

КАРСТОВАЯ РЕСПУБЛИКА

КРЫМСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
СИМФЕРОПОЛЬСКИЙ ГОСУНИВЕРСИТЕТ
КРЫМСКИЙ ИНСТИТУТ ПРИРОДООХРАННОГО
И КУРОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В. Н. ДУБЛЯНСКИЙ, Г. Н. ДУБЛЯНСКАЯ

КАРСТОВАЯ РЕСПУБЛИКА

(Карст Крыма и его проблемы)

Рецензент: **А. Н. Олиферов**, доктор географических наук, профессор, действительный член Крымской Академии Наук

Дублянский В. Н., Дублинская Г. Н.
Д 79 Карстовая республика (Карст Крыма и его проблемы). Симферополь, 1996. - 88 с.

В книге рассмотрены новые методические подходы к выделению закарстованных территорий и проблемы, возникающие при их хозяйственном освоении. Освещены некоторые гидрогеологические, инженерно-геологические, палеогеографические проблемы, связанные с карстом.

Предназначается геологам, географам, геоэкологам, работникам управленческих структур, проектным, изыскательским и природоохранным организациям, преподавателям и студентам вузов.

с В. Н. Дублянский, Г. Н. Дублянская, 1996

ПРЕДИСЛОВИЕ

На значительной части территории Республики Крым на поверхности или неглубоко от нее залегают растворимые в воде (карстующиеся) карбонатные породы, в основном — известняки, имеющие разные генезис, состав, строение и возраст. С ними связан ряд месторождений полезных ископаемых. Известняки представляют собой специфические коллекторы, в которых формируются пресные и минеральные, холодные и термальные карстовые воды.

Интенсивное развитие процессов растворения и размыва известняков на протяжении нескольких миллионов лет привело к формированию карстовых ландшафтов, широко развитых как в Горном (Главная, Внутренняя и Внешняя гряды), так и в Равнинном Крыму (Тарханкут, Керченский полуостров). Наземные проявления карста — это поля воронок Чатырдага и Караби, котловина Когей и полье Бештекне, обрывы Ай-Петри и теснины Большого каньона. Подземные проявления — сотни пещер, поражающих своим натечным убранством. Более мелкие карстовые формы — корродированные трещины, каверны, каналы, порождают провалы под зданиями, утечки воды из водохранилищ, способствуют распространению на большие расстояния загрязнителей и пр.

Крым относится к хорошо изученным карстовым регионам Восточной Европы (4). Карстовую область Горного Крыма первым выделил в начале XX ст. А. А. Крубер (36). Изучением карста полуострова занимались многие организации: в 30-е гг. — ВСЕГЕИ (Ленинград, И. К. Зайцев, Н. Ф. Погребов, В. Ф. Пчелинцев и др.), в 40-50-е гг. — МГРИ, МГУ, ВСЕГИНГЕО (Москва, И. Г. Глухов, Н. И. Николаев, М. В. Муратов, М. В. Чуринов и др.). Весомый вклад в решение ряда научных и практических карстологических проблем Крыма принадлежат сотрудникам Института минеральных ресурсов АН УССР, позднее — Мингео УССР (Симферополь, И. Н. Васильев, В. Н. Дублянский, Л. П. Задорожная, С. М. Зенгина, Б. Н. Иванов, А. В. Лушик, Е. В. Львова, В. П. Мелешин, В. И. Морозов, Т. И. Устинова, Ю. И. Шутов и др.), которые в 50-80 гг. проводили комплексные исследования карстовых районов Украины.

Б. Н. Иванов был инициатором постановки первых геофизических и гидрологических исследований крымского карста, создателем Комплексной Карстовой экспедиции, отряда по опережающей разведке Ялтинского гидротоннеля и пр. В ИМРе были проведены первые работы по картографированию карста полуострова, оценке его гидрогеологического значения, моделированию и пр. В 70-80-е гг. под руководством В. Н. Дублянского сформировалась карстологическая школа Симферопольского университета (Г. Н. Амеличев, Б. А. Вахрушев, В. П.

