

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 551.248.2(470.3)

НЕОТЕКТОНИЧЕСКИЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ДИСЛОКАЦИИ РАВНИННОГО КРЫМА В СВЯЗИ С ПОИСКОМ И РАЗВЕДКОЙ ПРЕСНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

© 2018 г. В. М. Макеев^{1,*}, Н. В. Макарова^{2,**}, А. Л. Бенедик^{3,***}, И. В. Галицкая¹,
С. В. Козловский¹, Н. А. Гриднев³

¹Институт геоэкологии им. Е.М. Сергеева РАН, Уланский пер., д. 13, стр. 2, Москва, 101000 Россия

²Московский государственный университет, геологический факультет,
Ленинские горы, д. 1, Москва, ГСП-1, 119991 Россия

³ООО «ПК ГЕОСФЕРА», ул. Лесная, д. 1в, мкр. Житнево, г. Домодедово Московской обл., 142046 Россия

*E-mail: vmakeev@mail.ru

**E-mail: vladim-makarov@yandex.ru

***E-mail: geosfera2@mail.ru

Поступила в редакцию 14.07.2017 г.

После исправления 09.03.2018 г.

В статье характеризуются неотектонические и современные дислокации (структуры) равнинного Крыма, которые выражены конседиментационными и постседиментационными поднятиями и прогибами, линейными и изометричными формами. Неотектонические и современные структуры, непрерывно развивающиеся в платформенных условиях, представлены изгибными и разломными формами. Они являются вместилищами среднесарматско-понтических пресных и соленых подземных вод. От типа неотектонических структур и современных геодинамических условий зависят образование повышенных запасов пресных вод, глубина их нахождения и возможное повышение их солености в связи с водозабором. Согласно морским миоцен-плиоценовым отложениям и их деформациям, отчасти выраженным поднятиями и прогибами в четвертичном рельефе, впервые выполнено неотектоническое районирование северо-западной территории равнинного Крыма, которое позволяет наметить перспективные участки для поиска и разведки месторождений пресных подземных вод и предпринять меры для их планомерного сохранения и рационального использования.

Ключевые слова: синклинали, антиклинали, поднятия, прогибы, разломы, линеаменты, блоки, дискретно-иерархическая блочная модель, пресные воды, засоление вод, экологические проблемы

DOI: 10.1134/S0869780318050034

В современный период постоянно возрастающее техногенное воздействие на природную среду привело к обострению экологической ситуации, в том числе к значительному ухудшению качества поверхностных вод. В связи с этим существенно возросла роль подземных вод, как ценного полезного ископаемого, имеющего стратегическое значение для обеспечения экологической безопасности страны. Особую значимость приобрели проблемы поиска и разведки месторождений пресных подземных вод и обоснование рациональной эксплуатации водозаборов для предотвращения загрязнения этих вод.

В северо-западной части Крымского полуострова (Черноморский, Раздольненский и Красноперекопский районы) подземные воды среднесарматско-понтического водоносного комплекса в настоящее время являются основным источником водоснабжения населения пресными вода-

ми. Однако нерациональный водозабор в ряде районов привел к увеличению минерализации в ряду подземных вод эксплуатируемого водоносного комплекса вследствие подтягивания соленых вод из нижележащего водоносного горизонта и морских вод в прибрежной зоне. Особенно интенсивно повышение солености происходит при малой мощности горизонта пресных вод. В связи с этим особую актуальность приобретает проблема обоснования перспективных участков для организации водозаборов и разработка оптимального режима водоотбора.

В равнинном Крыму водоносный горизонт пресных вод приурочен к среднесарматско-понтическим известнякам, песчаным известнякам и песчаникам. Породы трещиноваты и часто закарстованы. Мощность этих отложений различная: она увеличивается с юга на север от 137 до 245 м [2]. Глубина залегания отложений в значительной

