

№ 1(1) апрель 2021

ГЕОЛОГИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ



ЕСОЭН
евразийский союз экспертов
по недропользованию

АКТУАЛЬНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОГО НЕФТЕГАЗОВОГО СЕРВИСА

СТР. 74

**ФБУ ГКЗ:
ДИНАМИКА ДВИЖЕНИЯ ЗАПАСОВ**

СТР. 118

**ТВЕРДЫЕ ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ
УГЛЕВОДОРОДНОЕ СЫРЬЕ
ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ**

ГЕОЛОГИЯ И НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЕ

Geology and subsoil use

Межотраслевой
научно-технический журнал
№ 1 АПРЕЛЬ 2021
Издается с апреля 2021 года

12+

УЧРЕДИТЕЛЬ

Евразийский союз экспертов по недропользованию

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

И.В. Шпуров, генеральный директор ФБУ «ГКЗ», д-р техн. наук

ЭКСПЕРТНЫЙ СОВЕТ:

Н.Н. Андреева, профессор РГУНГ им. И.М. Губкина, д-р техн. наук

И.С. Гутман, канд. геол.-мин. наук, профессор РГУНГ им. И.М. Губкина

А.Н. Дмитриевский, академик РАН, д-р геол.-мин. наук

И.С. Закиров, заместитель директора департамента научно-технического развития и инноваций ОАО «НК «Роснефть», доктор технических наук, заместитель главного редактора

О.С. Каспаров, заместитель руководителя Федерального агентства по недропользованию

С.Г. Кашуба, председатель НП «Союз золотопромышленников»

Е.А. Козловский, вице-президент РАЕН, профессор РГГРУ, д-р техн. наук

А.Э. Конторович, академик РАН, д-р геол.-мин. наук

М.Ф. Корнилов, генеральный директор компании RJC

Дэвид МакДональд, Председатель Экспертной группы по ресурсным классификациям (EGRC) при ЕЭК ООН

Ю.Н. Малышев, почетный президент НП «Горнопромышленники России», президент Академии горных наук, академик РАН

П.Н. Мельников, генеральный директор ФГБУ «ВНИГНИ», канд. геол.-мин. наук

С.М. Миронов, депутат ГД, руководитель фракции партии «Справедливая Россия» в ГД

Р.Х. Муслимов, консультант президента Республики Татарстан по вопросам разработки нефтяных и нефтегазовых месторождений, д-р геол.-мин. наук, профессор КФУ, академик АН РТ

Д.Л. Никишин, заместитель директора ФБУ «Росгеолэкспертиза», канд. юрид. наук, заместитель главного редактора

А.В. Пак, заместитель генерального директора ООО «Интернедра Менеджмент» (управляющая компания ЗАО «ОГК Групп» и дочерних обществ)

А.Д. Писарницкий, заместитель генерального директора ВНИГНИ, председатель правления ЕСОЭН, канд. техн. наук, заместитель главного редактора

К.Н. Трубецкой, главный научный сотрудник УРАН ИПКОН РАН, академик РАН

П.П. Повжик, заместитель генерального директора ПО «Беларуснефть», канд. техн. наук

РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ:

В.М. Аленичев, главный научный сотрудник Института горного дела УрО РАН, профессор, д-р техн. наук

М.П. Астафьева, профессор РГГРУ, д-р экон. наук

Т.В. Башлыкова, директор НВП Центр-ЭСТАгео

В.Г. Браткова, заместитель генерального директора ФБУ «ГКЗ»

В.И. Воропаев, главный геолог ФБУ «ГКЗ»

Г.В. Демура, профессор РГГРУ, д-р геол.-мин. наук

Р.Г. Джамалов, зав. лабораторией Института водных проблем РАН, д-р геол.-мин. наук, академик РАЕН

В.М. Зуев, заместитель начальника аналитического управления УК Алроса ЗАО

В.А. Карпов, канд. геол.-мин. наук

А.Б. Лазарев, начальник управления запасов ТПИ – главный геолог ФБУ «ГКЗ»

Т.П. Линде, ученый секретарь ФБУ «ГКЗ», канд. экон. наук

Е.С. Ловчева, начальник отдела подземных вод ФБУ «ГКЗ»

Н.С. Пономарев, руководитель Тимано-Печерской нефтегазовой секции ЦКР Роснедра по УВС, заместитель руководителя Центральной нефтегазовой секции ЦКР Роснедра по УВС

И.Ю. Рассказов, директор ИГД ДВО РАН, д-р техн. наук

М.И. Саакян, вице-президент, заместитель директора «ДеГольер энд МакНотон», канд. геол.-мин. наук

Н.А. Сергеева, начальник управления по недропользованию ОАО Сургутнефтегаз, канд. экон. наук

Н.И. Толстых, вице-президент НОУ «Школа ПравоТЭК»

О.В. Трофимова, начальник отдела методологии ФБУ «ГКЗ», ученый секретарь ЭТС «ГКЗ»

А.Ю. Хопта, пресс-секретарь ФБУ «ГКЗ»

С.В. Шаклеин, ведущий научный сотрудник Института вычислительных технологий СО РАН, д-р техн. наук

А.Н. Шандрыгин, главный научный сотрудник ООО «ГазпромВНИИгаз», д-р техн. наук

В.В. Шкиль, заместитель генерального директора ФБУ «ГКЗ»

РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА

Руководитель – Александр Шабанов, shabanovbook@yandex.ru

Ведущий аналитик – Сергей Матвейчук

Ведущий редактор – Валерий Карпов, valkarp@yandex.ru

АДРЕС РЕДАКЦИИ:

119180, Москва, Большая Полянка, 55, стр. 1, пом. 1

Тел: +7 (985) 788 35 92

+7 (495) 959 37 27

www.eues.ru

shabanovbook@yandex.ru

reception_eues@eues.ru

Подписано в печать 29.03.2021

Формат 60x90/8, объем 19 п.л.

Печать: ООО «Центр Инновационных Технологий»

Заявленный тираж 300 экз.

Перепечатка материалов журнала «Геология и недропользование» невозможна без письменного разрешения редакции.

При цитировании ссылка на журнал «Геология и недропользование» обязательна.

Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов.



Е. П. Каюкова
канд. геол.-мин. наук
СПбГУ¹
доцент
Санкт-Петербургский горный университет²
доцент
erkaayu@gmail.com



Ю. Г. Юровский
д-р геол.-мин. наук
профессор
академик Крымской Академии наук



Д. Л. Устюгов
канд. геол.-мин. наук
Санкт-Петербургский горный университет²
доцент
заведующий кафедрой гидрогеологии и инженерной геологии
ustiugov@mail.ru



А. В. Гребнева
канд. геол.-мин. наук
Санкт-Петербургский горный университет²
доцент
anastasia.v.grebneva@gmail.com

Пресные воды Крыма

¹Россия, 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9.

²Россия, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, 21 линия, 2.

Водные ресурсы Крыма – один из ведущих факторов стабильного развития региона. На современном этапе приходится ориентироваться на внутренние возможности полуострова (на естественный речной и подземный стоки). Основным фактором, определяющий объем пресных вод Крыма, – климатический. В 2019 г. атмосферных осадков выпало на 20% ниже нормы, что привело к водному кризису на Крымском полуострове. В такой ситуации большая нагрузка по обеспечению населения хозяйственно-питьевыми водами легла на артезианские воды, однако чрезмерно активный отбор отражается на их качестве (увеличивается минерализация, меняется химический состав). По материалам авторов и литературным данным сделана гидрогеологическая характеристика основных водоносных горизонтов, комплексов и зон Крымского полуострова, используемых для целей хозяйственно-питьевого и технического водоснабжения. Подготовлена таблица, в которой представлен химический состав подземных вод описанных гидрогеологических подразделений

Ключевые слова: Крым; водные ресурсы; пресные воды; водоносные комплексы; водный кризис; химический состав подземных вод

Пресными питьевыми водами Республика Крым обеспечена недостаточно, и распределены они по территории полуострова крайне неравномерно. Водные ресурсы Крыма полностью не обеспечивают питьевые и хозяйственные потребности полуострова. В настоящее время основной источник хозяйственно-питьевого водоснабжения – пресные ($< 1 \text{ г/дм}^3$) и солоноватые ($< 1,5 \text{ г/дм}^3$) подземные воды.