Душевский, Л. М. Соцкова и др.), а в 90-е гг. начала формироваться геоэкологическая школа Крымского института природоохранного и курортного строительства (рук. Г. Н. Дублянская), которые использовали богатый научный и организационно-методический потенциал пермской карстовой школы проф. Г. А. Максимовича. Крымская карстологическая школа — сплав опыта, знаний, методических приемов, накопленных за десятки лет.

Карст многолик. С одной стороны он определяет специфические геологические условия и неповторимый ландшафтный колорит Крыма, с другой — создает серьезные трудности при освоении закарстованных территорий. Прямое или опосредованное влияние карста испытывают многие отрасли хозяйства Крыма. К сожалению, это не всегда осознают представители законодательной и исполнительной властей, проектировщики и строители, хозяйственники и многочисленные гости республики. В результате принимаются непродуманные законы и решения, удорожается строительство и эксплуатация сооружений, наносится непоправимый ущерб природе и культурно-историческим памятникам полуострова.

По глубокому убеждению авторов устойчивое развитие Крыма в целом и его отдельных элементов — промышленно-городских агломераций, аграрно-промышленных, марикультурных и курортно-рекреационных комплексов, также, как и грамотное решение возникающих при этом геоэкологических проблем, невозможны без учета особенностей Крыма как «карстовой республики». Поэтому главная задача настоящей работы — ознакомление широкого круга читателей с карстом Крыма и его проблемами.

ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Современные представления о карсте Крыма сложились к концу 70-х гг. и нашли отражение в десятках опубликованных монографий (9,16,20,22,34,43,44), сотнях научных статей и научно-производственных отчетов. Однако к концу 80-90-х гг. стали намечаться противоречия между используемыми теориями и новыми данными о карсте Мира. Под влиянием антропогенного воздействия резко ухудшилась экологическая обстановка на закарстованных территориях; карстовые аварии и катастрофы стали происходить в районах, ранее вообще не относимых к карстовым или при глубинах залегания карстующихся пород 100,200 и даже 400 м., ранее считавшихся безопасными. Это определило необходимость разработки новых подходов к выделению закарстованной территории как части геологической среды, сложенной карстующимися породами с развитыми в них карстопроявлениями.

При реализации проекта «Распространение карстующихся пород на территории СССР» (карта в масштабе 1:2500000) авторы предложили, а затем — апробировали в разных геолого-структурных, геоморфологических и гидрогеологических условиях новые пути решения возникающих проблем. В связи с распадом СССР более или менее полную сводку удалось опубликовать только для территории Украины (11). Эта работа в 1994 г. была отмечена Государственной премией Республики Крым. Однако идеи, изложенные в ней, остались мало известными как специалистам-карстологам, так и практикам, проектировщикам и строителям, которые продолжают пользоваться устаревшими теоретическими представлениями и нормативными материалами. Поэтому ниже в сжатой форме изложены основные теоретические и методические положения, разработанные авторами и использованные в настоящей работе.

Картографирование карстующихся пород

Согласно существующим нормативным и справочным документам рекомендуемая глубина разведочных скважин при инженерно-геологических изысканиях на закарстованных территориях составляет 20 м. Этого явно недостаточно для выявления карстующихся пород в геологическом разрезе и дальнейшей оценки закарстованности территории. Авторы предлагают следующие принципы выделения и картографирования карстующихся пород:

- картируется первая от поверхности толща карстующихся пород, вне зависимости от происхождения, мощности и состава покрывающих некарстующихся отложений;
- карстующиеся породы выделяются на вспомогательных картах в пределах каждого стратиграфического подразделения;

- выделяются карстующиеся породы разного состава толщи переслаивания карстующихся и некарстующихся пород, прослои карстующихся пород среди некарстующихся;
- на основной карте, составляемой методом наложения вспомогательных карт, отражаются состав и возраст карстующихся пород, залегающих первыми от поверхности.

