава во времени в их пределах.

При инженерно-геологической и гидрогеологической документации составлялись:

рабочие зарисовки, масштаба 1:50, рабочие профили, масштаба 1:100, сводные профили, масштаба 1:2000, а также проводилась фотодокументация стен, свода и забоев.

1. Рабочие зарисовки велись в дневнике. При этом отмечались литологические характеристики, элементы залегания трещин, элементы залегания пород, точки взятия образцов с фауной и флорой, образцов для изучения состава пород, их крепости, характер заполнителя трещин и др.

В дневнике фиксировались выборочные площадки с различными трещинами, причем отмечались типология, зияние и заполнение для определения коэффициента и модуля трещиноватости.

Отдельно отмечались ширина и высота выработки при отклонениях от нормальных их значений, характер крепи, краткое описание пород, замечание о проходке, краткие выводы.

2. Рабочие профили составлялись в виде разверток всех четырех стенок выработки с указанием наиболее важных в геологическом отношении данных, имеющих на рабочих зарисовках по стенкам, кровле и почве (смены пластов и пачек пород, их залегание, нарушения, характер контактов литологических комплексов, карстологические и гидрогеологические проявления).

На рабочий профиль наносились также зарисовки забоев



(в масштабе 1:100) для лучшей иллюстрации геологических и гидрогеологических данных.

3. Сводный профиль строился по левой стенке выработки с показом литологических комплексов пород, элементов залегания пород, зон трещиноватости и тектонических нарушений. Инженерно-геологические данные, фактические и расчетные, размещались под профилем в соответствующих графах. В их числе находились: а/ коэффициент крепости по Протоdjяконову -  $f$ , б/ коэффициент трещиноватости по Л.И.Нейштад -  $K_{тр}$ , в/ коэффициент крепости для расчета обделки -  $f'$ , г/ расчетное горное давление "  $q$  " - в своде и "  $e$  " - боковое в  $т/м^2$ , д/ упругий отпор -  $K_0$  в  $кг/см^2$ . Указывались также гидрогеологические и геологические характеристики пройденных интервалов.

Многokратная повторность наблюдений за обводненностью и ее показателями и определенное увеличение требований к детальности документации по сравнению с объемами работ, изложенными в инструкции (И-33-53), объясняется необходимостью сравнительного анализа обнаруживаемых явлений и использования ряда данных для прогнозов проходки.

В этом отношении объединение исполнительной инженерно-геологической документации с работами, проводимыми по опережающей разведке в составе одного коллектива, представляется наиболее целесообразным и совершенно обязательным при ускоренном проектировании и замене инженерно-геологических изысканий на стадиях проектного задания и технического проекта комплексными опережающими изысканиями в процессе строительства.

Гидрогеологические исследования проводились и на дневной поверхности, где источники и обводненные участки гидро-сети наблюдались систематически с целью выявления взаимосвязи в их режимах и сезонных колебаний химизма воды. Особое место занимали методы изучения направлений и путей движения трещинно-карстовых вод. Производилось прокрашивание вод флюоресцеином на участках поглощения поверхностных водотоков и



выявление его следов в источниках. В скважине 175 была проведена резистивиметрия, работы методом заряженного тела, на ряде источников - работы методом естественной поляризации.

Согласно представлениям, имевшим место до работ экспедиции, суммарный водоприток в тоннель, подсчитанный по модулям подземного стока, предложенным И.Г. Глуховым (1957), должен был составлять  $55227 \text{ м}^3/\text{сут}$ . Водопритоки на отдельных участках должны были достигать нескольких тысяч  $\text{м}^3/\text{сут}$ . с напорами до 50-60 атмосфер. Следствием этого могло быть снижение расходов источников в районе Ялты с пересыханием отдельных из них.

Проходка и последующие наблюдения показали неизменность режима источников при суммарном водопритоке в выработку -  $6500 \text{ м}^3/\text{сут}$ . с уменьшением этой величины к началу эксплуатации до  $5000 \text{ м}^3/\text{сут}$ . При этом основное поступление воды в тоннель шло из 61 водопроявления. Типичным явлением была четко выраженная разобщенность зон и почти полное отсутствие водопритоков из карстовых полостей.

В результате комплексных исследований выяснены гидрогеологические условия горного массива, характеристика которых приводится ниже.

### Условия питания

Различаются несколько видов питания подземных вод.

а. Поглощение периодических водотоков на плато в трещины, поноры, борта и днища карстовых форм наблюдается при интенсивных дождях и ливнях, а также при активном снеготаянии. Сток существует на коротких отрезках поверхности с быстрым поглощением, существенно снижающим потери на испарение. Однако, при малом количестве карстовых воронок с зияющими понорами и незначительной (менее 1%) площадью тяготеющих к ним водосборов, поглощение за счет инфильтрации на плато не может превышать 1% от общей суммы осадков.

б. Инфильтрационное питание осуществляется через трещинные системы на обнаженных поверхностях и через рыхлые щеб-



нисто-глинистые отложения на плато и склонах. По наблюдениям на смежном Ай-Петринском плато глубина промачивания грунта при осадках до 10 мм/сут. не превышает 15 см, до 20 мм/сут. - 25 см, до 30 мм/сут. - 45 см. При осадках свыше 30 мм/сут., либо после непрерывных осадков в течение 2-3 дней в теплом сезоне глубина промачивания превышает 50 см. Осадки этого сезона почти полностью расходуются на испарение, практически не питая подземных вод (Дублянский, 1967). В холодном влажном сезоне почво-грунты промачиваются на всю глубину, создавая влагозапасы в полуметровом слое к концу снеготаяния до 240-270 мм. При мощности почв до 50 см на питание подземных вод в течение года идет 56.6% выпавших осадков, при мощности 30 см - 62%, при мощности 10 см - 71% за счет инфильтрации (Дублянский, 1967).

в. Поглощение постоянных водотоков на склонах массива осуществляется через системы трещин в руслах, поскольку при крутизне склонов более  $10-12^{\circ}$ , поверхностные карстовые формы не образуются (Иванов, 1963). Поглощенные воды поступают в трещиноватые и закарстованные зоны, сопровождающие разрывные нарушения, и выводятся ими за пределы водосборов, где происходили потери поверхностного стока.

Ряд участков поверхностного стока обнаружен на северном склоне Ялтинского массива (рис. 1). В их пределах производились специальные гидролого-карстологические наблюдения, давшие основание поставить индикаторные опыты с применением в качестве красителя флюоресцеина (Шутов, 1967).

Первый, нижний участок постоянного поверхностного стока образуется за счет действия крупных карстовых источников на среднеюрских песчано-глинистых породах в пределах отметок 480-620 м. Выше располагается второй участок с постоянным поверхностным стоком, создаваемым источниками, дренирующими трещинно-карстово-пластовые воды, на отметках 720-950 м. В межень длина обводненных участков долин сокращается до 40-100 м, а при паводках она увеличивается, и сток в тальвегах сохраняется до отметок нижнего участка. Третий участок постоянных водотоков в тальвегах располагается на отметках 970-1125 м.