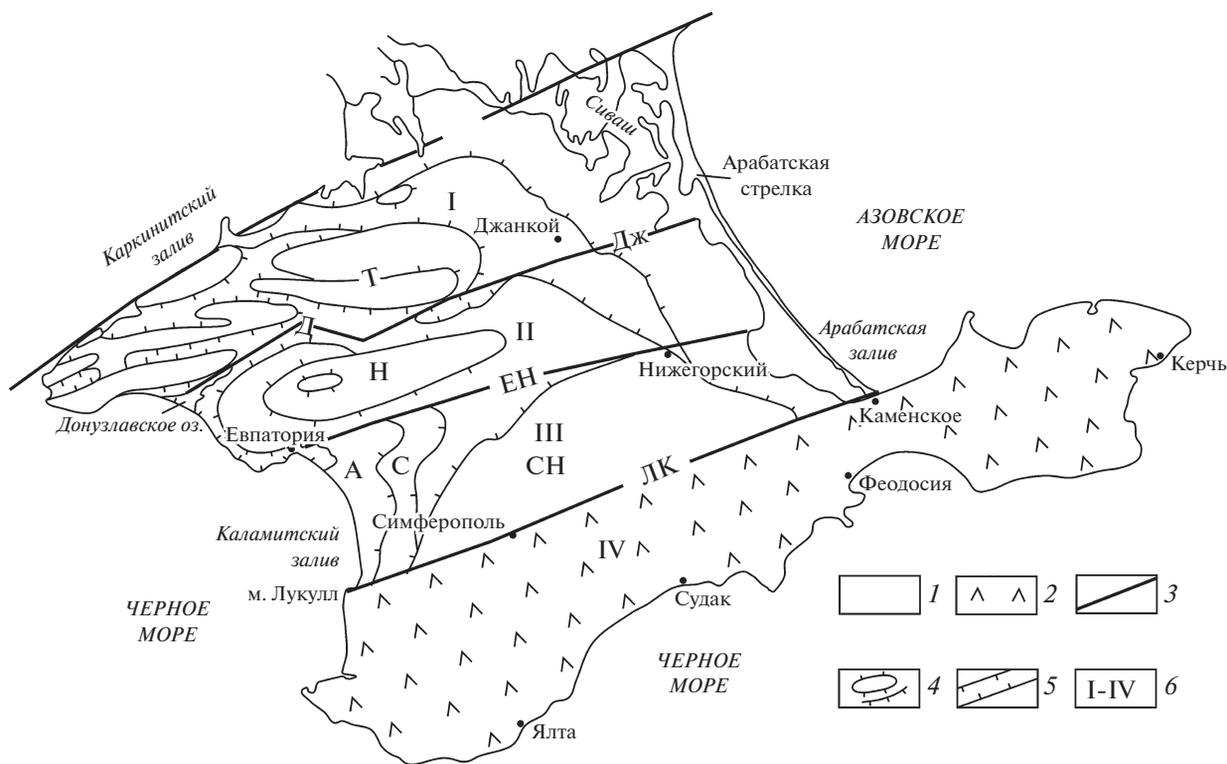


Рис. 1. Неотектоническое строение равнинного Крыма [7]: 1 – равнинный Крым; 2 – Горный Крым и Керченский полуостров; 3 – основные линеаменты; 4–5 – новейшие структуры: 4 – поднятия, 5 – прогибы; 6 – номера блоков. Линеаменты: КС – Каркинитско-Сивашский, Д – Донузлавский, Дж – Джанкойский, ЕН – Евпаторийско-Нижнегорский, ЛК – Лукулльско-Каменский. Поднятия: Т – Тарханкутское, Н – Новоселовское, С – Сакское, СН – Симферопольско-Новоцарицинское, А – Альминский прогиб.

степени зависит от направленности плиоцен-четвертичных движений: на поднятиях кровля понтических отложений поднята до абсолютных отметок 50–60 м, в прогибах опущена до уровня моря и глубже. Соответственно водоносный горизонт также деформирован. Но новейшие движения не были устойчивыми во времени и в пространстве: опускания неоднократно сменялись поднятиями с образованием конседиментационных и постседиментационных складок. Некоторые поднятия появились в рельефе еще в среднем и позднем миоцене. Современные движения, приведшие к континентальному режиму развития и формированию рельефа, приходятся на плиоцен-четвертичное время. Территория поныне находится под влиянием восходящих движений, вследствие чего активизируются различные экзогенные геологические процессы, особенно карстово-суффозионные, оползневые, эрозия временных потоков и др.

Общая неотектоническая структура Крымского полуострова представляется в виде четырех субширотных протяженных блоков или ступеней, в плане несколько сдвинутых относительно друг друга к востоку (рис. 1) [5, 7].

С севера на юг: Тарханкутско-Джанкойский (I), Новоселовский (II), Каламитско-Арабатский (III)

и Горнокрымский (IV) блоки. Они разделяются линеаментами, отражающими глубинные разломы, движение по которым, возможно, происходило и в новейшее время. Равнинный Крым расположен в пределах трех северных блоков. Для них характерно общее снижение поверхности (рельефа) с юга на север и с запада на восток. Северные части блоков опущены относительно южных, к ним приурочены вдающиеся в сушу заливы и озера. Восточные, наиболее низкие части блоков находятся в пределах западных замыканий Индоло-Кубанского и Сивашского прогибов, испытывающих опускание и в четвертичное время. Границей перегиба рельефа между поднятой западной частью равнинного Крыма и восточной частью относительно опущенной является меридиональный транзитный Центрально-Крымский линеамент, отражающий глубинный разлом, выраженный в рельефе Мохо [8]. На поверхности ему соответствует пологий водораздел, определяющий сток атмосферных вод к западу и востоку.

Существование широтных блоков подтверждается геологическими данными: приподнятым положением палеозойского основания, уменьшением мощности меловых и кайнозойских от-

ложений, в том числе четвертичных, по сравнению с относительно опущенными их частями и прилежащими прогибами.