До 2014 г. Крым обеспечивал себя собственными пресными ресурсами примерно на 20%. Так, в среднем в 1990–2000 гг. суммарные водные ресурсы Крыма составляли:

- днепровские воды по Северо-Крымскому каналу (СКК) – $2,29 \text{ км}^3$ (78,3%);
- естественный речной сток (пруды и водохранилища) – $0,31 \text{ км}^3$ (11,8%);
- подземные воды – $0,22 \text{ км}^3$ (7,8%);
- морские воды – $0,07 \text{ км}^3$ (2,1%).

То есть около 80% пресных ресурсов Крым получал за счет днепровской воды, поставляемой по Северо-Крымскому каналу. Из них большую часть тратили на орошение сельскохозяйственных культур.

Северо-Крымский канал

Северо-Крымский канал – уникальное гидротехническое сооружение, самый крупный в Европе искусственный водовод (402,6 км). С 1970-х гг. днепровская вода постоянно поступала на полуостров. СКК стал основным источником орошения Крыма (площадь орошаемых земель увеличилась почти в 7 раз), играл важную, а иногда и основную роль в хозяйственно-питьевом снабжении ряда городов Крыма и населенных пунктов Ленинского и Кировского районов, обеспечении некоторых отраслей промышленности. Однако из-за несовершенства технического оснащения водохозяйственного комплекса СКК потери днепровской воды составляли около 50%. Впоследствии это привело к подтоплению орошаемых земель, вторичному засолению почв, трансформации естественного стока, приведшего к нарушению природных ландшафтов степного Крыма (пострадали уникальные ковыльные степи). Тем не менее, альтернативы СКК не было. Весной 2014 г., в связи с обострением политической ситуации между Россией и Украиной, подача воды по Северо-Крымскому каналу была полностью прекращена, и основным заложником ситуации оказалось население Восточного Крыма.

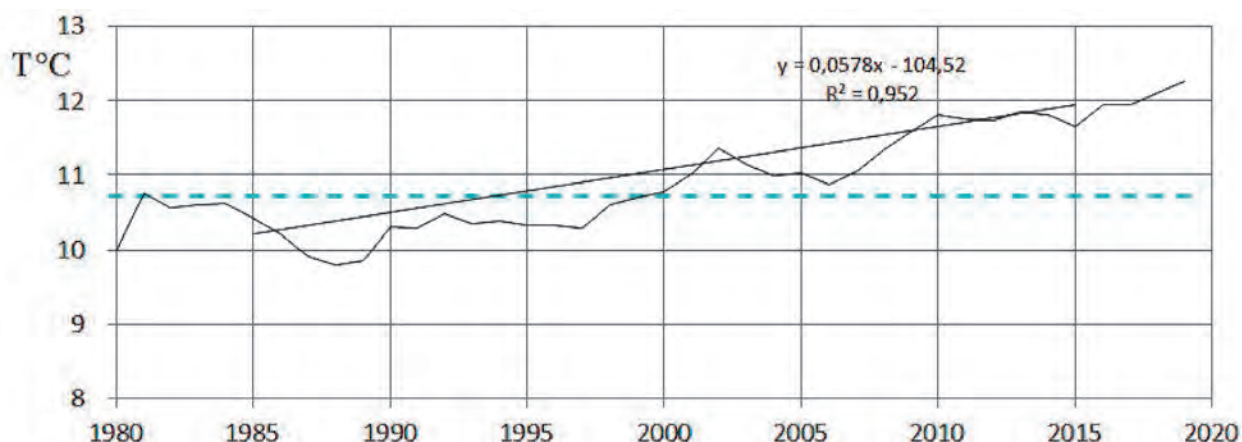
Естественный сток

Гидрографическая сеть Крымского полуострова развита крайне неравномерно, наибольшая плотность соответствует горной части полуострова, где модуль стока $5\text{--}34 \text{ л/сек на км}^2$, в отличие от степной – $0,1\text{--}0,5 \text{ л/сек на км}^2$. Все крымские реки относятся к категории малых, в летнюю межень многие пересыхают. Речной сток в Крыму – величина непостоянная и зависит от гидрометеорологических условий года: температуры воздуха, испарения, количества атмосферных осадков, ветрового режима и общих циркуляций атмосферы. Почти все реки Крыма и их притоки зарегулированы водохранилищами, которые наполняются, главным образом, осенними и зимними осадками (весенние паводки обеспечивают почти $\frac{1}{4}$ годового стока). На Крымском полуострове насчитывается 14 крупных водохранилищ естественного стока общим объемом $188,85 \text{ млн м}^3$ и 8 наливных (заполнявшихся до 2014 г. водами СКК).

Климатические изменения

Климат на большей части территории Крыма засушливый. Распределение стока подчиняется ландшафтно-климатической зональности и в общем – соответствует распределению осадков.

Рис. 1. Скользящие среднегодовые (5-летние) температуры воздуха (метеостанция г. Симферополя) [13]



Год	Среднегодовые		% от нормы		Водные ресурсы			
	Т °С*	Осадки*, мм	Т °С*	Осадки	мм/год	км³/год	% от среднего многолетнего	Средне многолетние
2014	11,9	407	110	79	29,6	0,8	-20,0	1,0 км³/год 37 мм/год
2015	11,9	622	110	121	48,1	1,3	30,0	
2016	11,9	575	110	112	33,3	0,9	-10,0	
2017	12,1	529	112	103	44,4	1,2	20,0	
2018	12,7	518	118	101	40,7	1,1	10,0	
2019	12,7	408	118	79				
*по метеостанции г. Симферополя								

Таблица 1.

Связь метеоданных и ресурсов речного стока [2, 13]

Высотная поясность в горной части полуострова выражается в возрастании в среднем на 60 мм среднегодового количества осадков и уменьшении температуры воздуха в среднем на 0,62° на каждые 100 м. Характерны природные колебания водообеспеченности с периодом 4–7 лет, когда чередуются засушливые и водообильные периоды.

За последние 40 лет температура в Крыму менялась в среднем на 0,3 °С каждые 5 лет. На *рис. 1* представлены скользящие среднегодовые температуры воздуха (5-летние). На фоне сглаженных колебаний температуры можно видеть теплые и холодные 5-летние периоды, пунктиром показана температурная норма (1981–2010 гг.). Неуклонное повышение годовых температур определяется глобальными климатическими изменениями, рассчитывать в ближайшие годы на смену тренда не приходится.

В течение нескольких лет после 2014 г. метеоусловия в Крыму благоприятствовали формированию естественного стока (*рис. 1, табл. 1*). Однако в 2019 г. осадков выпало на 20% ниже нормы, что напрямую отразилось на формировании объема естественных водных ресурсов. Метеоусловия текущего года также сложились неблагоприятно (с дефицитом приходной части уравнения водного баланса): снега и жидких осадков оказалось недостаточно для полноценного заполнения водохранилищ естественного стока.

Снижение речного стока на полуострове после 2015 г. привело к водным проблемам настоящего времени (*табл. 1*).

Мероприятия по обеспечению Крыма водой после 2014 г.

Проблему водоснабжения после 2014 г. удалось решить путем переброски воды из водохранилищ естественного стока Белогорского района Крыма в восточную часть полуострова, а также обустройством новых водозаборов. В настоя-

щий период конечная часть СКК используется для переброски пресной воды из водохранилищ естественного стока (Белогорского и Тайганского), а также для транспортировки питьевой воды из трех групповых водозаборов – Просторненского, Нежинского и Новогригорьевского (Джанкойского и Нижнегорского районов Крыма). Так решается водоснабжение населенных пунктов юго-восточного Крыма (в том числе Феодосии, Судака, Керчи).