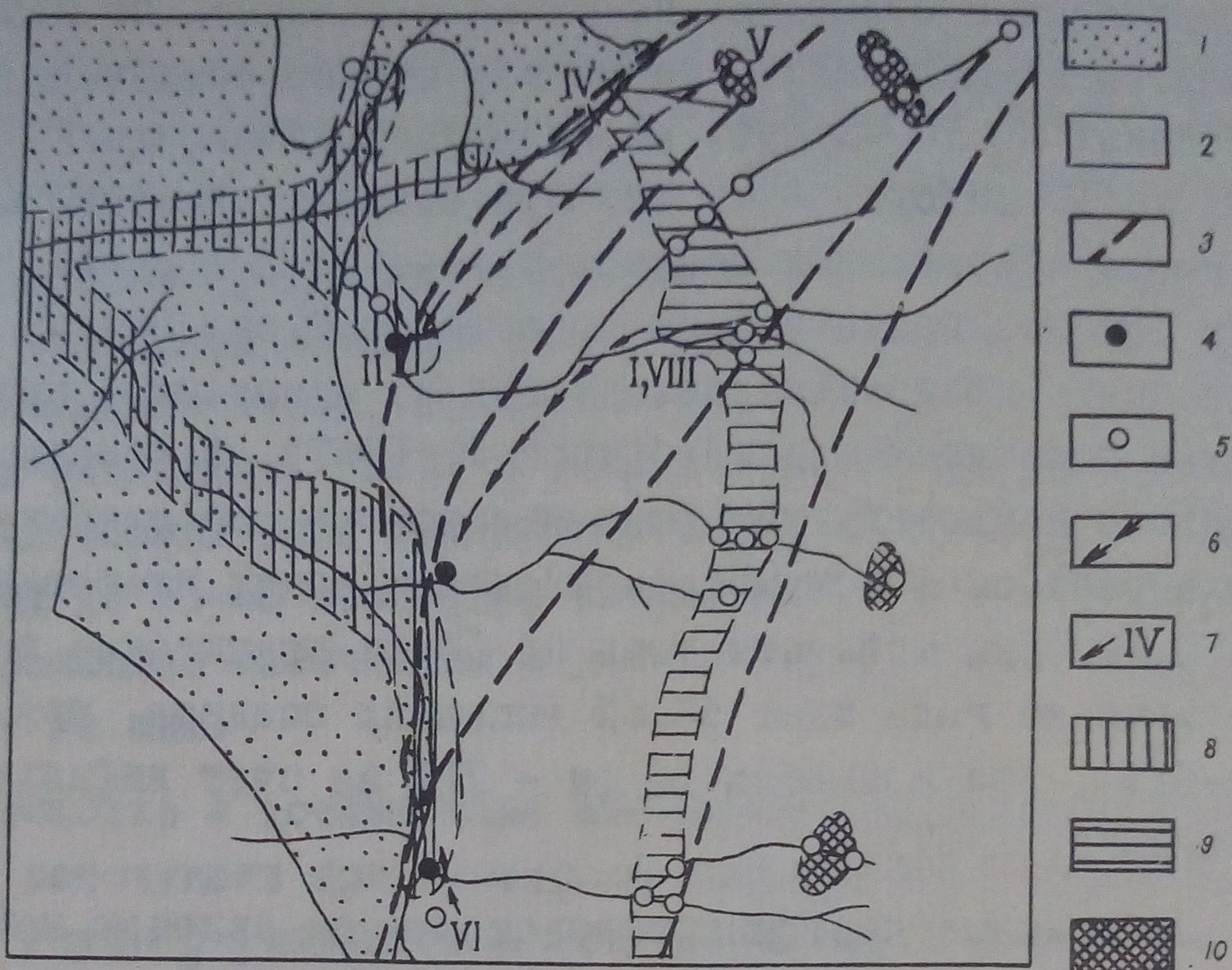


Рис. 1. Гидрогеологическая схема северного склона Ялтинского массива. 1 - среднеюрские песчано-сланцевые породы; 2 - верхнеюрские карбонатные породы; 3 - разрывные нарушения; 4 - крупные карстовые источники со среднегодовым дебитом свыше 100 л/сек; 5 - мелкие источники верхних и средних поясов склонов; 6 - направление движения окрашенной воды после поглощения; 7 - место поглощения окрашенной воды и номер опыта; 8-10 - I, II, III зоны и участки склонов, где поверхностный сток наблюдается постоянно в тальвегах эрозионных врезов.

Остальные разрывные отрезки тальвегов отличаются полным поглощением поверхностного стока в межень и поглощением 83% общего объема стока во время паводков. Объемы поглощенных вод составляют 0.8 - 80% от расходов крупных карстовых источников, в которых они входят.

Аналогичные участки с поверхностным стоком в тальвегах и зоны поглощения между ними выделены на южном склоне Ялтинского массива (рис. 2).

г. Конденсационное питание подземных вод в горных массивах Крыма несомненно существует. Микроклиматический метод расчета величины конденсации разработан В.Н.Дублянским (1969) и основывается на формуле:  $Q = VJ(e_1 - e_2)$ , где  $V$  - объем трещинно-карстовой полости,  $J$  - коэффи-



род. ♀

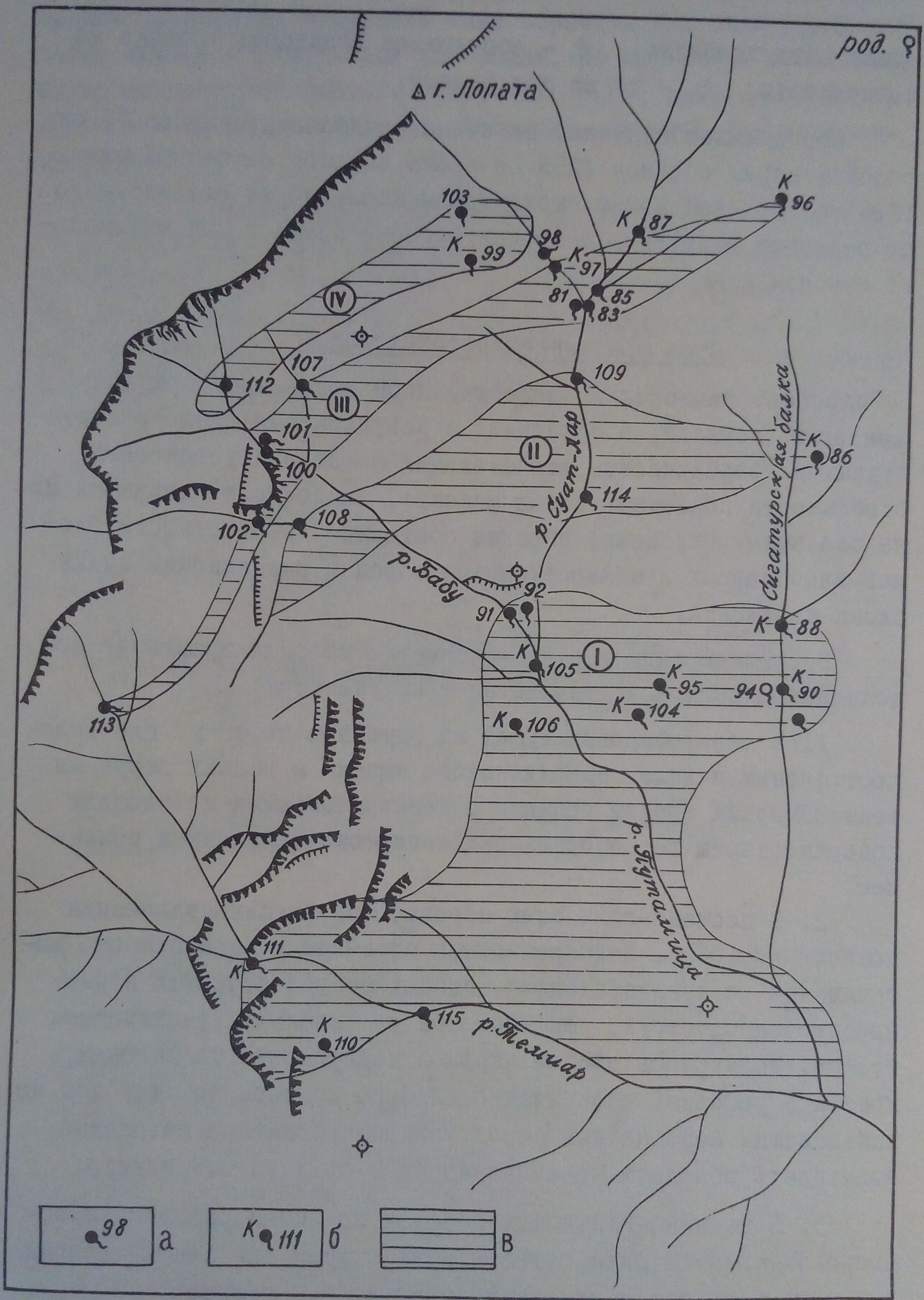


Рис. 2. Участки постоянного стока на южном склоне массива: а - источники; б - каптированные источники; в - зоны склонов с постоянным поверхностным стоком в гидросети.



цент воздухообмена,  $e_1$  - абсолютная влажность воздуха на поверхности,  $e_2$  - то же под землей.

Осредненное значение величины конденсации, равное 7% от годовой нормы осадков (23% от нормы осадков за сезон) или 12.4% от годовой нормы стока источников, может быть принято по аналогии с другими районами Горного Крыма и для Ялтинского массива.

### Сток трещинно-карстовых вод

Гидрогеологические наблюдения, производившиеся при документации тоннеля, в сочетании с результатами геолого-структурных и геофизических исследований позволили установить особенности подземных вод в массиве, возможности движения их на различных глубинах, а также состояние обводненности блоков карбонатных и некарстующихся пород и разделяющих такие блоки нарушений.

В среднеюрских песчано-сланцевых породах трещинные водопроявления были встречены на трех участках:

1. В кератофировых туфах на глубинах до 40 м, где водопоступления в виде периодического капеза и редких струй из тектонических трещин связаны с незначительными по площади поверхностными водосборами над неглубоко заложенным тоннелем.

2. В песчано-глинистых породах при глубине заложения тоннеля до 100 м. Водопроявления отмечены в виде слабого высачивания из трещин, капеза, слабых сосредоточенных и рассредоточенных струй, реже потоков из небольших расширенных трещин. Формируясь вблизи дневной поверхности на склонах хребта в условиях чрезвычайно слабого притока пресных вод из вышележащих карбонатных пород, гидрокарбонатные натриевые воды здесь обладают минерализацией в среднем 0.8 г/литр.

3. В песчано-глинистых породах по зонам разломов с водопроявлениями в виде очень слабых струек или капеза хлоридных натриевых вод с минерализацией до 6.8 г/литр.

В верхнеюрских карбонатных отложениях установлено шесть



участков обводнения, приуроченных к трещиноватым зонам вдоль крупных разрывных нарушений типа сбросов. Ряд водопроявлений здесь связан с небольшими кавернами, из которых к контактам крупноамплитудных сбросов приурочено 3.9%, малоамплитудных сбросов - 44.2%, к зонам интенсивной тектонической трещиноватости - 51.9%.

4. В известняках и конгломератах на глубине 180-280 м от поверхности. Суммарный водоприток здесь после проходки составлял 57.6-68.4 м<sup>3</sup>/час (в среднем 64.8 м<sup>3</sup>/час или 18 л/сек), что не превышало 4.5% от суммарного расхода двух крупных карстовых источников: Карстового и Биюк-Узеньбашского, расположенных над этим участком (рис. 3).