Тарханкутско-Джанкойский блок (I) с севера ограничен Каркинитским заливом, наследующим одноименный грабен, отделяющий эпипалеозойскую Скифскую плиту, являющуюся основанием равнинного Крыма, от расположенной к северу Восточно-Европейской докембрийской платформы. Каркинитско-Сивашский линеамент (КС) отражает флексуру, по которой докембрийский фундамент погружается с севера на юг на глубину до 12 км. С юга блок ограничен Донузлавским (Д) на западе и Джанкойским (Дж) на востоке линеаментами, также соответствующими глубинным разломам [1]. Восточная часть блока снижается по пологим ступеням к востоку к Сивашскому прогибу.

Новоселовский блок (II) в плане смещен к востоку относительно северного. Северная пониженная его часть с Донузлавским озером согласуется с узким мезозойским грабеном, выполненным триасовыми и юрскими отложениями. В новейшее время по нему заложилась Донузлавско-Войковская синклиналь, разделяющая Новоселовское и Тарханкутское поднятия. Южная граница блока — Евпаторийско-Нижнегорский линеамент (ЕН), согласующийся с глубинной дислокацией, которая контролировала формирование платформенного чехла на всех этапах геологической истории [4]. Новоселовское поднятие является южноасимметричным, конседиментационно развивающимся с позднего мела. В рельефе проявилось в позднем миоцене. Отделяющая его от Тарханкутского поднятия синклиналь, к которой приурочен Донузлавский залив, постепенно выклинивается к востоку.

Залегание водоносных горизонтов во многом зависит от локальных структур, осложняющих протяженные блоки. Новейшая структура Тарханкутского и Новоселовского блоков представлена локальными поднятиями и прогибами. В Тарханкутском блоке повышенные западную и центральную части занимает новейшее одноименное поднятие (вал) (Т) или Тарханкутская зона дислокаций [2, 4]. Поднятие состоит из нескольких субширотных структурных зон, объединяющих многочисленные локальные поднятия и прогибы, являющиеся прямым отражением антиклинальных и синклинальных складок. Строение этих складок детально освещено в работах, связанных с разведкой месторождений нефти, газа и поисками пресной воды.

Формирование наиболее крупных складок началось в поздне меловое время. Большая их часть развивалась конседиментационно, и они асимметричны: южные крылья круче северных. Геодинамическая обстановка их формирования не-

однократно менялась, вследствие чего отмечаются смещения осей складок по разным горизонтам в основном к югу или северу и размывы. В рельефе складки появились в разное время, наиболее крупные — в среднем и позднем миоцене, менее крупные в эо- и неоплейстоцене. Стадийное развитие складок отражено в ступенчатом строении их крыльев-склонов.

Субширотные зоны поднятий и прогибов сочленяются кулисно. В Кельшейской меридиональной зоне происходит левосдвиговое смещение кулис. В целом особенности строения поднятий и прогибов, отражающих антиклинали и синклинали, их асимметрия, кулисное расположение предполагают развитие новейшей структуры в условиях субмеридионального сжатия при участии сдвиговых напряжений. Южноасимметричное строение блоков, сходно с общим куэстовым строением северного крыла Крымского мегантиклинория. Эта асимметрия определяет поведение подземных вод: их движение происходит преимущественно на север и юг по уклонам крыльев поднятий. Оси прогибов, наклонные с востока на запад, также способствуют потоку подземных вод в западном направлении.

Значительный интерес представляет исследование приуроченности пресных подземных вод к зонам активных разломов, по которым, как предполагается, осуществляется их транзит из предгорной и горной частей Крыма (рис. 2).

В основу этих исследований положена дискретно-иерархическая блочная модель, которая учитывает свойства иерархичности и самоподобия современной блочной системы земной коры как дискретной среды [1, 6]. Согласно модели каждый блок состоит из более мелких блоков, сам являясь частью более крупного блока. Длина блоков не произвольная, а формирует дискретный ряд. Длина блоков определяет их порядок. Границы между блоками — активные разломы, которые характеризуются как зоны разуплотнения массива горных пород.

Использование в модели прямолинейных элементов симметрии позволяет выделять современные тектонические блоки, соответствующие современному полю напряжений в массиве горных пород, а межблоковые промежутки определять как зоны активных разломов.

Сеть современных тектонических блоков и разделяющих их активных разломов обычно наследует ранее сформированные разрывные и пликативные структуры в плане со смещением и поворотом. Сети активных разломов выделены впервые для всей территории Крыма и для его северо-западной части в более крупном масштабе.