Однако транспортировка воды хорошего питьевого качества подобным способом (когда происходит перевод подземного стока в поверхностный) должна носить временный характер, т.к. высокие величины испарения и далекое от совершенства техническое состояние отдельных систем СКК неизбежно приведут к огромным потерям (что и происходит при транспортировке воды в Керчь). Артезианские воды полуострова – важный стратегический запас на случай чрезвычайных ситуаций, и эксплуатировать артезианские скважины необходимо с осторожностью (т.к. запасы этих вод не безграничны).

Подземный сток

На формирование подземных вод Крыма влияет целый ряд условий, основные из них: физико-географические (рельеф, климат, гидрография, почвенный покров и процессы выветривания) и геолого-гидрогеологические. Большое значение имеют антропогенные факторы (нарушение естественного режима, бытовые и промышленные стоки, другие загрязнения и т.п.).

Геолого-гидрогеологические условия

С геологической точки зрения Крым занимает южную часть Восточно-Европейского кратора. В северной равнинной части выделяется Скифская палеоплита, на юге – Горнокрымская складчато-надвиговая область. В.В. Юдиным здесь выделены коллизионные швы (сутуры): Предгорная мезозойская и Северо-Крымская палеозойская. Асимметричные гряды в Крымском

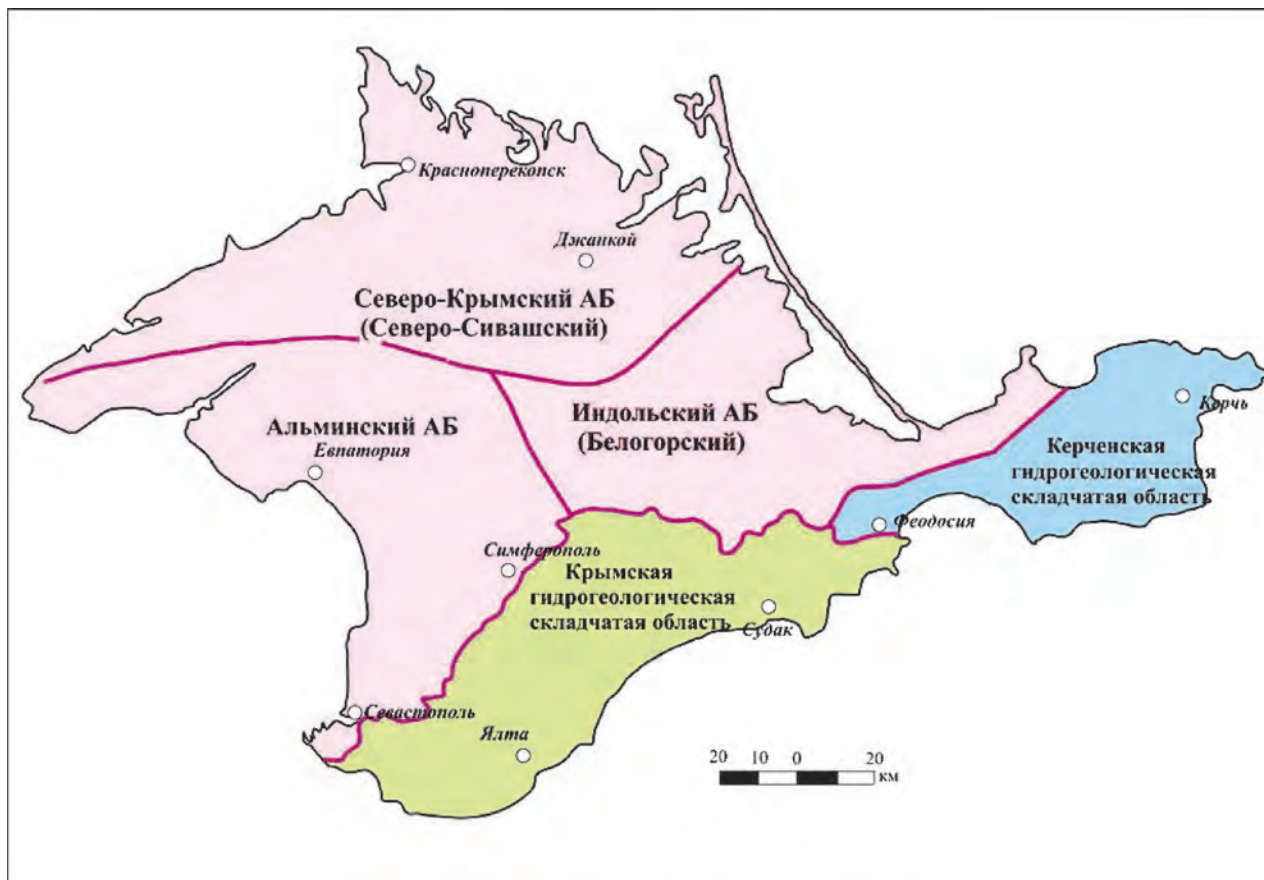


Рис. 2.
Гидрогеологическое районирование [18]

предгорье из слабодислоцированных толщ мелнеогенового возраста названы Куэстовой моноклиналью [19].

В гидрогеологическом отношении Главная гряда Крымских гор представляет собой молодую сложнопостроенную гидрогеологическую складчато-надвиговую область. Она сложена разорванными и смятыми в складки терригенными и карбонатными породами. Как результат – образовалась сложная система адмассивов и межгорных артезианских бассейнов [9].

Гидрогеологическое районирование Равнинного Крыма (рис. 2) рассмотрено с позиций [18]: Скифский сложный артезианский бассейн (АБ) I порядка включает Северо-Крымский, Альминский, Индольский артезианские бассейны II порядка.

Главная гряда служит внешней областью питания артезианских бассейнов Равнинного Крыма. Внутренняя и Внешняя гряды расположены в краевых частях южных крыльев артезианских бассейнов, они играют роль внутренней области питания. Внутренняя гряда сформирована породами мел-палеогенового возраста (известняки, мергели, глины), Внешняя – отложениями неогенового возраста. Обе гряды имеют характерный куэстовый рельеф.

Горный Крым сложен двумя резко различными в гидрогеологическом отношении структурными этажами. Верхний этаж (зона активного водообмена) – мощная толща хорошо проницаемых верхнеюрских карбонатных пород, где циркулируют трещинно-карстовые и трещинно-пластовые пресные подземные воды гидрокарбонатно-кальциевого состава. Химический состав подземных вод основных гидрогеологических подразделений, используемых как хозяйственно-питьевые, представлен в **табл. 2**. Основные водоносные горизонты (ВГ), комплексы (ВК) и зоны показаны на **рис. 3** (по материалам [21]).

Основные водоносные горизонты, комплексы и зоны

В пределах Равнинного Крыма водоносные горизонты и комплексы, эксплуатируемые в хозяйственно-питьевых целях, приурочены к отложениям неогена ($N_2, N_1m-N_2p, N_1s, N_1^2$), палеогена (P_{1-2}), частично мела (K_{1-2}) и к современным аллювиальным отложениям.

В артезианских бассейнах Равнинного Крыма выделяются [1, 5, 6, 10, 14]:

– *четвертичный водоносный горизонт (Q),* связанный с аллювиально-пролювиальными,