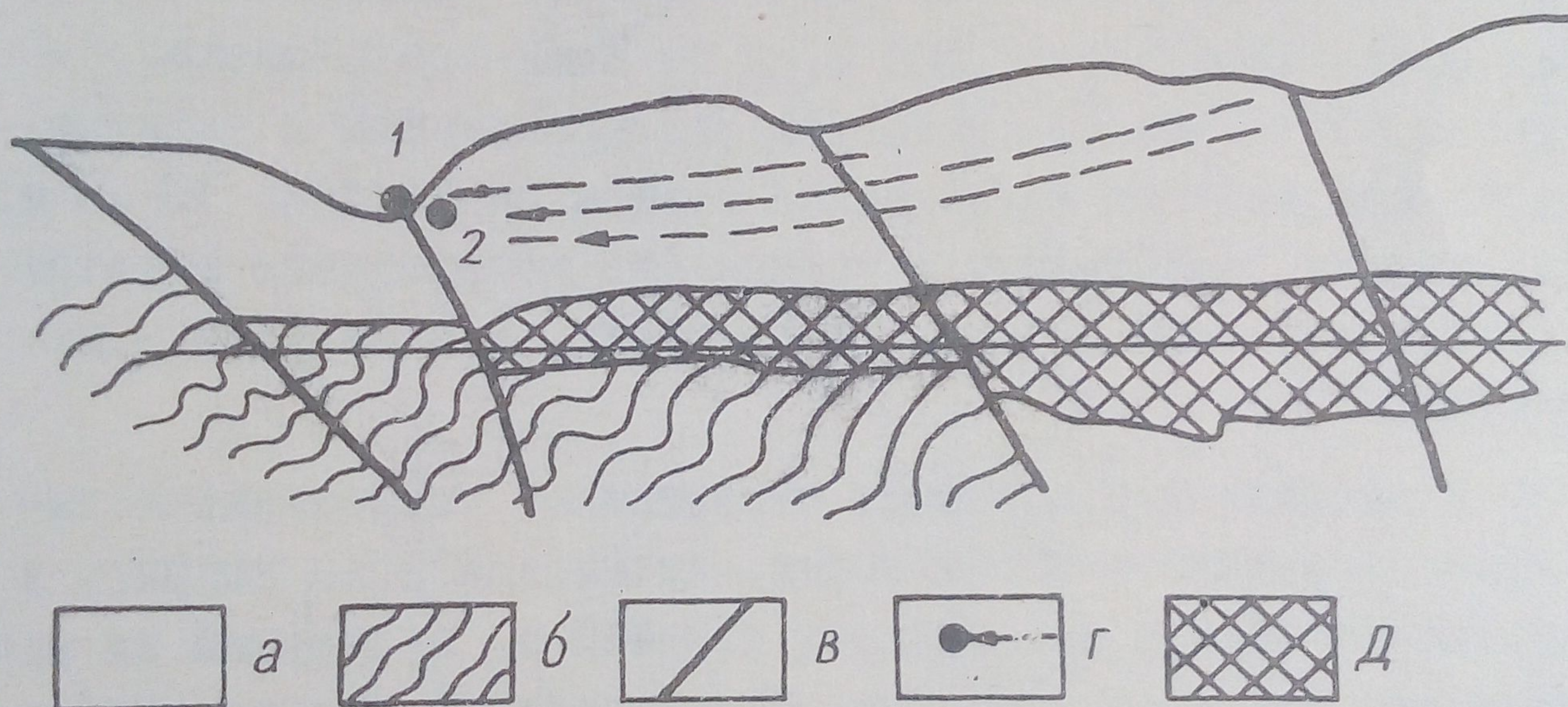


Рис. 3 Схематический гидрогеологический разрез по трассе Ялтинского гидротоннеля (ЯГТ) на 4 участке. а - карбонатные верхнеюрские породы; б - песчано-сланцевые среднеюрские породы (водоупор); в - разрывные нарушения; г - крупные карстовые источники и направление движения трещинно-карстовых вод к ним: 1 - Биюк-Узеньбаш, 2 - Карстовый (снесен на разрезе); д - 4 участок пресных гидрокарбонатных кальциевых вод, пройденный тоннелем

Только по одному водопроявлению здесь отмечен постоянный напор равный 2.5 атм. Химический состав вод участка - гидрокарбонатный магниевый-кальциевый с минерализацией в среднем 0.4 г/литр. На рис. 4 приведены графики расходов од-



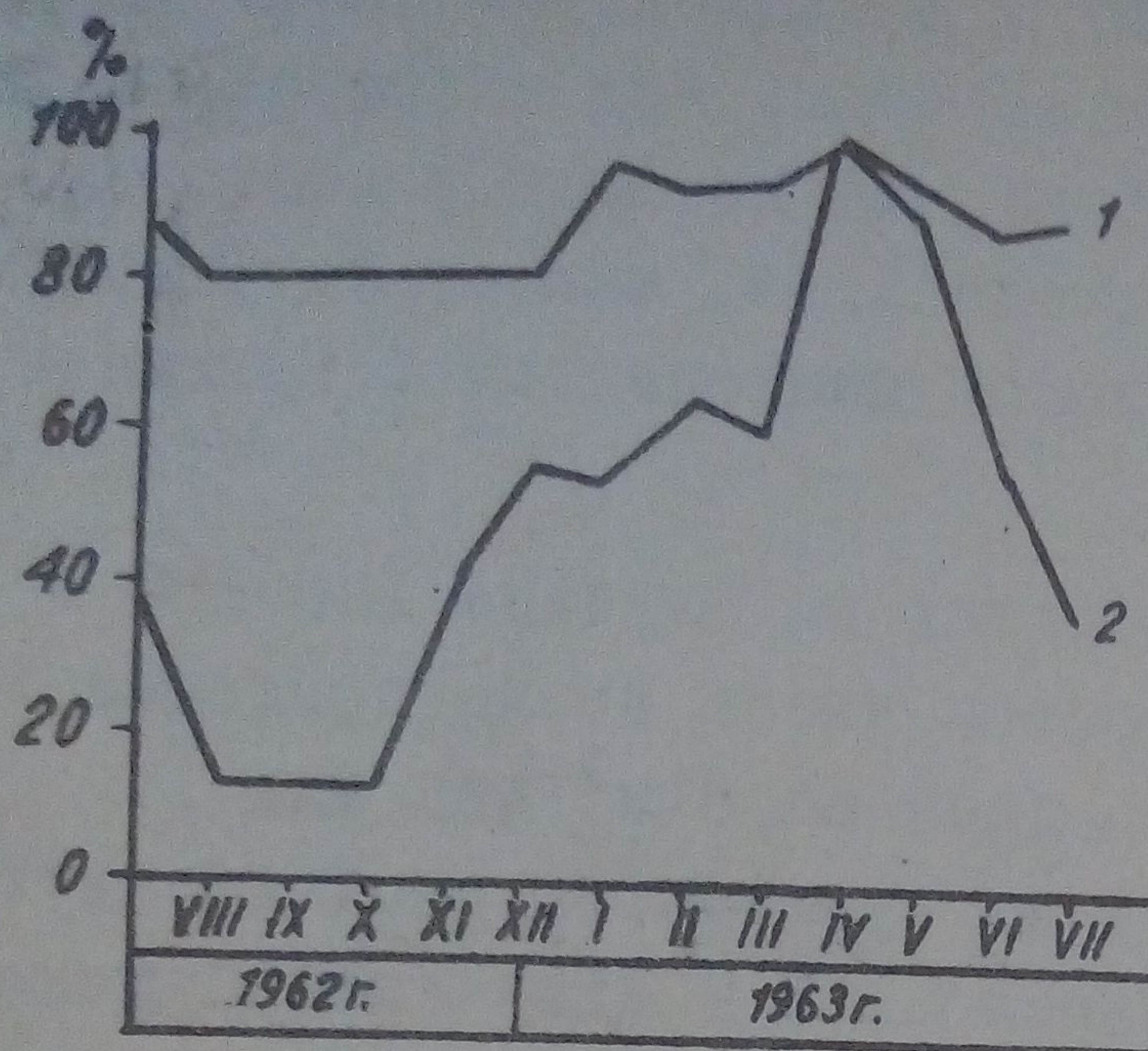


Рис. 4

ного из водопритоков на 4 участке (1) и среднемесячных расходов источника "Карстовый" (2), в процентах от максимального расхода. Амплитуда колебаний подземного источника - 20%, наземного - 88%. Это и химический состав тоннельных и родниковых вод свидетельствуют о наличии двух различных

систем стока, хотя расстояние от источника "Карстовый" до оси тоннеля составляет около 1000 м, а от Биюк-Узеньбашского - лишь около 100 м. Изолированность водопроявлений в тоннеле от источников вызвана кольматажом трещин на глубине 30-50 м: по результатам опробования скважины I75 коэффициент фильтрации в интервале 0-50 м равен 20-33 м/сут, а ниже 50 м - менее 3 м/сут.

5. В массивных и слоистых известняках, переслаивающихся с конгломератами и песчаниками, трещинные воды вскрыты в зоне крупного сброса на глубинах 370-440 м. Суммарный их расход составил  $7.2 \text{ м}^3/\text{час}$ . Напоры были отмечены только для одного водопроявления (до 3 атм). В процессе дренирования напор был снят в течение 7 суток. Воды обладают гидрокарбонатно-сульфатным натриевым составом со средней минерализацией 1.2 г/литр.