Достоверность и эффективность используемой модели подтверждена результатами инженерно-геологических изысканий и разведочных

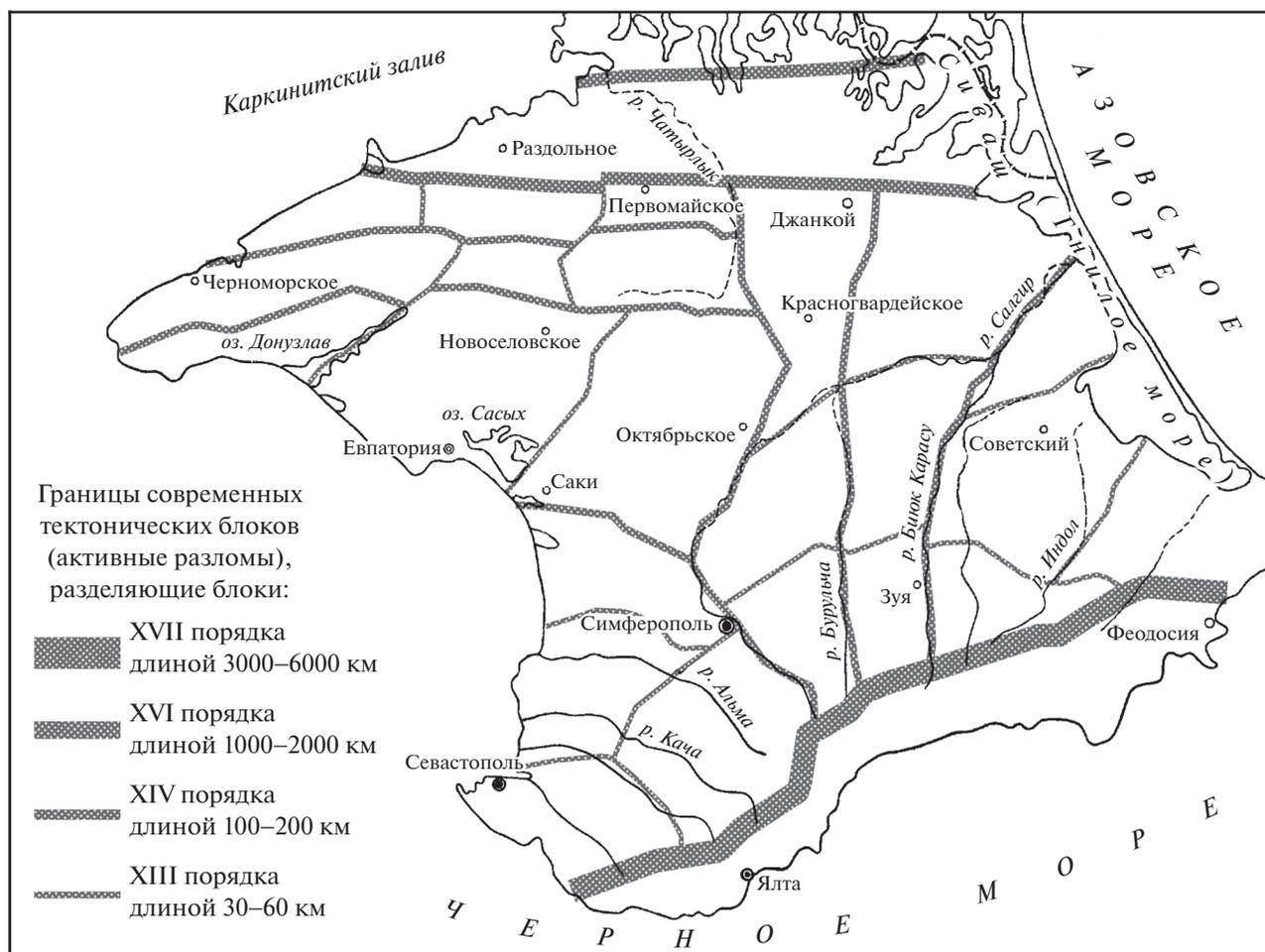


Рис. 2. Предварительная карта современных тектонических блоков и активных разломов полуострова Крым [1].

работ на разных объектах в течение тридцати лет. Модель рекомендована Госатомнадзором РФ для оценки сейсмической опасности ядерных объектов (РБ-019-01).