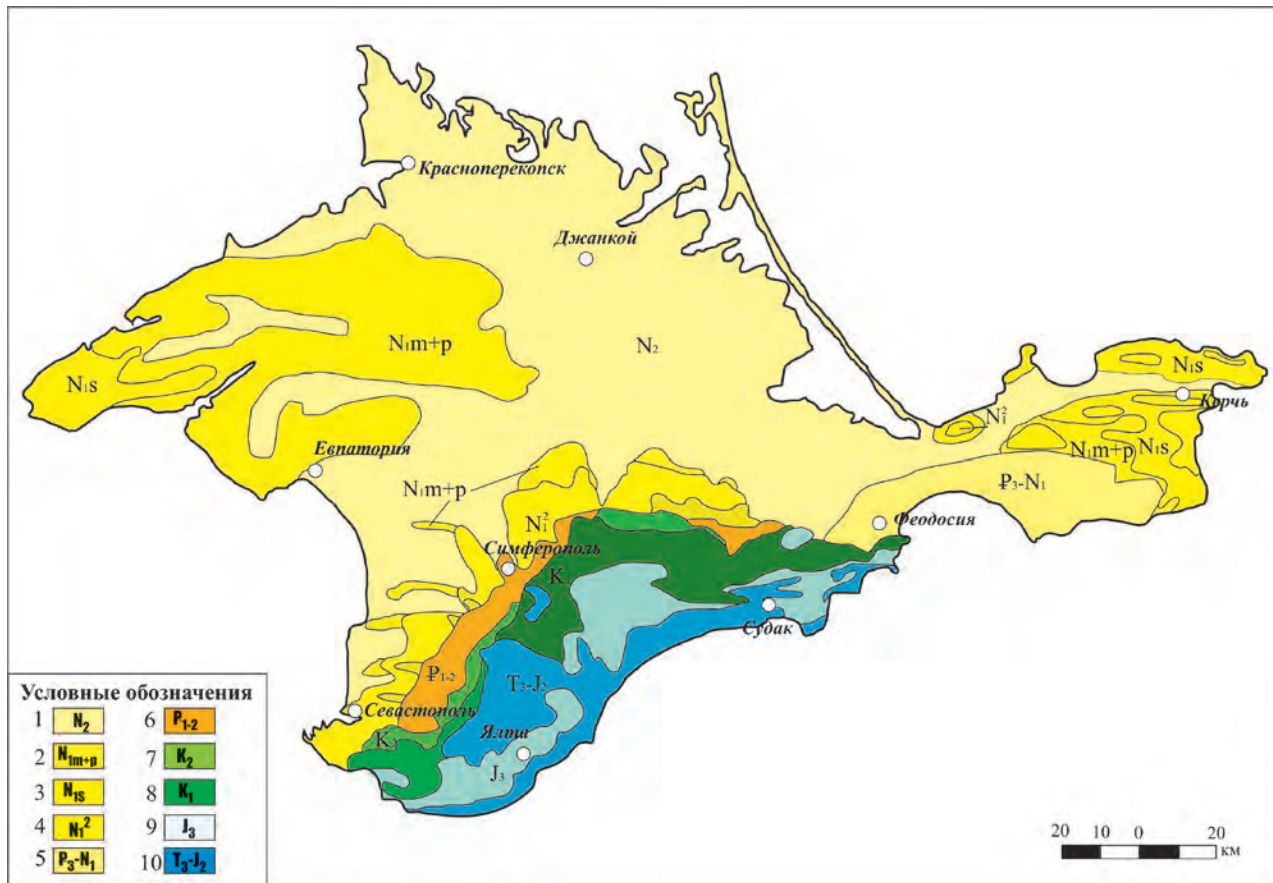


Рис. 3.

Основные водоносные горизонты и комплексы Крыма: 1 - плиоценовый ВГ; 2 - мэот-понтический ВГ; 3 - сарматский ВГ; 4 - среднелиоценовый ВГ; 5 - майкопская серия (P_3-N_1); 6 - палеоцен-эоценовый ВГ; 7 - верхнемеловой ВГ; 8 - нижнемеловой ВГ; 9 - верхнеюрский ВГ; 10 - породы позднего триаса-средней юры.

пролювиально-делювиальными, лиманно-морскими и др. отложениями;

- плиоценовый ВГ (N_2) залегает в погруженных частях артезианских бассейнов Равнинного Крыма. Коллекторами служат поры и трещины. Вмещающие отложения – песчаники, пески, карбонатные породы);

- сармат-мэот-понтический ВГ (N_{1s} , N_{1m-p} , N_2p) формируется в различной проницаемости известняках, песках с прослоями водоупорных пород, имеет региональный водоупор – глины сармата. Часто под влиянием интенсивной эксплуатации скважин образуются депрессионные воронки, повышается минерализация и ухудшается химический состав воды. Питание подземных вод осуществляется за счет атмосферных осадков. До 2014 г. комплекс испытывал влияние ирригационных вод и вод системы СКК;

- среднелиоценовый ВГ (N_1^2) приурочен к карбонатным и терригенным породам, мощность которых может достигать 100 м (Альминский и Индольский артезианские бассейны). Под влиянием водоотбора наблюдается понижение уровней. Питание – за счет атмосферных осадков и вышележащих комплексов;

- верхнемеловой и нижнемеловой ВГ (K_1 , K_2) выделяют на глубинах 2,5 км и более. Водоносны прослои песчаников, конгломератов и известняков в водоупорных толщах (мощность от 1 до 100 м).

В области питания артезианских бассейнов (Предгорья Крыма) пресные подземные воды циркулируют в отложениях разного возраста и литологического состава. Преобладающими компонентами в химическом составе обычно являются HCO_3^- и Ca^{2+} . Здесь водоносны [5, 6, 7]:

- четвертичный ВГ (Q) связан с аллювиальными и делювиально-пролювиальными отложениями, представленными прослоями песка, гальки, валунно-галечниковыми и гравийными накоплениями, супесчано-суглинистыми, суглинисто-щебенистыми образованиями;

- среднеэоценовый ВГ (P_2lt) фиксируется на северных склонах Второй гряды в органогенных нуммулитовых известняках, хорошо выдержан по площади;

- датско-инкерманский ВГ (P_1d-m) протягивается узкой полосой вдоль куэсты северного склона Внутренней гряды. Из мел-неогеновых отложений наибольшей водообильностью отли-

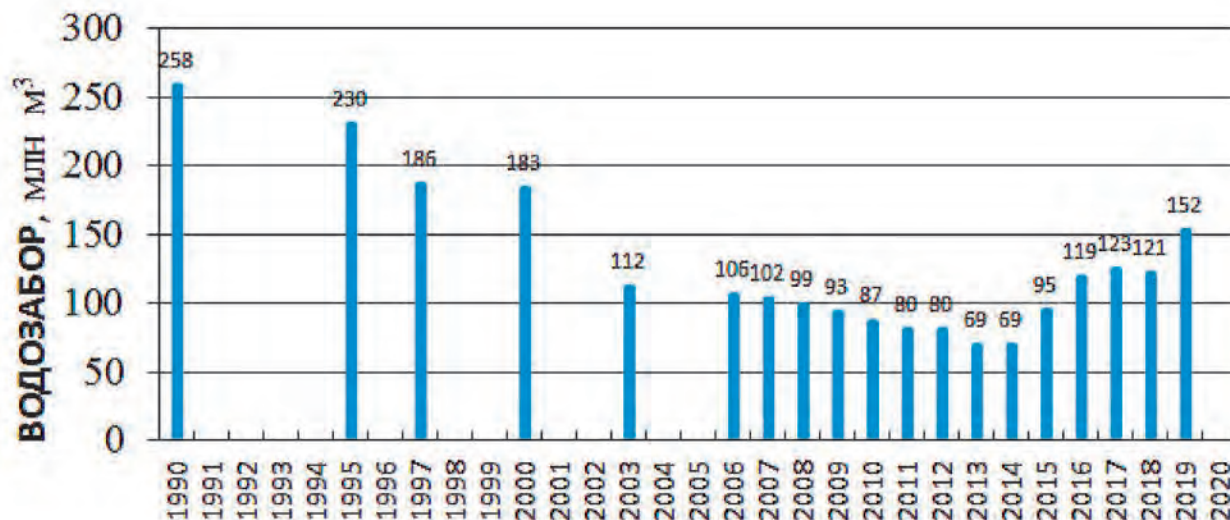


Рис. 4. Динамика отбора подземных вод в Крыму

чаются именно датские кавернозные известняки (мшанково-криноидные), составляющие единую толщу с известняками инкерманского яруса палеоцена;

– нижнемеловой ВК ($K_1v-h_2^1$, $K_1h_2^2-br_2^1$, $K_1br_2^2-a_2$, $K_1al_3^1$, $K_1al_3^2$) привязан к песчано-глинистым отложениям, пористым органогенно-обломочным известнякам, линзам песчаников и туфогенным песчаникам. Известны водоносные зоны с пресными водами в корах выветривания коренных пород (J_2b).