6. В массивных известняках и толщах переслаивания известняков с песчаниками, а также мелкогалечными кварцевыми конгломератами (рис. 5). Трещинные воды здесь приурочены к опущенному крылу сброса, где отмечено максимальное влияние трещин до 25 см. Глубина участка от поверхности - 460 - 670 м. После проходки суммарный расход по участку составлял  $-30.2 \text{ м}^3/\text{час}$ . При проходке были отмечены крупные водопроявления с дебитом в одном случае  $108 \text{ м}^3/\text{час}$  и напором до 8 атм,



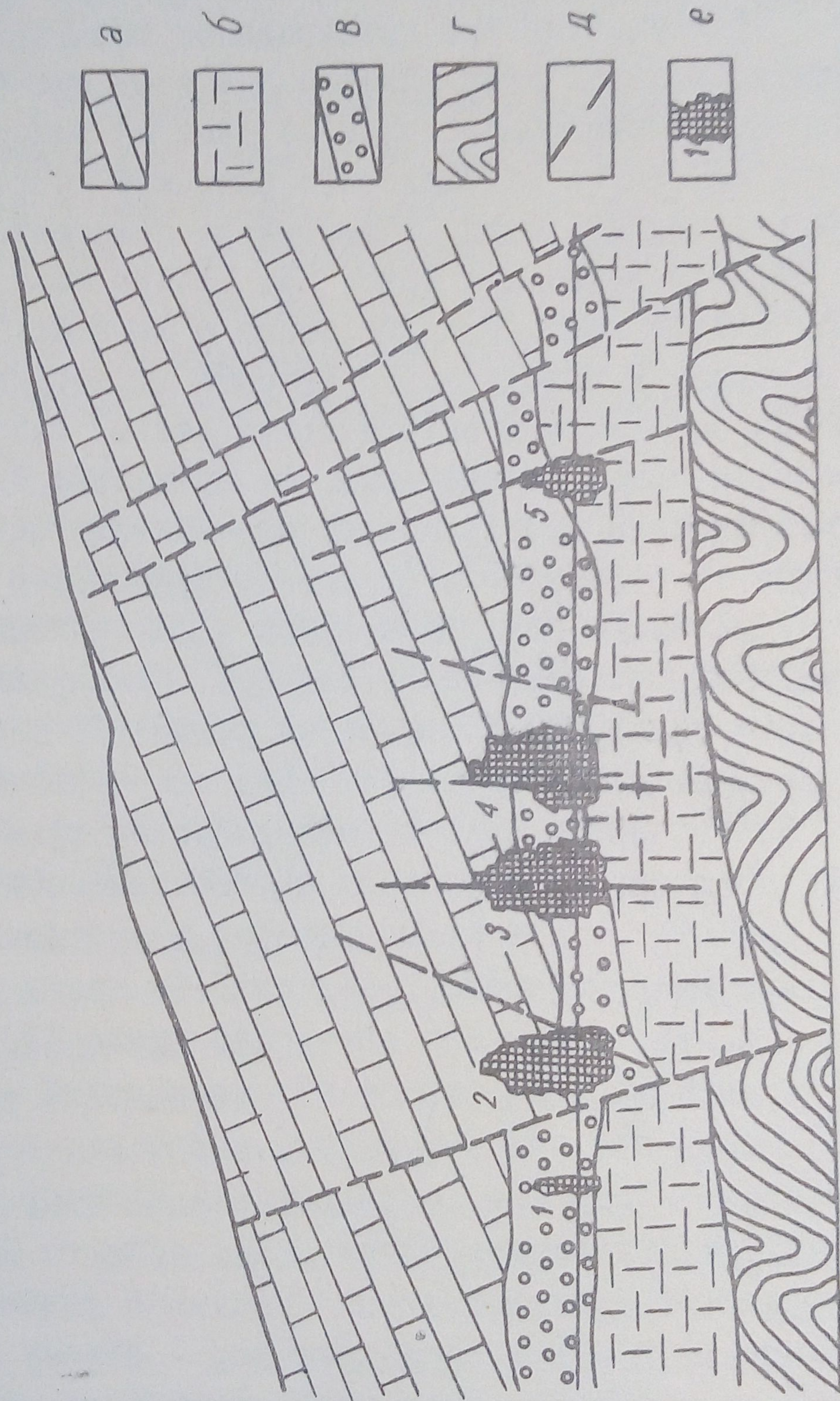


Рис. 5. Схематический гидрогеологический разрез по трассе Ялтинского гидротоннеля на 6 участке: а - слоистые карбонатные породы нижнего кимерида и секвана; б - не-слоистые известняки аргония; в - верхневюрские конгломераты; г - средневюрская пес-чано-глинистая толща; д - разрывные нарушения; е - обводненный участок внутри мас-сива, вскрытый тоннелем, и его номер



в другом -  $250 \text{ м}^3/\text{час}$  и напором 3-4 атм, однако расходы из этих водопроявлений уменьшились до  $13 \text{ м}^3/\text{час}$  в течение 30 суток в первом случае и до  $16.7 \text{ м}^3/\text{час}$  за 14 суток во втором случае с полным снятием напоров. Малые напоры других водопроявлений на этом участке при дренировании снимались в течение 2-3 суток. Воды на этом участке обладают сульфатно-гидрокарбонатным натриевым составом со средней минерализацией  $0.5 \text{ г/литр}$ . Максимумы водопритоків отвечают проходке обводненных систем трещин, между которыми располагаются совершенно сухие отрезки выработки (рис. 5). Полную изолированность обводненных участков характеризуют также и подземные наблюдения. После проходки II обводненного отрезка выработки (рис. 5) на три четверти его длины и спуска почти всего, содержащегося в трещиноватой зоне, объема воды, за пределами тоннеля образовалось разряженное пространство, что вызвало сильное задувание воздуха из выработки в шпур, пробуренные в забое. Это явление наблюдалось несколько суток пока давление в тоннеле и в осушенных полостях не сравнялось. Суммарная длина обводненных интервалов вдоль выработки равна 320 м или 34% от протяженности всего 6-го участка. При направлении выработки под углом  $53^\circ$  к простиранию основных систем трещин - истинная ширина всех отрезков тоннеля с водопроявлениями составляет  $320 \times \sin 53^\circ = 256 \text{ м}$ . Водоприток в выработку почти полностью прекратился к апрелю 1964 года. За время дренирования (около 2-х лет) в тоннель поступило около 350 тысяч  $\text{м}^3$  воды. При высоте водного столба над выработкой - 75 м (максимальный напор составлял 7.5 атм) и среднем коэффициенте трещиноватости - 1.3% (по документации) площадь фильтрующих трещинно-полостных систем равна:  $252 \text{ м} \times 75 \text{ м} \times 0.013 = 245 \text{ м}^2$ . Принимая коэффициент трещиноватости численно равным коэффициенту пустотности, а объем спущенных вод - объему полостей, которые содержали эту воду, вычисляем длину 6-го участка:  $350\ 000 \text{ м}^3 : 245 \text{ м}^2 = 1428 \text{ м}$ .

7. В слоистых известняках на глубинах 670-910 м трещинные воды были встречены в зонах двух сбросов, расположенных в 80-100 м друг от друга. Суммарный расход здесь после проходки составлял  $85 \text{ м}^3/\text{час}$ . Для отдельных водопроявлений ха-



рактарны временные напоры (до 3-4 атм), которые были сняты в процессе дренирования за несколько суток. По химическому составу воды этого участка относятся, также как и на 5-ом участке, к гидрокарбонатно-сульфатным натриевым со средней минерализацией 0.8 г/л.

8. В массивных известняках, слагающих северо-западное крыло малоамплитудного сброса, на глубинах 660-910 м. При вскрытии крупных трещин здесь наблюдался напор достигающий 6-7 атм. Дебит отдельных сосредоточенных водопритоков достигал  $36 \text{ м}^3/\text{час}$ . В процессе дренирования происходило полное снятие напоров и падение расходов. Воды на этом участке обладают сульфатно-натриевым составом со средней минерализацией 2.1 г/литр.

9. В массивных известняках, слагающих опущенный сильно трещиноватый блок, на глубинах 650-550 м. Воды на этом участке обладают сульфатным натриево-магниевым-кальциевым составом с минерализацией 1.4 г/литр. При удалении от плоскости разломов в условиях застойного режима происходит локальный переход вод 8 и 9 участков в гидрокарбонатно-хлоридные воды с минерализацией 5.3 г/литр. Суммарный водоприток с 8 и 9 участков составлял  $108 \text{ м}^3/\text{час}$ .

10. В известняково-глыбовых навалах и в дробленых перемятых, подстилающих навалы, среднеюрских породах отмечены воды, гидравлически связанные с подрусловыми водами рек южного склона. Они обладают гидрокарбонатным магниевым-кальциевым составом со средней минерализацией 0.3-0.4 г/литр, как и большинство источников южного склона в этом районе. Суммарное поступление воды в выработку на 10-ом участке составляло  $21.6 \text{ м}^3/\text{час}$ .

#### Температура подземных вод

Изменения температур подземных вод вдоль выработки тоннеля прослеживаются как внутри отдельных обводненных участков, так и от участка к участку. Возле сместителей там, где происходит более активное движение воды, наблюдаются температурные минимумы, с удалением от сместителей температура по-



вызается. Сопоставляя результаты замеров температур 202 водопроявлений в пределах карбонатной толщи на разной глубине от поверхности (рис. 6), можно сделать следующие выводы:

а) Для каждого участка с водопроявлениями в карбонатной толще характерен свой температурный режим.

б) Амплитуды колебаний температуры в пределах участков достигают  $2.5^{\circ}\text{C}$ , что связано с глубиной выработки и близостью отдельных водопроявлений к зонам нарушений.