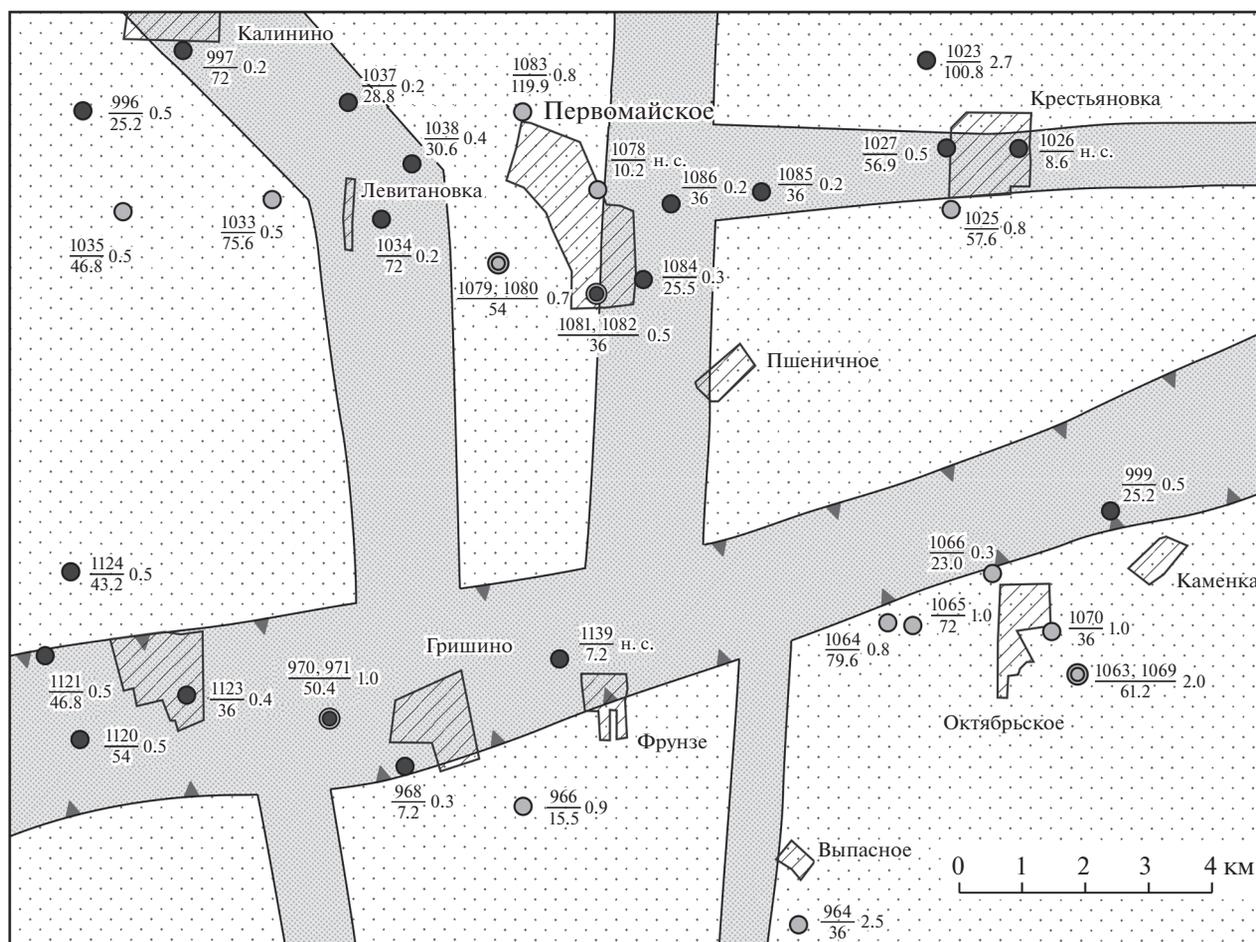
Сопоставление местоположения эксплуатационных на воду скважин в северо-западной части Крыма¹ с картой активных разломов этой территории позволяет сделать следующий вывод. Пресные подземные воды на фоне их пестрой минерализации [3] приурочены к зонам активных разломов.

В настоящей статье приведен более детальный фрагмент этой карты на участок пгт Первомайское (рис. 3). Дискретно-иерархическая блочная модель представлена иерархичной сетью современных тектонических блоков XIV и XII порядков, длиной соответственно 100–200 и 10–20 км. Блоки разделяют зоны активных разломов XIV и XII порядков.

¹ Подземные воды СССР. Т. 49. Обзор подземных вод Крымской области. Вып. 2. Буровые на воду скважины. М.: [б. и.], 1969.

Основной геолого-структурный элемент участка – субширотная зона активного разлома XIV порядка. Она разделяет два блока XIV порядка: южный и северный. Внутри каждого из этих блоков выделены современные тектонические блоки XII порядка, разделяемые зонами активных разломов этого порядка. Границы зон активных разломов на прилагаемой карте изображены в генерализованном виде. Границы блоков XIII порядка на участке отсутствуют.

Участок располагается на северном крыле субширотного Тарханкутского поднятия. Массив сложен известняками сарматско-понтического комплекса. Кровля известняков погружается с юга на север. Карбонатные породы перекрыты глинистой толщей нерасчлененного среднего – верхнего плиоцена и четвертичных отложений. Мощность глинистого экрана изменяется от 0.3 до 35 м. На участке распространены грунтовые трещинно-карстовые воды с минерализацией 0.4–2.8 г/дм³.



Условные обозначения

1. Зоны активных разломов:
 -  XIV порядка, разделяющие современные тектонические блоки длиной 100–200 км;
 -  XII порядка, разделяющие современные тектонические блоки длиной 10–20 км
 2. Современные тектонические блоки XII порядка
 3. Эксплуатационные на воду скважины (Подземные воды СССР. Обзор подземных вод Крымской области. Том II. Кн. 5. М. 1969) с минерализацией воды:
 - а – до 1.5 г/дм³, б – 1.6–3.0 г/дм³
- а) ● $\frac{997}{72}$ 0.2
- б) ● $\frac{1025}{57.6}$ 0.8
- Дробь у знака скважины: числитель – номер скважины, знаменатель – дебит, м³/ч, число у дробы – понижение уровня, м

Рис. 3. Схематическая карта зон активных разломов и минерализации подземных вод в известняках сарматско-понтического комплекса участка пгт Первомайское Красноперекопского района республики Крым.