В районе Главной гряды (Крымской гидрогеологической складчатой области) пресные воды связаны с верхнеюрскими известняками (J_3). Питание подземных вод осуществляется на всей площади массивов за счет атмосферных осадков и частично конденсации. Коллекторами являются трещины и карстовые полости (верхнеюрские известняки неравномерно, но хорошо закарстованы). Мощность зоны пресных вод – первые сотни метров (на глубину вреза речных долин). Разгрузка воды осуществляется через ряд крупных и мелких источников, выходящих у подножия известняковых толщ Главной гряды или субмаринно, частично посредством питания трещинно-жильных вод нижележащих водоупорных комплексов триас-юрского возраста.

На Керченском полуострове (в Керченской гидрогеологической складчатой области) основными источниками хозяйственно-питьевого водоснабжения и орошения являются *сарматский, мэотический и понтический водоносные горизонты* (N_1s , N_1m , N_2p).

Экологическое состояние подземных вод

Хозяйственно-питьевые воды, используемые в настоящее время населением Крыма, в раз-

личных районах республики имеют разное качество. В областях питания горной части полуострова, вдали от населенных пунктов это воды отличного качества, соответствующие всем нормативам действующего СанПиН 1074.01. В населенных пунктах горных областей и их окрестностях повсеместно наблюдаются загрязнения, характерные для сельскохозяйственных территорий, здесь предельно-допустимые концентрации (ПДК) ряда компонентов могут существенно превышать нормы. Так, например, в результате длительного мониторинга выделены территории нитратного загрязнения (2-4 ПДК), возможны превышения по жесткости (чаще на уровне ПДК). Геохимической особенностью подземных вод предгорьев являются повышенные концентрации относительно значений в зоне гипернеза некоторых микрокомпонентов (Ba, B, Sr, Sn). Особый вклад вносят: флишевые отложения (Mn – Se); породы из области меланжа (Li – Rb); вулканогенно-осадочная толща (V).

В равнинной части Крыма и на Керченском полуострове в хозяйственно-питьевых подземных водах повсеместно отмечаются превышения ПДК по минерализации, жесткости, концентрации хлоридов. На Керченском полуострове в водах, связанных с мэот-понтическими и сарматскими отложениями, возможны повышенные относительно ПДК содержания Sr, B, Fe. Качество воды, поставляемой по СКК, стало лучше, поскольку в днепровской воде в свое время обнаруживали большое количество органических загрязнителей.

Потребности и возможности

По состоянию на 2000 г. потребности в воде населением и экономикой Крыма удовлетворялись за счет пресных поверхностных источников на 91% (в том числе из СКК – 77%, из рек – 14%),

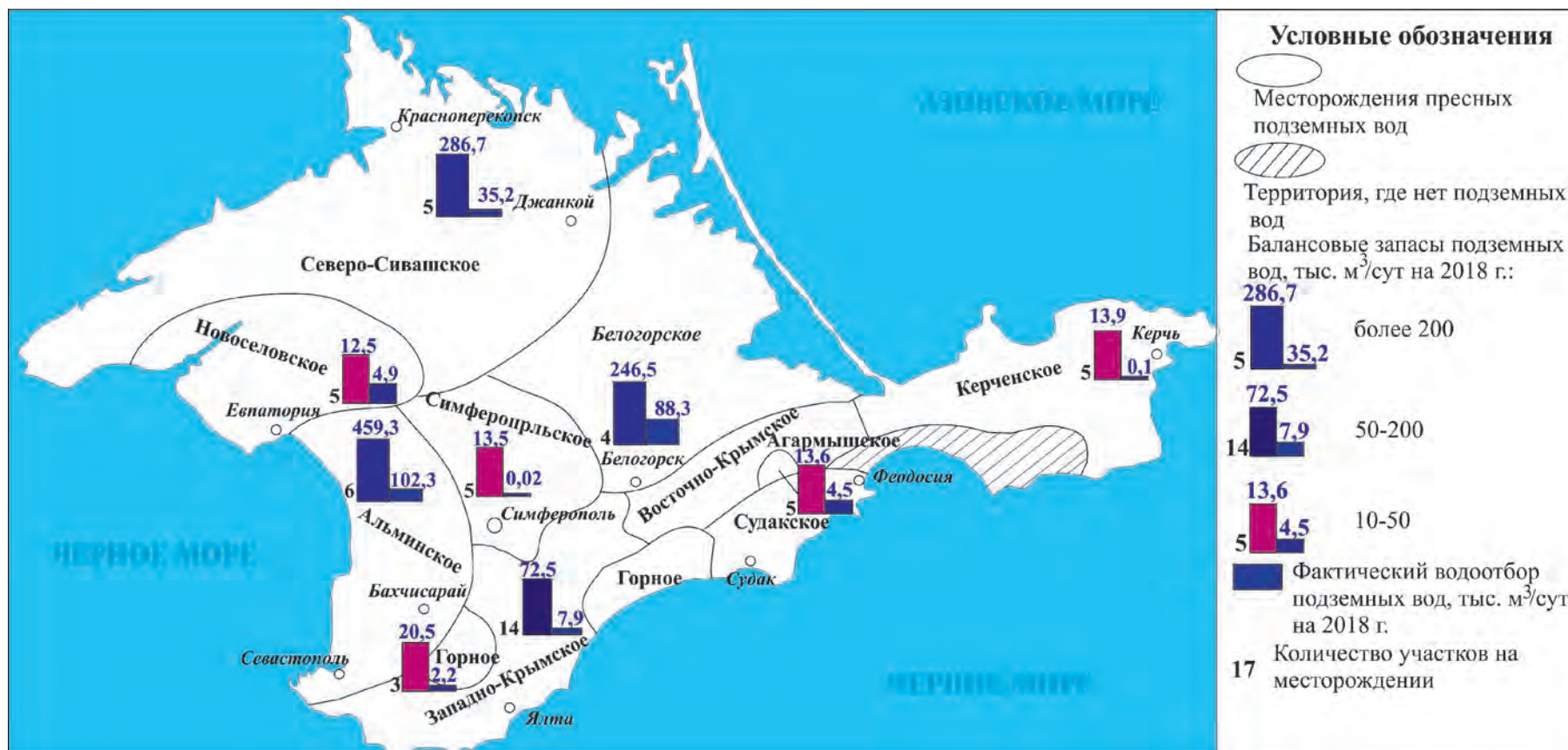


Рис. 5. Распределение утвержденных запасов и фактического водоотбора за 2018 г. (балансовые запасы < 10 тыс. м³/сут не показаны)