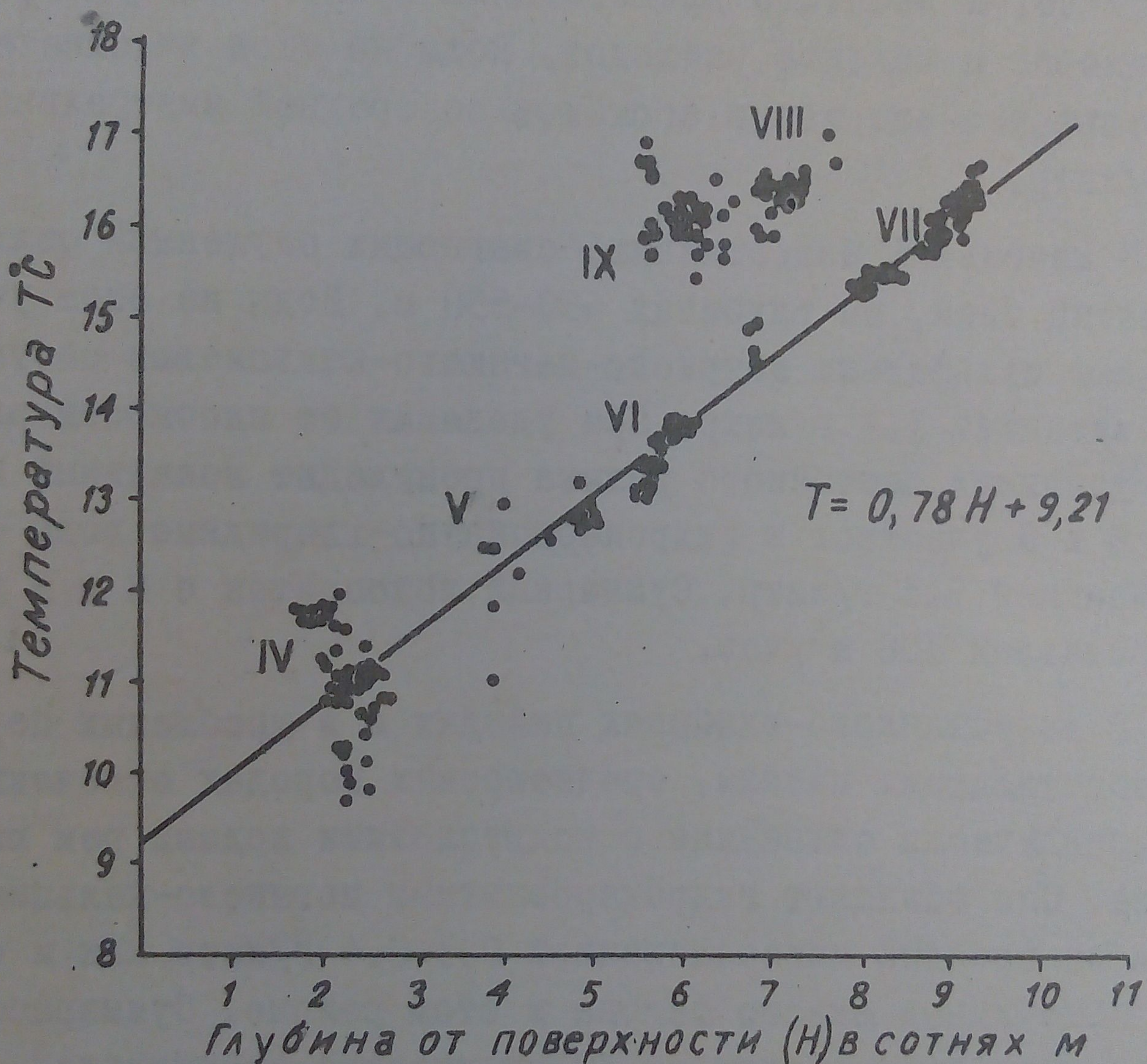


Рис. 6. Зависимость температуры подземных вод от глубины заложения выработки Ялтинского гидротоннеля

в) Для 4,5,6 и 7 участков в пределах карбонатной толщи намечается четкая линейная зависимость (рис.6) между температурой воды (Т, в градусах С) и глубиной от поверхности (Н, в сотнях метров), выражаемая уравнением:

$$T = 0.78 H + 9.21.$$



Гидротермический градиент для этих зон равен  $0.78^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$ .

г) Воды 8 и 9 участков имеют среднюю минерализацию 1.4 и 2.1 г/литр при сульфатном натриево-магниевом-кальциевом и сульфатном натриевом составе, образование которых сопровождается экзотермическими реакциями. Увеличение минерализации до 2.1 г/литр должно сопровождаться увеличением температуры на  $2.5^{\circ}\text{C}$  по сравнению с обычной для данных глубин (Дуров, 1959), что и наблюдается для 9-го участка по сравнению с 6-ым (для максимумов точек), хотя глубина заложения обеих зон одинакова. Для 8-го участка увеличение температуры за счет экзотермических реакций составляет приблизительно  $1.5^{\circ}\text{C}$ .

Изменение температуры подземных вод с глубиной для Ялтинского массива связано, таким образом, как с экзотермическими реакциями, так и с геотермическим градиентом. Его величина для Горного Крыма предположительно была установлена равной  $2.5-3^{\circ}\text{C}$  (Лебедев и др., 1967).

### Разгрузка подземных вод

Разгрузка подземных вод из карбонатной толщи в пределах Ялтинского массива осуществляется выходами источников и высачиванием в склоновые отложения. При работах на поверхности все исследованные источники в зоне тоннеля были отнесены к следующим пяти типам:

I. Источники в аллювиальных отложениях вдоль рек отличаются малыми дебитами с расходами в межень до 0.5 л/сек. Для них характерны коэффициенты изменчивости 3-5. Воды их гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией до 0.7 г/литр.

II. Источники делювиальных отложений и глыбовых навалов обычно связаны с поверхностными водосборами в пределах распространения среднеюрских пород, покрытых делювиальными и иногда пролювиальными отложениями. Отдельные из них дренируют трещинные воды карбонатных блоков. Химический состав, температура, абсолютные отметки этих источников изменяются в



широких пределах, что зависит от положения контакта рыхлых накоплений с коренными породами. Температура вод источников изменяется от 8 до 14.8<sup>0</sup>С, дебиты в межень - от 3.2 л/сек до слабого высачивания. Коэффициенты изменчивости не превышают 5-10. По химическому составу воды источников относятся к гидрокарбонатным магниево-кальциевым и частично к гидрокарбонатным кальциевым. Минерализация их колеблется в пределах 0.3-0.5 г/литр.

Ш. Источники контактовые с выходом вод на контакте средне- и верхнеюрских отложений. Дебиты их в межень составляют от 0.2 до 1.5 л/сек при гидрокарбонатном кальциевом составе. Небольшое увеличение содержания ионов  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$  связано с влиянием среднеюрских песчано-глинистых пород. Минерализация вод этих источников не превышает 0.5 г/литр.

IV. Источники зон тектонических нарушений отличаются наиболее крупными дебитами. Располагаясь в глубоких эрозионных врезках, заложенных в верхнеюрских породах и вскрывающих обводненные зоны крупных тектонических нарушений, они питают поверхностный сток верховьев р. Бельбек. В их числе находятся группы источников Бюк-Узеньбаш и Карстовый (рис. 1). Дебиты их весьма непостоянны, четко связаны с режимом атмосферных осадков и температурами воздуха и меняются от 30-40 л/сек в межень до 1500 л/сек в паводок. Коэффициенты изменчивости этих источников превышают 40-50. По химическому составу воды их относятся к гидрокарбонатному кальциевому типу. Минерализация их 0.3 - 0.5 г/литр. Источники группы "Карстовый" и группы Бюк-Узеньбаш, как доказано индикаторными опытами, дренируют воды, циркулирующие в гидравлически не связанных между собой, очень протяженных трещиноватых зонах.

У. Источники трещинно-пластовых карстовых вод отличаются пересыханием в межень или малодобитностью (до 3.0 л/сек) и увеличением расходов в паводок в несколько раз. Коэффициент изменчивости для них около 10. По-видимому, отдельные источники этого типа связаны с разными нарушениями, хотя циркуляция вод, дренируемых ими, происходит, в основном, по трещинам, развитым по напластованию. Поэтому, если русла по-



токов секут породы по падению, выходы вод приурочены к днищам тальвегов, если по простиранию - источники выходят в бортах эрозионных врезов. По химическому составу их воды относятся к гидрокарбонатным кальциевым и, частично, к гидрокарбонатным магниевым-кальциевым с минерализацией от 0.2 до 0.5 г/литр. Температура вод 5-11°C со снижением при более высоких отметках источников.

Рассмотренные типы источников относятся к нисходящим. Для источников Биюк-Узеньбаш и "Карстовый" в паводки отмечены периодические сифонные напоры, не превышающие 2-х метров.

#### Гидрохимическая зональность трещинно-карстовых вод

Наиболее обширный материал о гидрохимической зональности подземных вод в Горном Крыму получен для Ялтинского карбонатного массива при производстве работ в связи со строительством тоннеля. (Шутов, 1966).