Прилагаемая карта иллюстрирует явную приуроченность скважин с минерализацией подземных вод до 1.5 г/дм³ к выделенным зонам актив-

ных разломов XIV и XII порядков. Скважины с минерализацией вод 1.6–2.8 г/дм³ пробурены в пределах современных тектонических блоков

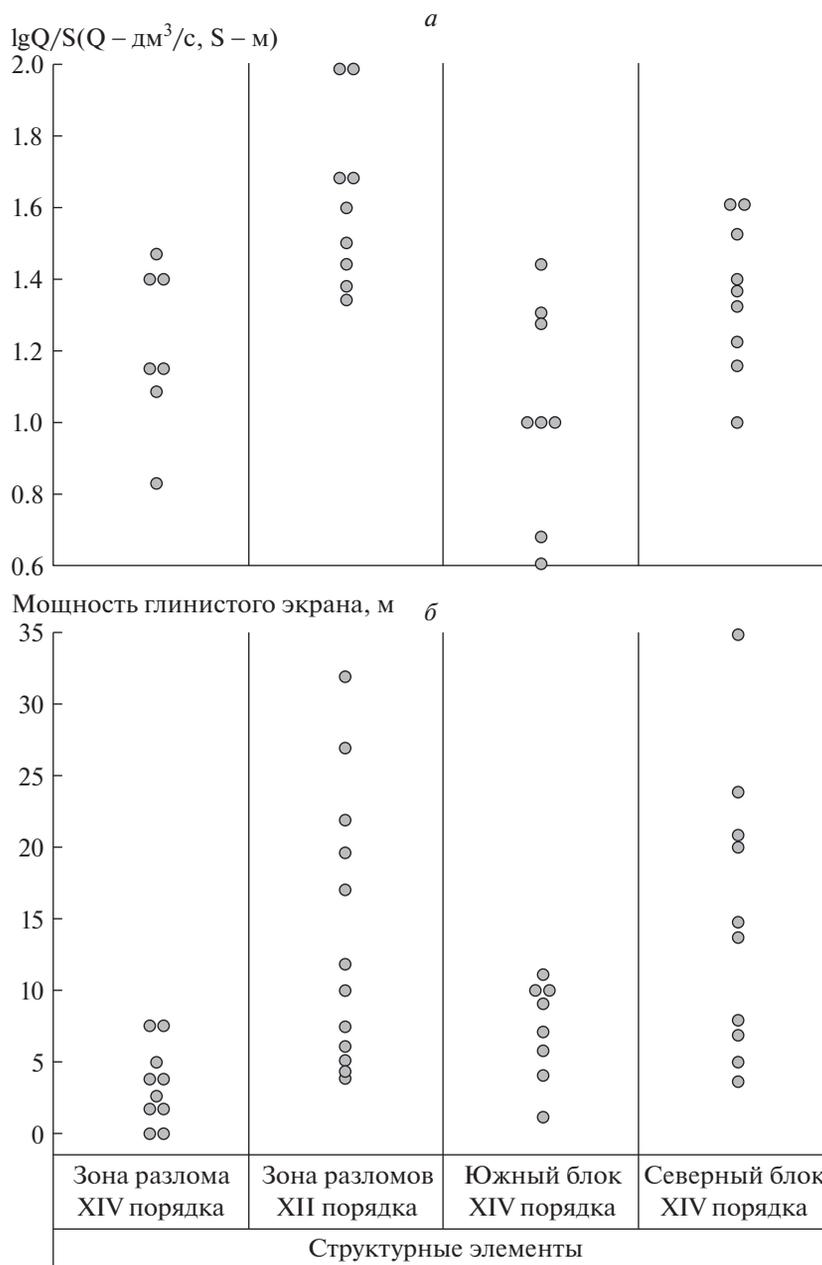


Рис. 4. Распределение частных значений по структурным элементам: *а* – логарифма отношения дебита скважин Q к понижению уровня S; *б* – мощности глинистого экрана, перекрывающего сарматско-понтические известняки.

XII порядка. Из 16 скважин в блоках исключение составляют три скважины (996, 1023 и 1124) с минерализацией подземных вод 0.92–1.10 г/дм³. Предварительный анализ определяет их местоположение в зонах более мелких разломов. Согласно карте основные ресурсы пресной воды сосредоточены в зонах активных разломов до XII порядка включительно.

Скважины, представленные на карте, пробурены в период 1950–1966 гг. Результаты опробования скважин и химических анализов воды даны

по результатам строительных откачек. Все скважины по состоянию на 01.08.1966 г. – действующие. Основная часть скважин использовалась для орошения.