Водоносный горизонт, зона, комплекс	Формула Курлова	Кол-во проб	Источник данных
Артезианские бассейны Равнинного Крыма			
Плиоценовый ВК (N ₂)	$M_{0,4-15} \frac{Cl(17-81)HCO_3(1-59)SO_4(19-38)}{Na+K(13-46)Ca(27-72)Mg(11-29)}$	6	[1]
Сармат-мэот-понтический ВК (N _{1s} , N _{1m} -N _{2p})	$M_{1-5} \frac{Cl(72-93)HCO_3(4-26)SO_4(4-9)}{Na+K(47-98)Ca(13-30)Mg(17-24)}$	> 200	[16]
Среднемиоценовый ВГ (N ₁ ²)	$M_{3-21} \frac{Cl(52-98)SO_4(1-43)HCO_3(1-18)}{Na+K(73-97)Mg(2-20)Ca(1-65)}$	> 100	[17]
Майкопская серия (P ₃ -N ₁)	$M_{17,9-45} \frac{Cl(97-99)}{Na+K(76-89)Ca(4-14)Mg(6-8)}$	3	[1]
Палеоцен-эоценовый ВК (P ₁₋₂)	$M_{25,5} \frac{Cl(98)HCO_3(2)}{Na+K(94)Ca(4)Mg(2)}$	1	[1]
Верхнемеловой ВК (K ₂)	$^{15-18} \frac{Cl(92-94)}{Na+K(91-95)Ca(1-9)}$	2	[1]
Нижнемеловой ВК (K ₁)	$M_{1,7-79,5} \frac{Cl(35-99)}{Na+K(91-99)Ca(1-72)Mg(1-4)}$	9	[1]
Палеозойские спорадически обводненные трещиноватые зоны	$M_{9,2-38,8} \frac{Cl(91-99)HCO_3(1-7)}{Na+K(89-96)Ca(1-8)Mg(1-2)}$	3	[1]
Внутренняя область питания артезианских бассейнов Равнинного Крыма (Крымское предгорье)			
Четвертичный ВГ (Q)	$M_{0,8-1} \frac{HCO_3(49-90)SO_4(12-36)Cl(5-12)}{Ca(42-59)Mg(23-43)Na(12-21)} pH7$	100	[5, 6, 7]
Эоценовый ВГ (P ₂ It)	$M_{0,6-0,7} \frac{HCO_3(53-73)SO_4(15-29)Cl(11-18)}{Ca(61-73)Mg(15-20)Na(12-17)} pH7$	30	[5, 6, 7]
Палеоцен-эоценовый ВК (P ₁₋₂)	$M_{0,5-2,8} \frac{HCO_3(14-79)Cl(11-84)SO_4(2-32)}{Na(18-95)Ca(3-68)Mg(2-23)}$	4	[1]
Дат-инкерманский ВК (P ₁ d-m)	$M_{0,6-0,7} \frac{HCO_3(83-90)Cl(5-11)SO_4(1-12)}{Ca(82-87)Mg(7-8)Na(5-8)} pH7$	20	[5, 6, 7]
Нижнемеловой ВК (K ₁) (K _{1a3} -K _{2s}), (K _{1v} -h ₂ ¹ , K _{1h} ² -br ₂ ¹)	$M_{0,5-0,8} \frac{HCO_3(81-89)Cl(5-14)SO_4(2-5)}{Ca(79-89)Mg(5-6)Na(5-13)} pH7,5$	50	[5, 6, 7]
Водоносная зона коры выветривания (J ₂ b)	$M_{0,7-1} \frac{HCO_3(57-80)SO_4(10-29)Cl(5-16)}{Ca(30-68)Mg(20-53)Na(11-34)} pH7-7,5$	50	[5, 6, 7]
Водоносная зона T ₃ -J ₁ es	$M_{1-1,5} \frac{HCO_3(75-83)SO_4(10-13)Cl(4-11)}{Mg(50-60)Na(26-32)Ca(3-16)} pH7-7,8$	20	[5, 6, 7]
Водоносная зона T ₃ -J ₁ tv	$M_{0,9-1,3} \frac{SO_4(40-70)HCO_3(28-52)}{Ca(49-63)Mg(12-34)Na(11-17)} pH7,5-8$	10	[5, 6, 7]
Крымская гидрогеологическая складчатая область (Главная гряда Крымских гор)			
Верхнеюрский ВК (J3)	$M_{0,3-0,5} \frac{HCO_3(60-92)SO_4(12-36)Cl(5-12)}{Ca(42-59)Mg(2-25)Na(4-14)} pH7$	10	[1]

Водоносный горизонт, зона, комплекс	Формула Курлова	Кол-во проб	Источник данных
Керченская гидрогеологическая складчатая область			
Сарматский ВГ (N _{1,s})	$M_{1-9} \frac{Cl(50-57)HCO_3(8-82)SO_4(12-35)}{Na+K(40-86)Mg(9-43)Ca(5-13)}$	3	[1]
Мэотический ВГ (N _{1,m})	$M_{1-2,9} \frac{Cl(29-57)SO_4(14-51)HCO_3(14-43)}{Na+K(30-65)Mg(21-48)Ca(6-65)}$	6	[1]
Понтический ВГ (N _{2,p})	$M_{0,8-6,8} \frac{Cl(48-61)HCO_3(3-83)SO_4(19-40)}{Na+K(36-48)Mg(20-45)Ca(19-43)}$	3	[1]

Таблица 2.

Химический состав подземных вод, используемых в хозяйственно-питьевом водоснабжении Крыма

за счет подземных вод – около 8%, моря – менее 1%. Потери при транспортировании составили 762 млн м³ (39% водозабора) [15].

Пик добычи подземных вод в Крыму для целей хозяйственно-питьевого водоснабжения приходился на 1990-е гг. После распада СССР происходило постоянное планомерное ее снижение, и только перекрытие СКК вызвало активный подъем (рис. 4, по материалам [2, 4]).

Общий объем извлекаемых подземных вод на территории Крыма по состоянию на 1 января 2019 г. составил 332,7 тыс. м³/сут (на 1 января 2020 г. – 416,1 тыс. м³/сут), при этом общий баланс подземных вод по утвержденным запасам составил 1063,9 тыс. м³/сут (987,7 тыс. м³/сут), соответственно [2]. На рис. 5 показано распределение утвержденных запасов и фактического водоотбора на территории Крыма в 2018 г. (по материалам [14]).

Ряд исследователей считают, что добычу подземных вод на Крымском полуострове можно довести до 700–800 тыс. м³/сут (250–300 млн м³/год), поскольку разведанные и оцененные запасы подземных вод (с минерализацией до 1,5 г/дм³) составляют около 1000 тыс. м³/сут (400 млн м³/год) [2, 11].

Реалии 2020 г.

Ситуация осенью 2020 г. такова, что воды не хватает. Стабильное водоснабжение пресной водой населения и хозяйственных объектов Крыма становится проблематичным. Питающие водохранилища реки остаются пересохшими или маловодными, общая гидрологическая обстановка на полуострове крайне сложная. Водоохранилища обмелели до 10–40% полного объема. Напряженная ситуация сложилась в северной части полуострова, где в 29 селах воды нет вообще (скважины пересохли). С сентября в Симферополе и 39 населенных пунктах Симферопольского

и Бахчисарайского районов началась подача воды по часовым графикам [3].

Правительство РФ направляет 50 млрд руб. [12] на реализацию мер по обеспечению надежного водоснабжения Крыма, которые предусматривают разработку новых месторождений подземных вод, бурение эксплуатационных скважин, строительство гидротехнических сооружений и опреснительных установок, капитальный ремонт системы водоснабжения и водоотведения (строительство новых веток) и др.

Хорошо известно, что подземные воды возобновляемы, однако чрезмерно активный водоотбор может привести к понижению уровня подземных вод и образованию депрессионных воронок. Это уже происходило в 1960–1980 гг., когда в эксплуатационных водоносных горизонтах повысилась минерализация за счет поступления соленых вод. Так, в Северо-Сивашском артезианском бассейне минерализация с момента эксплуатации до настоящего времени увеличилась на 1–4 г/дм³ (табл. 2).

Артезианские воды Равнинного Крыма – стратегический ресурс – один из самых надежных источников питьевого водоснабжения в случае чрезвычайных ситуаций природного или техногенного характера. К таковым относятся регулярно повторяющиеся в Крыму засушливые года, когда ресурсов естественного стока недостаточно.

Безусловно, необходимо на современном уровне сделать переоценку запасов подземных вод (поскольку за последнее десятилетие существенно изменились гидрогеологические условия), провести доразведку. Но возникают вопросы: нужно ли повсеместно бурить эксплуатационные скважины и разрабатывать новые месторождения? На эксплуатируемых в настоящее время водозаборах уже отмечают повышение минерализации добываемой воды. Нужно

ли строить в Крыму опреснительные установки? Но куда в таком случае сбрасывать рассолы – отходы этого производства? К тому же – такая вода из-за высоких энергетических затрат будет достаточно дорогой и при этом (вследствие высоких концентраций тяжелых изотопов дейтерия и кислорода) непригодной для питья. Крымский полуостров видится всероссийским курортом, и экологические проблемы играют здесь весьма важную роль. Если придется пойти путем получения пресной воды из морской, это ни в коем случае не должно принимать большие масштабы.