Формирование химического состава подземных вод происходит в процессе их перемещения от области питания к пунктам разгрузки в пределах гидрохимических зон. В общем ходе метатенеза химического состава подземных вод участвуют: атмосферные осадки (О), конденсационные воды нулевой минерализации (К), инфильтрационные воды (И), инфлюационные (Ин), воды ванночек и непроточных озер (В), пещерных льдов и снега (Л), изолированных подземных водотоков (Вод), изолированных трещинных систем (Тр), родников (Р) и зон затрудненного водообмена (З). Находясь на разных стадиях метатенеза (рис.7 А) и занимая разное положение в разрезе закарстованных массивов (рис.7 Б), они имеют различный вес в водном и гидрохимическом балансе (табл.1). Средние данные о химическом составе разнотипных природных вод и указанные в первом разделе величины питания их были использованы при составлении этой таблицы. При расчете количества ионов, поступивших или вынесенных с 1 км<sup>2</sup> площади развития карбонатных пород (М), доля осадков, приходящихся на данный вид питания, умножалась на сумму ионов ( $\Sigma и$ ), уменьшенную на половину содержания иона  $НСО_3$ , согласно уравнению реакции растворения известняков.



Таблица I

Суммарное количество минеральных солей,  
 поступивших (-) или вынесенных (+) с I км<sup>2</sup>

Тип вод	Обозна- чение на рис.7	Кол. проб	Ионный состав, мг/литр				Σ и			
			HCO <sub>3</sub>	Cl	SO <sub>4</sub>	Ca	Mg	Na+K	МТ/ЛИТР	В Т/ГОД С I км <sup>2</sup>
атмосферные осадки	0	55	22.6	4.9	3.7	5.8	0.51	5.9	44.7	-45.6
инфильтрационные	И	41	156.0	13.0	14.6	47.0	2.8	14.8	244.9	
инфлюационные	Ин	17	175.0	7.5	10.6	54.6	2.7	8.7	258.0	-4.3
ванючки и озера	В	36	183.0	9.3	13.3	51.6	3.7	15.2	290.3	
пещерные льды и снега	Л	23	84.4	14.0	4.1	18.5	2.3	17.3	149.0	
изолированные водотоки	Вод	81	221.0	12.4	10.7	67.6	3.2	10.8	325.7	
изолиров. трещин. системы	Тр	147	270.8	8.9	18.4	68.4	13.1	13.9	403.5	
родниковые воды	Р	427	273.4	12.5	19.8	70.8	11.9	18.2	416.0	+140.9
воды зон затрудненно-го водообмена	З <sup>1</sup> З <sup>2</sup> З <sup>3</sup>	15 10 17	275.4 230.4 238.6	20.3 12.8 50.4	323.2 776.2 1163.3	31.4 121.1 96.4	28.1 80.0 63.4	176.1 176.3 449.2	836.4 1396.9 2061.2	+0.12 +0.21 +0.33



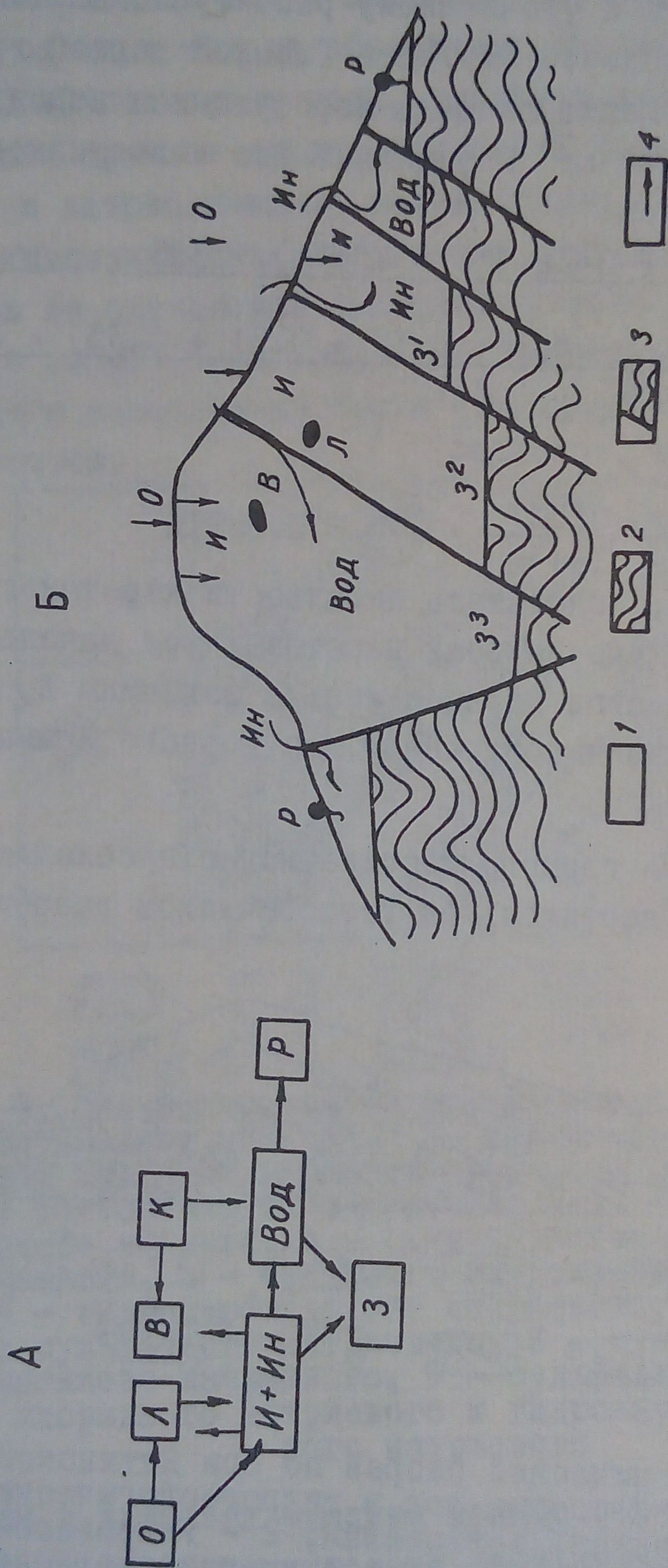


Рис. 7. А - ход метатенеза карстовых вод Горного Крыма. Б - распределение карстовых вод различного типа в горных массивах Крыма: 1 - верхнерские карбонатные породы; 2 - песчано-сланцевые породы средней вры; 3 - разрывные нарушения; 4 - направление движения вод. Обозначения О, Л, В, К, И, ИН, Вод, Р, З, Тр - см. в тексте и таблице I



Данные таблицы I дают представление о динамике выщелачивания и отложения карбоната кальция в зоне аэрации, а также позволяют перейти к уточненному расчету показателя активности карстового процесса (А). Для Главной горной гряды этот показатель, если принять площадь карстующихся пород равной 385 км<sup>2</sup>, их объем 144 км<sup>3</sup> и удельный вес известняков - 2.7 т/м<sup>3</sup>, будет равен:

$$V = \frac{(P - O - И_{н+3} + 3 + 3^3) \cdot 385}{2.7} \cdot 1000;$$

$$V = \frac{(140.9 - 45.6 - 4.3 + 0.12 + 0.21 + 0.33) \cdot 385}{2.7} \cdot 1000$$

или  $V = 0.01307$  км<sup>3</sup>, отсюда:

$$A = \frac{0.01307}{144} \cdot 100 = 0.0091\%$$

Таким образом, показатель активности карстового процесса, рассчитанный с учетом роли карстовых вод начальных стадий метазенеза, на один порядок меньше величины А, равной 0,08% за тысячелетие и полученной для Горного Крыма Н.В. Родионовым (1958).

Для Ялтинского горного массива можно проследить изменения химизма вод в вертикальном геологическом разрезе (рис.8).

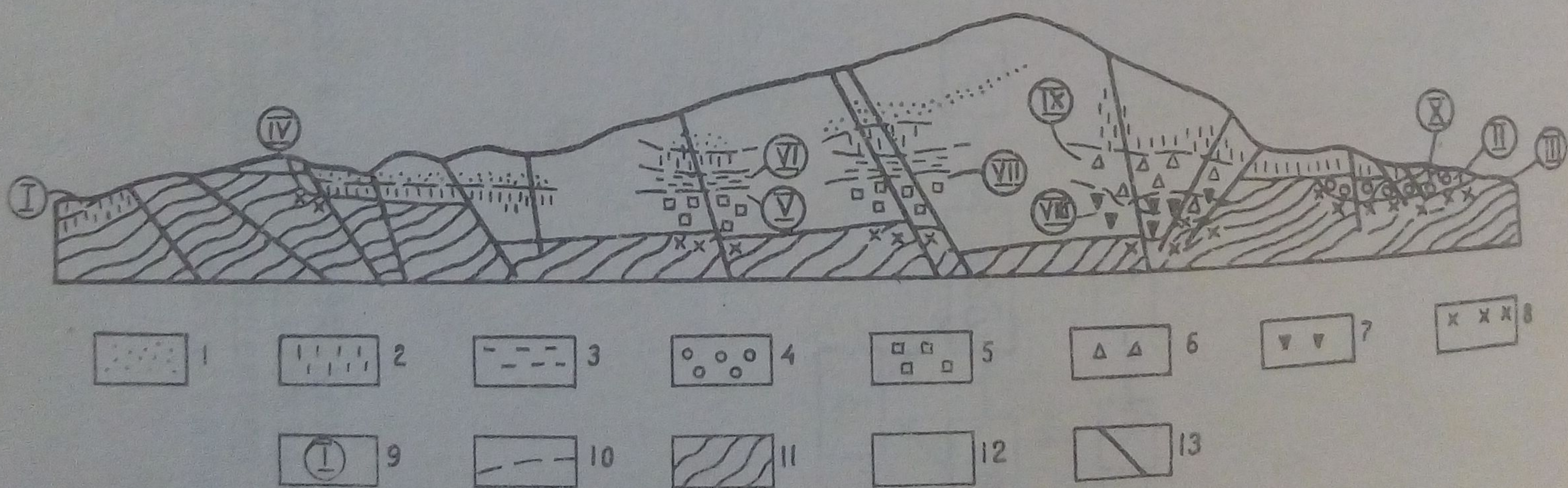


Рис. 8. Гидрохимический разрез по оси Ялтинского тоннеля. I-8 - химический состав вод в гидрогеологических зонах: I - гидрокарбонатный кальциевый; 2 - гидрокарбонатный натриево-кальциевый; 3 - сульфатно-гидрокарбонатный натриевый; 4 - гидрокарбонатный натриевый; 5 - гидрокарбонатно-сульфатный натриевый; 6 - сульфатный кальциевый-натриево-натриевый; 7-сульф.натриевый; 8-хлоридный натриевый и гидрокарбонатно-хлоридный натриевый; 9-номера гидрогеологических участков; 10-границы между зонами; 11-песчаносланцевые породы средней юры; 12-карбонатные породы верхней юры; 13- тектонические нарушения.