Картографирование типов карста

До последнего времени типологическая характеристика карста осуществлялась путем выделения и отдельного картографирования двух независимых групп признаков: состава карстующихся пород и характера перекрывающих отложений. В результате возникло противоречие: классы карста (горный, равнинный) подразделялись на равнозначные, но выделяемые по разным признакам типы. При этом не учитывалась возможность развития карста в толщах переслаивания пород разного состава, а его типы выделялись на основании критериев, имеющих количественное звучание (полупокрытый, полузадернованный и пр.), но слабо поддающихся картографированию. Авторами разработан новый, формализованный подход к проблеме (11).

По литологии выделяются 6 типов и 16 подтипов карста: *карбонатный* (известняковый, меловой, доломитовый), *сульфатный* (гипсовый, ангидритовый), *соляной* (каменной и калийных солей), *толщ переслаивания карстующихся пород* (сульфатно-карбонатный, соляно-карбонатный, сульфатно-соляной), *толщ переслаивания карстующихся и некарстующихся пород* (терригенно-карбонатный, терригенно-сульфатный, терригенно-соляной), *прослоев карстующихся пород среди некарстующихся* (карбонатно-терригенный, сульфатно-терригенный, соляно-терригенный).

По характеру перекрывающих отложений выделяются четыре типа карста: *открытый* (карстующиеся породы выходят на поверхность или покрыты осадочными несцементированными отложениями мощностью до 2 м), *покрытый* (карстующиеся породы покрыты осадочными несцементированными отложениями разного происхождения мощностью более 2 м), *перекрытый* (карстующиеся породы перекрыты осадочными сцементированными, магматическими или метаморфическими породами), *перекрыто-покрытый* (карстующиеся породы перекрыты осадочными несцементированными отложениями, осадочными сцементированными, магматическими или метаморфическими породами).

Картографирование карстопроявлений

В географических и геологических описаниях закарстованных территорий в произвольных сочетаниях используются карстопроявления более 50 наименований. Большинство из них жестко не определено (50), что порождает значительный смысловой «люфт». Авторы предлагают использовать набор из 33 терминов, позволяющий дать достаточно полную характеристику любого карстового региона. OIBI объединяются в пять типов карстопроявлений.

Зоны изменений свойств пород: брекчирования, дезинтегрирования, кавернозности, закарстованности, разуплотнения.

Поверхностные формы карста: карры, карровые поля, ниши, впадины, мульды, просадки, провалы, воронки, котловины, поля, рвы, лога, овраги, долины, каньоны, останцы.

Подземные формы карста: корродированные трещины, полости, колодцы, шахты, пещеры.

Водные объекты: источники, реки, озера.

Отложения: известковые туфы, брекчия, карбонатная мука, песчано-глинистый заполнитель полостей.

Разным типам карста свойственен различный набор типов и подтипов карстопроявлений.

Карстологическое районирование

При карстологическом районировании используются два подхода: региональный и типологический (4,49).

Региональное карстологическое районирование. В качестве основных классификационных признаков используются структурно-тектонический (выделение стран, провинций, областей, районов) и геоморфологический (выделение подрайонов и участков). Определение их границ по структурно-тектоническому признаку позволяет получить важную инженерно-геологическую характеристику — площадь развития карстующихся пород в пределах таксона.

Типологическое карстологическое районирование. Осуществляется с помощью матрицы, вертикальные ряды которой отвечают литологическим типам карста (1-VI), а горизонтальные — типам карста по характеру перекрывающих отложений (А-Г). На пересечении рядов возникает новая единица инженерно-геологического районирования — «тип закарстованной территории», имеющая двойной индекс (например, А-1а — открытый карбонатный карст). Такой прием резко повышает информативность составляемых карт, которые дают более полное представление об условиях развития карста (10). При картографировании закарстованной территории в более крупных съемочных масштабах (1:25000 — 1:5000) выделяются подтипы, имеющие цифровые и буквенные индексы (А₁-1а, А₁-1б и т. д.).