Лучшими и перспективными направлениями авторам представляются:

– **оптимизация системы водоснабжения.** В первую очередь необходимо направить усилия и средства на снижение потерь в процессе поставки воды потребителю. В Крыму потери воды за счет высокого износа сетей (прорыв труб, утечка и т.п.) – более 50% ежегодно. Средняя цифра для ГУП РК «Вода Крыма» – 52% потерь (в филиале Ленинский на сегодняшний день – 73% потерь, у Красноперекоевского водоканала – 25% [3]. Модернизацию и ремонт изношенных водопроводных сетей необходимо проводить на основе соответствующих ГОСТу материалов с созданием единой схемы водоснабжения и водоотведения с реконструкцией очистных сооружений;

– **оборотная система водоснабжения.** Необходимо довести систему очистки сточных вод до степени использования их в качестве поливных или промышленно-технических;

– **совершенствование системы орошения.** Переход на капельное, капельно-внутрипочвенное, комбинированное (капельное плюс мелко-дисперсное) орошение позволит повысить эффективность орошаемого земледелия;

– **борьба с испарением.** Сократив испарение воды с поверхности водохранилищ, ставков (прудов), оросительных каналов, можно получить дополнительные объемы воды. Уже используются в мелиорации технологии, предотвращающие испарения воды с водной поверхности (специальные защитные или закрывающие пленки). Есть технологии по защите питьевых вод от испарения путем использования полимерных шаров, закрывающих водную гладь;

– **экономия.** В условиях Крыма необходимо прививать берегающую культуру водопользования, возможно, повысить тариф на воду (с необходимой дотацией для малоимущих). Нередко (особенно в сельской местности) у потребителей отсутствуют приборы учета, возможна нелегальная врезка к центральной сети. На многих частных участках имеются самостоятель-

но пробуренные артезианские скважины, и эта вода никак не учитывается;

– **субмаринные источники.** О возможности получения дополнительных ресурсов пресных вод за счет субмаринной разгрузки, которая широко представлена на Крымском полуострове, заявлялось неоднократно [8, 20]. Такую воду можно с успехом добывать и, например, бутилировать как воду высшего качества. Основная проблема – как взять воду. Существуют примеры в мировой практике: сооружение плотины (как в Греции) или перехват потока пресных вод еще на суше;

– **регулирование и максимальное использование речного стока, сооружение новых водохранилищ естественного стока.** В Крыму рассматривается возможность восстановления Межгорного водохранилища, питать которое планируется за счет речного стока Альмы, Качи, Бельбека, Черной и Салгир, что позволит получить дополнительные хозяйственно-питьевые ресурсы потребителям г. Симферополя. Есть идеи переброски этой воды по Сакскому каналу в СКК для обеспечения водой Армянска, Джанкоя, Феодосии и др. Еще до 2014 г. были предложены проекты постройки целого ряда водохранилищ естественного стока;

– **оптимизация сети режимных наблюдений.** Некогда в Крыму существовала широкая гидрометрическая сеть (на основных реках действовало более 190 гидропостов, против 32 в настоящее время); режимная партия Крымгеологии вела наблюдения за несколькими сотнями скважин. Закрытие гидропостов, прекращение ежегодных публикаций гидрометрических данных, отсутствие масштабных режимных наблюдений затрудняет качественную оценку водных ресурсов. Были закрыты некоторые метеостанции (например, старейшая Караби-Яйлинская и др.). Прекратились режимные наблюдения ряда скважин (у Красных пещер и др.), а также ранее проводимая на яйлах снеговосъемка;

– **принудительная закачка.** В сезон паводковых воды бесполезно сбрасываются в море, однако их можно принудительно закачивать в глубокие истощенные водоносные горизонты. Для этого придется делать специальные водохранилища;

– **эффективная система управления водными ресурсами** – пожалуй, самая важная проблема. Наряду с детальными (на основе полевых работ) гидрогеологическими и гидролого-метеорологическими исследованиями должны быть учтены и экономическая целесообразность, и рациональность водопользования, и экологическая емкость воспроизводимых водных ресурсов, а также региональные экологические особенности. ■

Литература

1. Гидрогеология СССР. Т. 8. Крым / Под ред. В.Г. Ткачук. М.: Недра. 1970. 365 с.
2. Государственные доклады «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации...» за 2015–2018 гг. Доступно на: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/ (обращение 21.10.2020).
3. ГУП РК «Вода Крыма». Доступно на: <http://voda.crimea.ru/> (обращение 19.10.2020).
4. Иванютин Н.М. Подземные воды Крыма //Таврический вестник аграрной науки 2015. № 2(4). С. 95–101.
5. Каюкова Е.П., Барабошкина Т.А., Филимонова Е.А. Гидрогеохимические особенности подземных вод бассейна реки Бодрак //Вестник МГУ. Серия 4. 2020. № 4. С. 55–63.
6. Каюкова Е.П., Котова И.К. Особенности формирования химического состава подземных вод зоны активного водообмена бассейна р. Бодрак //Вестник СПбГУ. Науки о Земле. 2017 (62). Вып. 4. С. 343–356.
7. Каюкова Е.П., Чарыкова М.В. Особенности химического состава подземных и поверхностных вод полигона Крымской учебной практики геологического факультета СПбГУ //Вестник СПбГУ. Серия 7. 2010. № 3. С. 29–47.
8. Каюкова Е.П., Юровский Ю.Г. Водные ресурсы Крыма //Геозкология, инженерная геология, гидрогеология, геоэкология. 2016. № 1. С. 25–32.
9. Кирюхин В.А., Толстихин Н.И. Региональная гидрогеология. М.: Недра. 1987. 382 с.
10. Луцкич А.В., Лисиченко Г.В., Яковлев Е.А. Формирование режима подземных вод в районах развития активных геодинамических процессов. Киев: Наукова думка. 1988. 161 с.
11. Новиков Д.А., Черных А.В., Дульцев Ф.Ф., Сесь К.В. Гидрогеология и гидрогеохимия Крымского полуострова в свете проблемы питьевого водоснабжения / Подземные воды востока России. Новосибирск. 2018. С. 339–346.
12. Мисливская Г. Мишустин: На водоснабжение Крыма выделят 50 млрд рублей. Доступно на: <https://rg.ru/2020/10/19/reg-ufo/mishustin-na-vodosnabzhenie-kryma-vydeliat-50-mlrd-rublej.html> (обращение 20.10.2020).
13. Архив погоды в Симферополе. Доступно на: [https://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%A1%D0%B8%D0%BC%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5_\(%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F\)](https://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%A1%D0%B8%D0%BC%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5_(%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F)) (обращение 19.10.2020).
14. Сводные данные государственного учета запасов питьевых и технических подземных вод по состоянию на 01.01.2019. Доступно на: <https://rfgf.ru/bal/itemview.php?id=7149> (обращение 15.10.2020).
15. Устойчивый Крым. Водные ресурсы / Под ред. В.С. Тарасенко. Симферополь: Таврида. 2003. 413 с.
16. Устюгов Д.Л. Отчет о научно-исследовательской работе. Научное сопровождение гидрогеологических работ для технического водоснабжения производственных объектов Армянского филиала ООО «Титановые инвестиции». Санкт-Петербург. 2017.
17. Устюгов Д.Л. Отчет по научному сопровождению гидрогеологических работ для технического водоснабжения производственных объектов публичного акционерного общества ООО «Крымский содовый завод». Санкт-Петербург. 2018.
18. ФГБУ «Гидроспецгеология». Центр государственного мониторинга состояния недр и региональных работ. Доступно на: <http://geomonitoring.ru/objects.html> (обращение 10.10.2020).
19. Юдин В.В. Геодинамика Крыма. Симферополь: ДИАИПИ. 2011. 336 с.
20. Юровский Ю.Г., Юровская Т.Н. Субмаринная разгрузка трещинно-карстовых вод в юго-западном Крыму //Геологический журнал. 1986. Т. 46. № 3. С. 58–63.
21. Dublyansky Y. et al (2019) Groundwater of the Crimean peninsula: a first systematic study using stable isotopes, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 55:5, 419-437.

UDC 556.3; 556.1

E.P. Kayukova, PhD, Assistant Professor of St. Petersburg State University¹, Assistant Professor of St. Petersburg Mining University², epkayu@gmail.com.

Yu.G. Yurovsky, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Academician of the Crimean Academy of Sciences.

D.L. Ustyugov, PhD, Assistant Professor, Head of the Department of Hydrogeology and Engineering Geology of St. Petersburg Mining University², ustiugov@mail.ru.