Данные подземных и поверхностных исследований позволили установить наличие вертикальной гидрохимической зональности трещинно-карстовых вод в пределах карбонатной толщи. В то же время на одних и тех же абсолютных отметках (на глубинах свыше 700 м) подземные воды, двигаясь вдоль зон нарушений, изолированы друг от друга. Так как в разных зонах условия водообмена и литологический состав пород значительно различаются, то идентичность химического состава вод даже в соседних зонах на одинаковых отметках почти не наблюдается (рис.9). Однако, в верхах геологического разреза воды при разной минерализации повсеместно имеют гидрокарбонатный магниево-кальциевый состав.

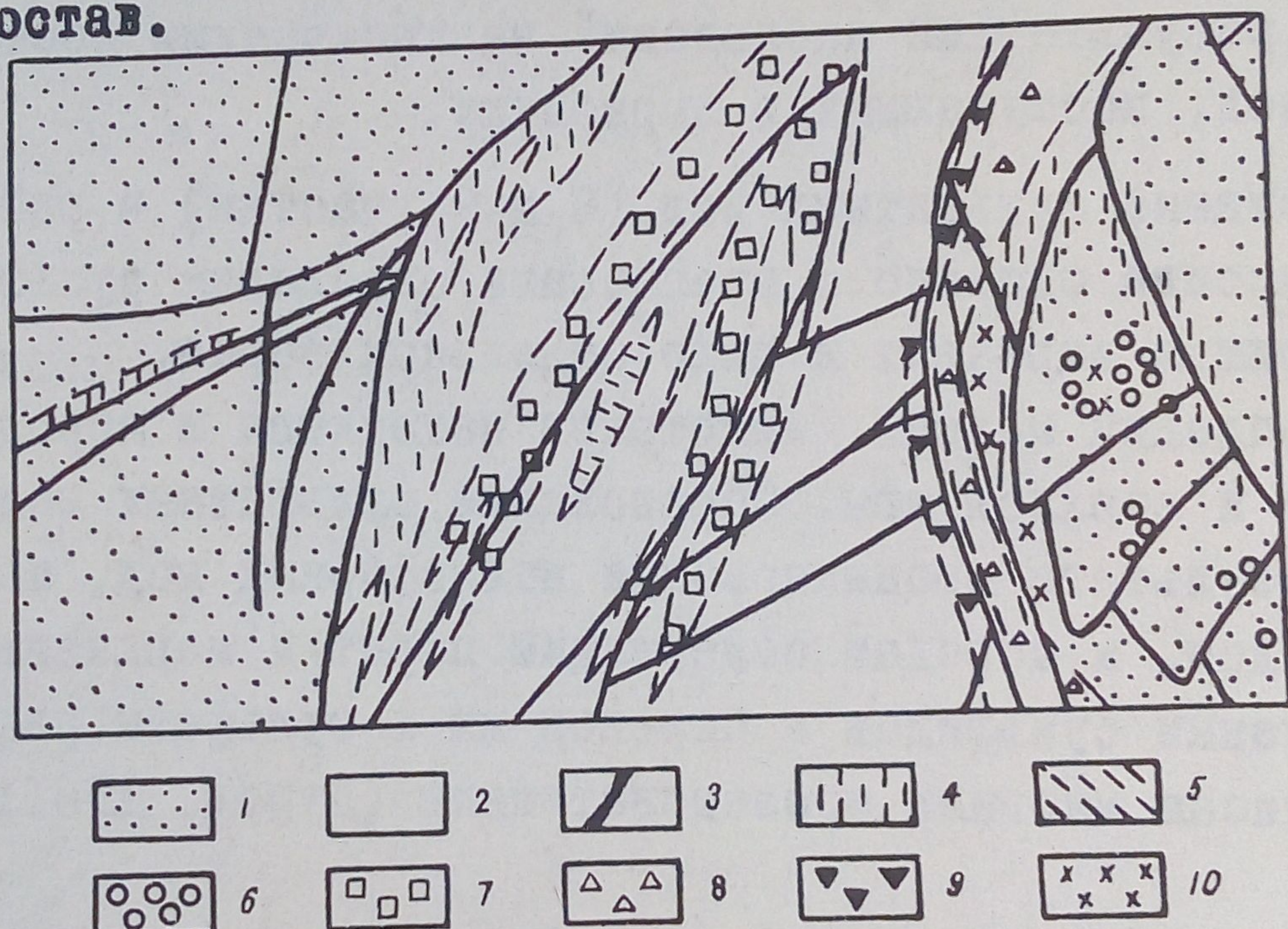


Рис. 9. Схематическая гидрохимическая карта - срез по оси Ялтинского тоннеля. 1 - песчано-сланцевые породы средней юры, 2 - карбонатные породы верхней юры, 3 - линии тектонических нарушений, 4-10 - воды разного химического состава: 4 - гидрокарбонатного магниево-кальциевого, 5 - сульфатно-гидрокарбонатного натриевого, 6 - гидрокарбонатного натриевого, 7 - гидрокарбонатно-сульфатного натриевого, 8 - сульфатного кальциево-магниево-натриевого, 9 - сульфатного натриевого, 10 - хлоридного натриевого и гидрокарбонатно-хлоридного натриевого

Воды в глубинах массива меняют состав при перемещении сверху вниз от пресных в зоне свободного водообмена до минерализованных в зонах затрудненного водообмена. На рисунке 8 показана гидрохимическая зональность до проходки тоннеля. В настоящее время, когда тоннель сдренировал значительные за-



пасы вод из зон затрудненного водообмена, общая картина этой зональности изменилась в сторону опреснения самых нижних горизонтов подземных вод.

Выявленные особенности не противоречат общим положениям о наличии вертикальной гидрохимической зональности в любом регионе СССР (Зайцев, 1960) и позволяют изменить сложившееся мнение о трещинно-карстовых водах Горного Крыма как о водах с монотонным химическим составом, не изменяющимся во времени и пространстве.

Изменение гидрохимической обстановки после длительного дренирования трещинных и трещинно-карстовых вод хорошо иллюстрируется результатами наблюдений за химическим составом подземных вод, поступающих в выработку.

Образование сульфатных вод (8 и 9 участки) в районе Ялтинского массива связано с процессами окисления сульфидов железа. Пирит и марказит в виде отдельных зерен, конкреций или скоплений мелких кристаллов находится в породах как средней так и верхней юры. Образование сульфатных вод происходило в результате проникновения атмосферных вод, насыщенных кислородом, к породам содержащим пирит и марказит. Процессы окисления сульфидов и перевод их в сульфаты раствора подробно описаны многими исследователями (Дуров, 1961; Смирнов, 1955).

Сульфатные воды тоннеля обнаруживают высокую биологическую активность и до настоящего времени используются для бутылочного разлива в качестве столовой минеральной воды.

После проходки тоннеля, при дренировании сульфатных вод, на стенках выработки наблюдалась садка кристаллов водного сульфата мирабилита, который при кратковременном соприкосновении с воздухом вне выработки переходил в порошкообразный тенардит. Местами, у выходов сульфатных вод появляются окислы железа в виде краснобурых натеков на стенках. Это объясняется тем, что образующийся закисный сульфат железа в растворах невысокой кислотности и при наличии свободного кислорода оказывается неустойчивым и переходит в окисный сульфат.



Последний, в свою очередь, в нейтральных или слабокислых растворах гидролизуеться, в конечном итоге, в гидроксид железа и серную кислоту (Смирнов, 1955).

При длительном дренировании вод на различных участках происходило их опреснение с изменением химического состава. Это связано со сработкой запасов минерализованных вод, заполняющих изолированные системы трещин, и подтоком более пресных вод из верхних зон. Для 9 участка, воды которого имели сульфатный кальциево-магниевый-натриевый состав, прослежено резкое изменение химического состава и минерализации наиболее крупных водопроявлений (табл. 2).

Таблица 2

Средний химический состав вод 9 участка за период 1962 - 1966 гг.