Оценка естественных условий развития карста и его антропогенной активизации

Методика оценки естественных условий развития карста разработана слабо и в основном — для объектных или детальных исследований (47, 51). Авторами предложен балльный метод оценки каждого из четырех основных условий развития карста, реализующихся через двадцать ведущих факторов (11). Для каждого из них разработаны пятибалльные, в основном — линейные шкалы, учитывающие закономерности развития карстового процесса в разных районах. Наличие растворимых пород определяется по степени развития в плане и в разрезе, литологии, типу карста по характеру перекрывающих отложе-

нии и их мощности; наличие водопроницаемости - по структурно-тектоническим условиям, залеганию пород, расстоянию от крупных тектонических нарушений, водопроницаемости пород и перекрывающих отложений, тектоническому режиму; наличие движущихся вод - по количеству эффективных осадков и конденсационных вод, величине поверхностного и подземного стока и его уклону; наличие агрессивных свойств — по минерализации, pH, температуре карстовых вод а также по возможному повышению их растворяющей способности (дополнительное поступление CO₂, окисление сульфидов, коррозия смешивания и др.). Территория покрывается сеткой, каждый квадрат которой рассматривается в качестве операционно-территориальной единицы (ОТЕ). После набора баллов по всем показателям для каждой ОТЕ, их суммирования и сглаживания методом скользящего окна строится карта балльной факторной оценки (в изолиниях). По статистическим параметрам (среднее арифметическое плюс-минус сигма) строятся четыре границы, по которым выделяются пять градаций условий: весьма благоприятные, благоприятные, средне благоприятные, слабо благоприятные, неблагоприятные.

Антропогенная активизация карста оценивается по видам хозяйственной деятельности (распашка, орошение, вырубка леса, гражданское, промышленное, гидротехническое, коммуникационное строительство, горнодобывающая, водохозяйственная деятельность и пр.). Перечисленные сведения заимствуются из атласов, справочников, карт. Оценка антропогенной активизации также производится балльным методом, по градациям: очень сильная, сильная, средняя, слабая, очень слабая.

Оценка карстоопасности территории

Оценка потенциальной карстоопасности территории производится с помощью матрицы, в вертикальных рядах которой располагаются оценочные показатели естественных условий развития карста (от неблагоприятных до весьма благоприятных), а в горизонтальных — его антропогенной активизации (от очень слабой до очень сильной). В узлах матрицы размещаются оценочные показатели степени потенциальной карстоопасности (низкая, средняя, высокая, весьма высокая, катастрофическая). Эти данные проверяются фактическими материалами о проявлениях на изучаемой территории карстовых аварийных ситуаций, аварий и катастроф. *Аварийная ситуация* — это снижение устойчивости закарстованной территории, создающее угрозу инженерному сооружению; *карстовая авария* — снижение устойчивости закарстованной территории, вызвавшее повреждение инженерного сооружения, иногда сопровождающееся травмами; *карстовая катастрофа* — крупная авария, вызвавшая разрушение инженерного сооружения, иногда сопровождающаяся человеческими жертвами (18). При переходе к более крупным съемочным масштабам следует использовать другие методы оценки карстоопасности, в частности — гидрохимический, дающий представление об интенсивности природного и техногенного карста (мкм/год).

КАРСТ КРЫМА

Общая характеристика

Карстологическое районирование впервые было выполнено В. Н. Ивановым (28). По его данным площадь развития карста в Крыму достигает 7000 км² (27,2% территории). В Горном Крыму выделялось 14 различных по площади карстовых районов, в Предгорном — 3, в Равнинном — 1 (рис. 1). Позднее в Равнинном Крыму было выделено еще 4 карстовых района (43). В типологическом отношении карст Крыма подразделялся на два класса (горный и равнинный) и ряд типов (голый, задернованный, покрытый).

При карстологическом районировании карстующихся пород бывшего СССР (1987-1992 гг.) авторами установлено, что площадь их распространения в Крыму составляет 21,3 тыс. км² или 84% территории полуострова (10). Здесь наиболее развит карбонатный карст (92%), хотя имеются территории, сложенные толщами переслаивания карстующихся пород с некарстующимися (8%). Наибольшее развитие получили покрытый (73%) и открытый (27%) типы карста (все расчеты выполнены по карте масштаба 1:2500000). В Крыму известны все 5 выделенных типов карстопроявлений, представленные большинством их подтипов (88%).