A.V. Grebneva, PhD, Assistant Professor, St. Petersburg Mining University², anastasia.v.grebneva@gmail.com.

¹7/9, Universitetskaya nabehzhnaya, St. Petersburg, 199134, Russia.

²21st Line, St. Petersburg, 199106, Russia.

Fresh Waters of Crimea

Abstract. Crimea's water resources are the key factor in the stable development of the region. These days, it is necessary to focus on the endogenous capacity of the peninsula (natural river and underground runoff). The main factor determining the volume of fresh water in Crimea is climate. In 2019, rainfall was 20% below normal, leading to a water crisis in the Crimean Peninsula. In such a situation, domestic water delivery to population has become a severe load on artesian water; but the excessive withdrawal of water affects its quality (salinity increases, chemical composition changes). Using the authors' and published data, hydrogeological characterisation of main aquifer horizons, systems, and zones involved in domestic and service water supply within the Crimea Peninsula was carried out. The table is prepared showing chemistry of ground waters of hydrogeological units described.

Keywords: Crimea; water resources; fresh water; aquifer systems; water crisis; groundwater chemistry.

References

1. *Gidrogeologiya SSSR* [Hydrogeology of the USSR]. Vol. 8. Crimea. Edited by V.G. Tkachuk. Moscow, Nedra Publ., 1970, 365 p.
2. *Gosudarstvennye doklady «O sostoianii i ispol'zovanii vodnykh resursov Rossiiskoi Federatsii...» za 2015–2018 gg.* [State reports “On the state and use of water resources of the Russian Federation ...” for 2015–2018]. Available at: https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/ (accessed 21 October 2020).
3. *GUP RK «Voda Kryma»* [GUP RK “Water of Crimea”]. Available at: <http://voda.crimea.ru/> (accessed 21 October 2020).
4. Ivaniutin N.M. *Podzemnye vody Kryma* [Underground waters of Crimea]. *Tavrisheskii vestnik agrarnoi nauki* [Tauride Bulletin of Agrarian Science], 2015, no. 2(4), pp. 95–101.
5. Kaiukova E.P., Baraboshkina T.A., Filimonova E.A. *Gidrogeokhimicheskie osobennosti podzemnykh vod basseina reki Bodrak* [Hydrogeochemical features of groundwater in the Bodrak river basin]. *Vestnik MGU* [Moscow State University Bulletin], series 4, 2020, no. 4, p. 55–63.
6. Kaiukova E.P., Kotova I.K. *Osobennosti formirovaniia khimicheskogo sostava podzemnykh vod zony aktivnogo vodoobmena basseina r. Bodrak* [Features of the formation of the chemical composition of groundwater in the zone of active water exchange in the river basin Bodrak]. *Vestnik SPbGU. Nauki o Zemle* [Bulletin of St. Petersburg State University. Earth Sciences], 2017 (62), issue 4, pp. 343–356.
7. Kaiukova E.P., Charykova M.V. *Osobennosti khimicheskogo sostava podzemnykh i poverkhnostnykh vod poligona Krymskoi uchebnoi praktiki geologicheskogo fakul'teta SPbGU* [Features of the chemical composition of ground and surface waters of the Crimean educational practice of the Geological Faculty of St. Petersburg State University]. *Vestnik SPbGU* [Bulletin of St. Petersburg State University], series 7, 2010, no. 3, pp. 29–47.
8. Kaiukova E.P., Iurovskii Iu.G. *Vodnye resursy Kryma* [Water resources of Crimea]. *Geoekologiya, inzhenernaia geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya* [Geoecology, engineering geology, hydrogeology, geocryology], 2016, no. 1, pp. 25–32.
9. Kiriukhin V.A., Tolstikhin N.I. *Regional'naia gidrogeologiya* [Regional hydrogeology]. Moscow, Nedra Publ., 1987, 382 p.
10. Lushchik A.V., Lisichenko G.V., Iakovlev E.A. *Formirovanie rezhima podzemnykh vod v raionakh razvitiia aktivnykh geodinamicheskikh protsessov* [Formation of the groundwater regime in areas of development of active geodynamic processes]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1988, 161 p.
11. Novikov D.A., Chernykh A.V., Dul'tsev F.F., Ses' K.V. *Gidrogeologiya i gidrogeokhimiia Krymskogo poluostrova v svete problemy pit'evogo vodosnabzheniia* [Hydrogeology and hydrogeochemistry of the Crimean Peninsula in the light of the problem of drinking water supply]. *Podzemnye vody vostoka Rossii* [Groundwaters of the East of Russia]. Novosibirsk, 2018, pp. 339–346.
12. *Mislivskaia G. Mishustin: Na vodosnabzhenie Kryma vydeliat 50 mlrd rublei* [Mishustin: 50 billion rubles will be allocated for water supply to Crimea]. Available at: <https://rg.ru/2020/10/19/reg-ufo/mishustin-na-vodosnabzhenie-kryma-vydeliat-50-mlrd-rublej.html> (accessed 21 October 2020).
13. *Arkhiv pogody v Simferopole* [Weather archive in Simferopol]. Available at: [https://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%A1%D0%B8%D0%BC%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5_\(%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F\)](https://rp5.ru/%D0%90%D1%80%D1%85%D0%B8%D0%B2_%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D1%8B_%D0%B2_%D0%A1%D0%B8%D0%BC%D1%84%D0%B5%D1%80%D0%BE%D0%BF%D0%BE%D0%BB%D0%B5_(%D0%BC%D0%B5%D1%82%D0%B5%D0%BE%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D1%86%D0%B8%D1%8F)) (accessed 21 October 2020).
14. *Svodnye dannye gosudarstvennogo ucheta zapasov pit'evykh i tekhnicheskikh podzemnykh vod po sostoianiiu na 01.01.2019* [Summary data of the state accounting of drinking and technical groundwater reserves as of 01.01.2019]. Available at: <https://rgf.ru/bal/itemview.php?iid=7149> (accessed 21 October 2020).
15. *Ustoichivyi Krym. Vodnye resursy* [Sustainable Crimea. Water Resources]. Edited by V.S. Tarasenko, Simferopol, Tavrida Publ., 2003, 413 p.
16. Ustiugov D.L. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote. Nauchnoe soprovozhdenie gidrogeologicheskikh rabot dlia tekhnicheskogo vodosnabzheniia proizvodstvennykh ob'ektov Armianskogo filiala OOO «Titanovye investitsii»* [Research report. Scientific support of hydrogeological works for technical water supply of production facilities of the Armenian branch of Titanium Investments LLC]. Saint-Petersburg, 2017.
17. Ustiugov D.L. *Otchet po nauchnomu soprovozhdeniiu gidrogeologicheskikh rabot dlia tekhnicheskogo vodosnabzheniia proizvodstvennykh ob'ektov publichnogo aktsionernogo obshchestva OOO «Krymskii sodovyi zavod»* [Report on scientific support of hydrogeological works for technical water supply of production facilities of the public joint-stock company LLC “Crimean Soda Plant”]. Saint-Petersburg, 2018.
18. *FGBU «Gidropspegeologiya». Tsentri gosudarstvennogo monitoringa sostoianii nedr i regional'nykh rabot* [FSBI “Gidropspegeologiya”. Center for State Monitoring of Subsoil Condition and Regional Works]. Available at: <http://geomonitoring.ru/objects.html> (accessed 21 October 2020).
19. Iudin V.V. *Geodinamika Kryma* [Geodynamics of Crimea]. Simferopol, DIAPI Publ., 2011, 336 p.
20. Iurovskii Iu.G., Iurovskaia T.N. *Submarinnaia razgruzka treshchinno-karstovykh vod v iugo-zapadnom Krymu* [Submarine unloading of fissure-karst waters in southwestern Crimea]. *Geologicheskii zhurnal* [Geological journal], 1986, vol. 46, no. 3, pp. 58–63.
21. Dublyansky Y. et al (2019) Groundwater of the Crimean peninsula: a first systematic study using stable isotopes, *Isotopes in Environmental and Health Studies*, 55:5, 419-437.