На рис. 4 представлены графики рассеяния значений логарифма отношения дебита к понижению и мощности глинистого экрана, перекрывающего сарматско-понтические известняки с дневной поверхности. Сопоставляются зона разлома XIV порядка, зоны разломов XII порядка, южный блок XIV порядка и северный блок этого

порядка. Отношения дебита скважин к понижению уровня характеризуют проницаемость самой верхней толщи водоносных известняков из-за малой величины понижения уровня.

Графики рассеяния логарифма отношения дебита к понижению уровня позволяют отметить более высокие значения этого параметра для зоны разлома XIV порядка в сравнении с южным блоком XIV порядка и для зон разломов XII порядка в сравнении с северным блоком XIV порядка. При этом понижения уровня составили: для зоны разлома XIV порядка 0.3–1 м, для зон разломов XII порядка – 0.2–0.5 м, для южного и северного блоков XIV порядка – 0.5–2.7 м. Различия значений отношения дебита скважин к понижению уровня между зонами разломов и блоками на участке сглажены из-за благоприятных в целом тектонических и геологических условий для формирования экзогенной трещиноватости и карста, а также из-за незначительной величины понижений уровня.

Графики рассеяния мощности глинистого экрана, перекрывающего известняки, определяют увеличение с юга на север его мощности от 0.3–11 м в южном блоке и зоне разлома XIV порядков до 4–35 м в северном блоке XIV порядка и зонах разломов XII порядка. При этом в зоне разлома XIV порядка отмечается уменьшение мощности глин до 0.3–5 м в сравнении с мощностью 0.8–11 м в южном блоке этого порядка.

Следует отметить, что выделенные зоны активных разломов контролируют положение ложбин и балок в дневном рельефе. В свою очередь отрицательные формы рельефа концентрируют поверхностный сток атмосферных осадков и их инфильтрацию. Так скважина 1123, расположенная в зоне разлома XIV порядка, пробурена в балке глубиной до 40 м. Абсолютная отметка устья скважины – 10 м, водоносные известняки безнапорного комплекса вскрыты в интервале глубин 71–120 м. Дебит скважины 10 $\text{дм}^3/\text{с}$ (36 $\text{м}^3/\text{час}$) при понижении уровня 0.4 м. Минерализация воды – 0.37 $\text{г}/\text{дм}^3$. Можно предположить, что питание зон активных разломов пресными водами на северо-западе Крыма осуществляется не только инфильтрацией атмосферных осадков, но и транзитом по субширотным зонам разломов XIV порядка с востока. Сугубо ориентировочные расчеты определяют расход потока пресных подземных вод по зоне разлома XIV порядка ~20–30 тыс. $\text{м}^3/\text{сут}$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Интенсивное экономическое развитие равнинного Крыма невозможно без привлечения дополнительных ресурсов пресных подземных вод. Для выявления перспективных участков разработан концептуальный подход, согласно которому

эти участки могут находиться в зонах интенсивных современных деформаций. Нерациональная и неконтролируемая эксплуатация подземных вод приведет к деградации запасов, их быстрому засолению, потерям имеющихся водозаборов и экологическому бедствию. Для преодоления нежелательных проблем нужен государственный подход, направленный на сохранение и рациональное использование имеющихся пресных вод и на выявление их новых ресурсов.

Выявленная закономерность приуроченности пресных вод к зонам активных разломов в северо-западной части Крыма на данном этапе не гарантирует положительных результатов при эксплуатации водозаборов даже из одиночных скважин. Причина – возможность подтягивания водозаборной скважиной соленых вод при нерациональном водоотборе. Требуются полевые исследования, включающие наземные геофизические, буровые и опытные работы с использованием моделирования при обработке результатов работ на участках действующих и новых водозаборов.

Необходимы оценка структуры зоны разлома, определение главных фильтрующих каналов, гидрогеологических параметров массива в плане и разрезе, мощности пресных вод, величины и соотношения питания зоны разлома инфильтрацией и транзитом подземных вод по разлому. Такие исследования следует проводить при проектировании конкретных водозаборов, в том числе и одиночных. Для региональной оценки ресурсов и прогноза эксплуатационных запасов пресных подземных вод северо-западной части Крыма достаточны исследования на эталонных участках для создания региональной модели с использованием карт зон активных разломов региона и эталонных участков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бенедик А.Л., Иванов А.В., Кочарян Г.Г.* Построение структурных моделей участков земной коры на разном иерархическом уровне // Физ.-техн. пробл. разработки полезных ископаемых. 1995. № 5. С. 31–42.
2. Геология СССР. Т. VIII. Крым. Ч. 1. Геологическое описание. М.: Недра, 1969. С. 397–443.
3. Гидрогеология СССР. Том VIII. Крым. М.: Недра, 1970. 364 с.
4. Государственная геологическая карта СССР. Серия Крымская, масштаб: 1:200000, серия: Крымская / Ред. Муратов М.В. Составлена: Составлена: трест “Днепрогеология”, трест “Крымнефтегазразведка”, 1971.
5. *Кац Я.Г., Макарова Н.В., Козлов В.В., Трофимов Д.М.* Структурно-геоморфологический анализ Крыма по дешифрированию космоснимков // Изв. Вузов. Геология и разведка. 1981. № 3. С. 8–20.