Крым располагается в пределах Крымско-Кавказской и Восточно-Европейской карстовых стран (4), относясь к карстовым провинциям Крымского горно-складчатого сооружения и Скифской плиты. На его территории выделяются Горно-Крымская и Равнинно-Крымская карстовые области с четырьмя и пятью районами (рис. 2).

При обзорном картировании в Крыму выделяются 4 типа закарстованных территорий: открытый и покрытый известняковый (А-Ia, Б-Ia), открытый и покрытый терригенно-карбонатный (А-Va, А-V6). В разных карстовых областях и районах они занимают различные площади (рис. 2, табл. 1).

Балльная оценка показала, что в Крыму естественные условия развития карста средне благоприятные (54%), благоприятные (22%), слабо благоприятные (15%) и лишь на 9% площади - весьма благоприятные.

Антропогенная активизация карста средняя (86%) и лишь на участках влияния крупных промышленно-городских агломераций — сильная (14%). В разных карстовых областях и районах эти соотношения меняются (рис. 3, табл. 2)

В целом в горном Крыму преобладают территории с весьма высокой (60%), в равнинном — с высокой (94%) степенью потенциальной карстоопасности. На обзорном уровне территории с низкой и катастрофической карстоопасностью не выделяются, хотя при локальной или объектной оценке их появление возможно (рис. 4, табл. 2). За последние 100 лет в Крыму неоднократно отмечались карстовые аварийные ситуации и аварии (11,29).

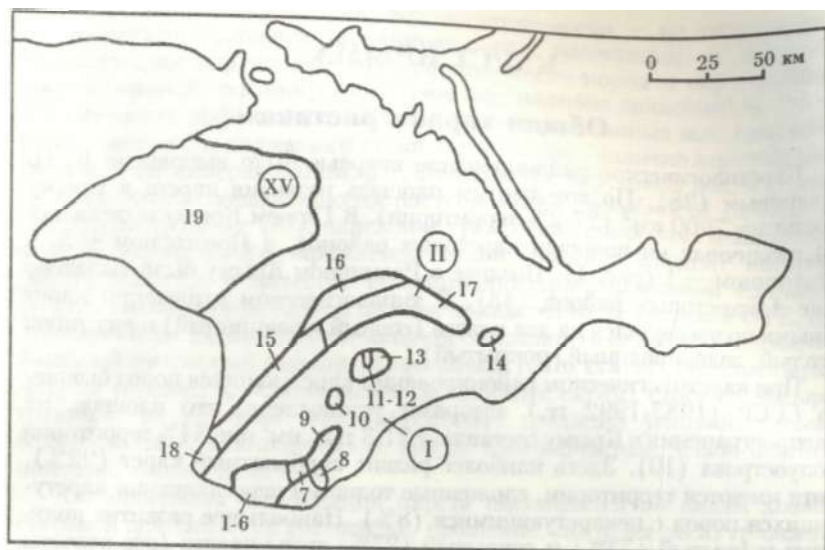


Рис. 1. Карстологическое районирование Крыма по Б. Н. Иванову (28).

Карстовые области: I — Горно-Крымская, II — Предгорно-Крымская, XV — Равнинно-Крымская.

Карстовые районы: 1 - Варнугский, 2 — Байдарский, 3 - Приморский, 4 — Западно-Айпетринский, 5 - Центрально-Айпетринский, 6 — Восточно-Айпетринский, 7 — Ялтинский, 8 - Никитский, 9 - Бабуганский, 10 - Чатырдагский, 11 — Демерджинский, 12 — Долгоруковский, 13 — Карабийский, 14 - Агармышский, 15 - Бахчисарайский, 16 - Симферопольский, 17 - Белогорский, 18 - Севастопольский, 19 - Тарханкутский.

Приведенные сведения, естественно, дают только самое общее представление о масштабах развития карста Крыма. Для раскрытия его особенностей необходимы более детальные региональные исследования, а для использования новых представлений в практической деятельности — проведение крупномасштабных съемочных работ.