Год	Средний ионный состав, мг/литр						
	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Na+K	Ca	Mg	сумма ионов
1962	16.1	997.9	253.3	251.6	136.3	85.5	1734.7
1963	12.0	385.0	247.3	113.0	71.3	49.3	892.5
1966	11.0	185.7	302.3	112.0	37.0	29.2	677.2
Разность между 1962 и 1966 гг.	+5.1	+812.2	-67.0	+139.6	+99.3	+56.3	+1057.5
тоже в %	+22	+81	-28	+55	+73	+66	+61

Ялтинская комплексная гидрогеологическая и инженерно-геологическая партия с октября 1964 года ведет наблюдения за режимом и составом минерализованных вод, выходящих в Ялтинский тоннель и сливающихся в каптажную трубу, где смешиваются воды из 5-ти скважин, дренирующих сульфатные натриевые воды (8 участок). При сравнении режимов этих и карстовых вод из зоны свободного водообмена отмечается запаздывание максимумов расходов сульфатных вод в среднем на 2.5 месяца. Фактически - это время движения воды от области питания к ис-



искусственной дрены (тоннель), так как добегание поглотившихся осадков в зоне активного водообмена в паводок составляет не более 3-4 суток. Сопоставление этих величин показывает незначительную скорость движения трещинных вод в зоне замедленного водообмена даже при искусственной дрене. Скорость добегания в этих условиях равна 4 м/час, т.е. в 7-23 раза меньше, чем для вод зоны активного водообмена в этом районе.

С 1963 года минерализация сульфатных натриевых вод (8 участок) снизилась в два раза (таблица 3), одновременно возросло процентное содержание в воде ионов кальция, магния и бикарбонатов, что свидетельствует об увеличивающемся разбавлении. С конца 1966 г. наблюдается некоторая стабилизация этого процесса, выражающаяся в замедлении общего снижения минерализации. Колебания содержания отдельных компонентов связаны с колебаниями расходов. Это явление, по-видимому, вызвано установлением относительного равновесия между количествами поступающей в трещинные полости пресной воды и процессами окисления, определяющими поступление в подземные воды сульфатов натрия. Обратная зависимость минерализации от рас-

Таблица 3

Средний химический состав вод 8 участка за 1963 - 1967 гг.

Годы	Средний ионный состав в мг/литр и %-экв							сумма ионов
	Cl	SO <sub>4</sub>	HCO <sub>3</sub>	Na	Ca	Mg		
1963	37.4 3	1287.4 84	244.2 13	489.2 67	105.3 16	64.0 17	2228 100	
1964	31.7 3	1105.2 83	246.2 14	426.4 66	94.1 17	57.8 17	1961 100	
1965	29.6 4	895.4 79	256.0 17	356.3 65	80.0 17	51.3 18	1670 100	
1966	19.1 3	692.1 76	247.1 21	258.5 59	74.5 20	49.4 21	1341 100	
1967	17.9 3	529.0 70	258.7 27	209.3 57	65.4 21	41.8 22	1121.0 100	



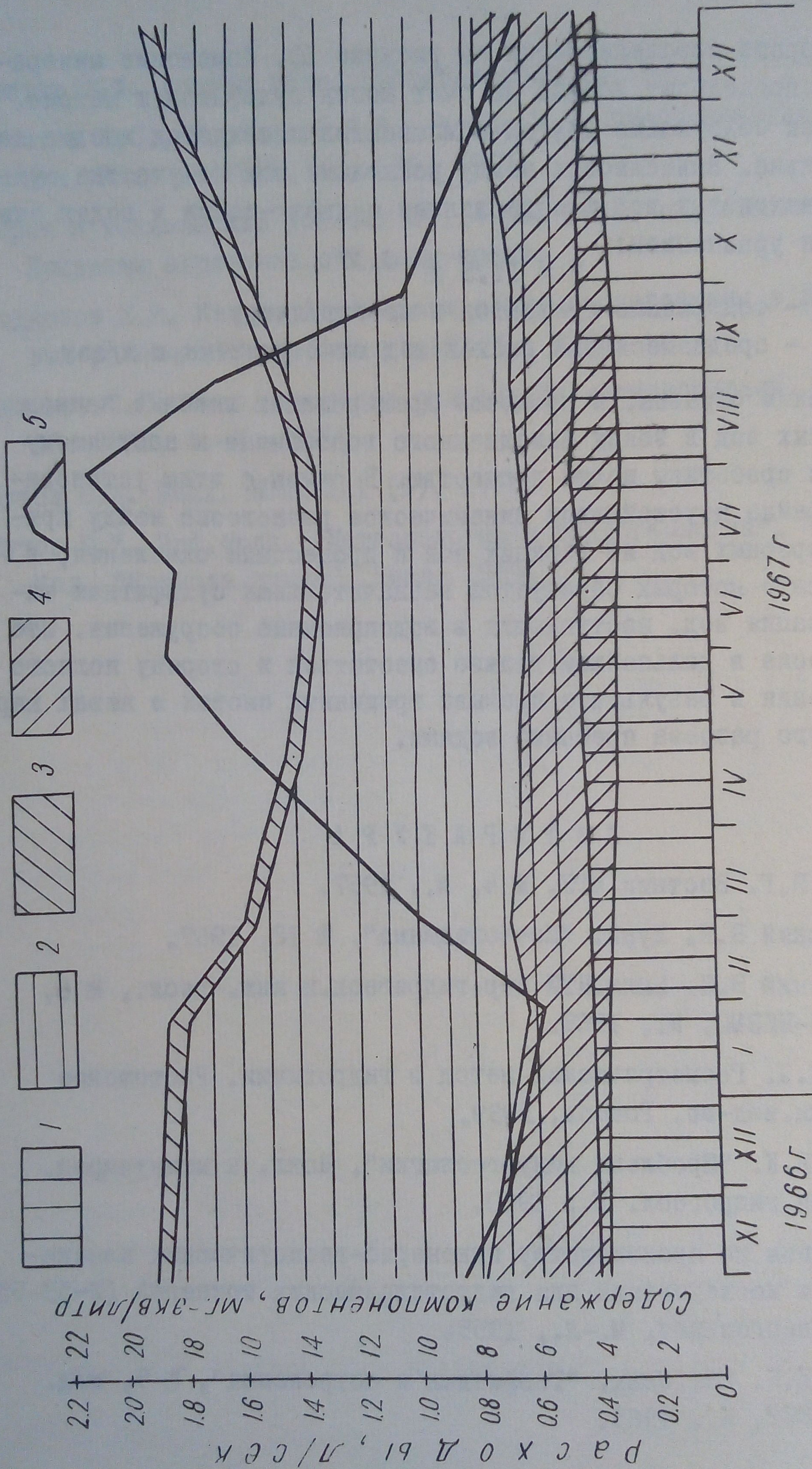


Рис. 10. Среднемесячные расходы и химизм вод из каптажа в Ялтинском гидротоннеле.  
 I-4 - содержание в воде в мг-экв/литр: I-гидрокарбонат-ионов, 2-сульфат-ионов, 3-ионов хлора, 4-ионов магния, 5-график колебаний среднемесячных расходов



ходов хорошо прослеживается на рисунке 10. Изменение минерализации происходит только за счет ионов сульфатов и натрия, тогда как содержание других компонентов изменяется весьма незначительно. Зависимость между расходами вод на участке сульфатных натриевых вод и содержанием сульфат-ионов в водах описывается уравнением:

$$y = 11.5 x^{-0.37}$$

где:  $y$  - содержание сульфатов в мг-экв/литр,  
 $x$  - среднемесячный расход вод на 8 участке в л/сек.

Таким образом, в процессе дренирования вековые запасы подземных вод в зонах замедленного водообмена к настоящему времени сработаны почти полностью. В связи с этим установилось крайне неустойчивое динамическое равновесие между притоком пресных вод из верхних зон и процессами окисления, в результате которых образуется незначительная сульфатная минерализация вод, поступающих в водоприемные сооружения. Это равновесие в дальнейшем должно сместиться в сторону полного опреснения в результате промыва трещинных систем в низах карбонатного разреза пресными водами.

#### Л И Т Е Р А Т У Р А

Глухов И.Г. Вестник МГУ, № 4, М., 1957.

Дублянский В.Н. Журн. "Почвоведение", № 12, 1967.

Дублянский В.Н. Бюлл.НТИ сер. гидрогеол.и инж.-геол., № 6, ОНТИ-ВИЭМС, М., 1969.

Дуров С.А. Геометрический метод в гидрохимии. Ростовское книжн.изд-во. Ростов, 1959.

Зайцев И.К. "Проблемы гидрогеологии", Докл. к международ. ассоц. гидрогеол. М., 1960.

Инструкция по производству инженерно-геологических изысканий и исследований для гидротехнических тоннелей (И-33-53). Госэнергоиздат, М.-Л., 1955.

Иванов Б.Н. Инф.бюлл. "Геофизика и астрономия", № 5, изд. АН УССР, К., 1963.



Лаптев Ф.Ф. Анализ воды. Госгеолтехиздат, 1955.

Лебедев Т.С., Гордиенко В.В., Кутас Р.И. Геофизический сборник. Изд. АН УССР, вып. 20, 1967.

Нормы и технические условия Н-114-54. Бетон гидротехнический. Признаки агрессивности воды-среды.

Родионов Н.В. Инженерно-геологические исследования в карстовых районах. Госгеолтехиздат, М., 1958.

Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. Изд. АН СССР, М.-Л., 1955.

Шутов Ю.И. Бюлл. МОИП ХLI (5), 1966.

Шутов Ю.И. Инф.бюлл. "Метеорология и гидрогеология", № 12, Изд. "Наукова думка", Киев, 1967.