6. Кочарян Г.Г., Спивак А.А. Динамика деформирования блочных массивов горных пород М.: ИКЦ "Академкнига". 2003. 423 с.
7. Макарова Н.В., Суханова Т.В. Неотектоническое строение равнинного Крыма // Тектоника и геодинамика континентальной и океанической литосферы: общие и региональные аспекты. Матер. XLVII Тектонич. совещ. М.: ГЕОС. 2015. Т. 1. С. 276–280.
8. Соллогуб В.Б., Соллогуб Н.В. Строение земной коры Крымского полуострова // Сов. геология. 1977. № 3. С. 85–93.

NEOTECTONIC AND MODERN DISLOCATIONS OF PLAIN CRIMEA IN RELATION TO THE PROSPECTING AND EXPLORATION OF FRESH GROUNDWATER

V. M. Makeev^{a, #}, N. V. Makarova^{b, ##}, A. L. Benedik^{c, ###}, I. V. Galitskaya^a,
S. V. Kozlovskii^a, and N. A. Gridnev^c

^a*Sergeev Institute of Environmental Geoscience, Russian Academy of Sciences, Ulanskii per. 13, str. 2, Moscow, 101000, Russia*

^b*Geological Faculty, Moscow State University, Vorob'evy gory 1, Moscow, 119899 Russia*

^c*"PK GEOSFERA" Ltd., ul. Lesnaya Iv, Zhitnevo district, Domodedovo, Moscow oblast, 142046 Russia*

[#]*E-mail: vmakeev@mail.ru*

^{##}*E-mail: vladim-makarov@yandex.ru*

^{###}*E-mail: geosfera2@mail.ru*

The paper characterizes neotectonic dislocations (the structure) of plains in the Crimea that are expressed in consedimental and postsedimental uplifts and depressions, as well as in linear and isometric landforms. Neotectonic structures, constantly developing in platforms, are represented by flexures and faults. They are potential inclosing media of middle Sarmatian-Pontian fresh groundwater. The formation of the increased freshwater reserves, the depth of their occurrence and a possible increase in their salinity due to water intake depend on the type of neotectonic structures and modern geodynamic conditions. According to the marine Miocene-Pliocene sediments and their deformations, partly expressed in uplifts and depressions in the Quaternary terrain, neotectonic zoning of the territory of the plains of the Crimea was performed for the first time. Proceeding from this zoning, we may identify the most perspective sites for prospecting and exploration of groundwater deposits and undertake measures for their conservation and rational use.

Key words: *syncline, anticline, uplifts, depressions, faults, lineaments, blocks, freshwater, water salinization, environmental issues*

REFERENCES

- Benedik, A.L., Ivanov, A.V., Kocharyan, G.G. Construction of structural models of the Earth crust sections at different hierarchical levels. *Fiziko-khimicheskie problem razrabotki poleznykh iskopaemykh*, 1995, no. 5, pp. 31–42 (in Russian).
- Geologiya SSSR. T.VIII. Krym. Ch.1. Geologicheskoe opisaniye* [Geology of the USSR. Vol.VIII. Crimea. Part 1. Geological description], Moscow, Nedra, 1969, pp. 397–443 (in Russian)
- Gidrogeologiya SSSR. T.VII. Krym* [Hydrogeology of the USSR. Vol. VIII. Crimea], Moscow, Nedra, 1970, 364 p. (in Russian).
- Gosudarstvennaya geologicheskaya karta SSSR. Seriya Krymskaya. Masshtab 1:200000* [Geological map of the USSR. The Crimean series, scale 1: 200 000]. Kiev, 1973.
- Kats, Ya.G., Makarova, N.V., Kozlov, V.V., Trofimov, D.M. Structural-geomorphological analysis of the Crimea on the interpretation of space images, *Izvestiya vuzov. Geologiya i razvedka*, 1981, no. 3, pp. 8–20. (in Russian).
- Kocharyan, G.G., Spivak, A.A. *Dinamika deformirovaniya blochnykh massivov gornykh porod* [Dynamics in deformation of rock massif blocks]. Moscow, Akademkniga Publishers, 2003, 423 p.
- Makarova, N.V., Sukhanova, T.V. Neotectonic structure of the flat Crimea. *Tektonika i geodinamika kontinental'noi i okeanicheskoi litosfery: obshchie i regional'nye aspekty. Mater. XLVII Tektonich. Soveshch.* [Tectonics and geodynamics of the continental and oceanic lithosphere: general and regional aspects. Proc. XLVII Tectonic Workshop]. Moscow, GEOS, 2015, vol. 1, pp. 276–280.
- Sollogub, V.B., Sollogub, N.V. The structure of the Earth's crust in the Crimean Peninsula. *Sov. Geologiya*, 1977, no. 3, pp. 85–93.