Карст Горного Крыма

В Горно-Крымской карстовой области карстующиеся породы имеют разный возраст. Они представлены органогенными карбонowymi и пермскими известняками (экзотические глыбы), органогенными, хемогенными и обломочными известняками Оксфорда, кимериджа, титона-берриаса, турона, коньяка и кампана, мшанковыми и криноидными известняками палеоцена, нуммулитовым и мелоподобными известняками эоцена, органогенными и обломочными известняками среднего миоцена. Карстующиеся породы образуют непрерывные разрезы мощностью от 35—250 до 1000—1300 м, либо чередуются с некарстующимися породами разного состава и мощности. На отдельных участках к карстующимся породам относятся также верхнеюрские конгломераты на карбонатном цементе и четвертичные известковые туфы. Карстующиеся породы имеют пестрый химический состав (среднее содержание

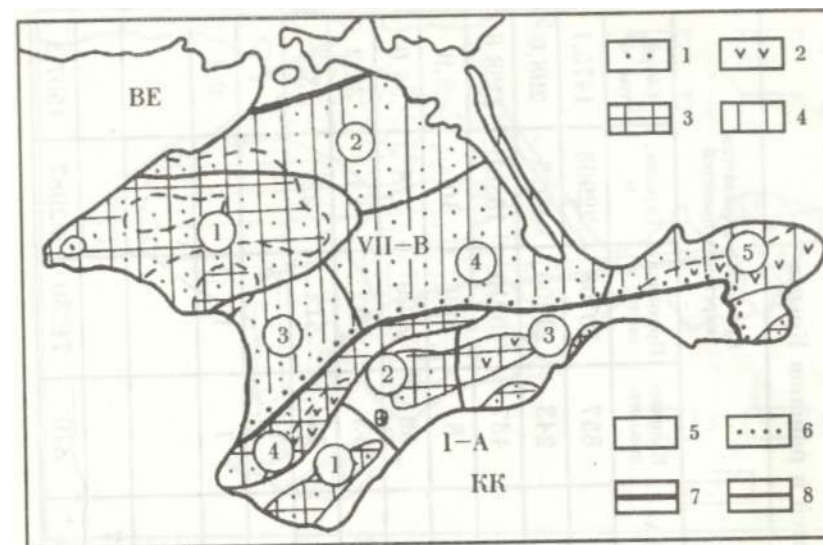


Рис. 2. Карстологическое районирование Крыма по Г. Н. и В. Н. Дублинским (11).

Региональное районирование. Карстовые страны: KK - Крымско-Кавказская, BE - Восточно-Европейская. Карстовые провинции: I — Крымского горно-складчатого сооружения, VII - Скифской плиты. Карстовые области: I A — Горно-Крымская, VII B - Равнинно-Крымская. Карстовые районы. I A: 1 - Юго-Западный, 2 - Центральный, 3 - Северо-Восточный, 4 - Предгорный. VII B: 1 — Тарханкутский, 2 - Северо-Сивашский, 3 — Альминский, 4 - Центрально-Крымский, 5 — Керченский

Типологическое инженерно-геологическое районирование. Цитологические типы и подтипы карста: 1 — карбонатный (известняковый); 2 — толщ переслаивания карстующихся и некарстующихся пород (терригенно-карбонатный). Типы карста по характеру перекрывающих отложений: 3 — открытый, 4 — покрытый, 5 — участки, где карстующиеся породы в геологическом разрезе отсутствуют.

Границы: а - карстовых провинций, б - карстовых областей, в - карстовых районов

CaO+MgO 52,8%, нерастворимого остатка 4,2%). Лучше всего карстуются неслоистые и толстослоистые известняки (16).

В пределах Главной гряды карстующиеся породы слагают массивы, водоупорный цоколь которых повсеместно (кроме ее юго-западной и северо-восточной оконечностей) приподнят выше уровня моря, а в пределах Внутренней и Внешней гряд образуют структуры, полого погружающиеся к северу. Их водопроницаемость определяется тектонической трещиноватостью. Преобладают системы трещин с простиранием 300-310 и 40-60°, 0-10 и 260-270°. В палеогеновых и неогеновых известняках возрастает поровая проницаемость.

Карст области формируется под влиянием инфильтрации, инфлюации и конденсации. Здесь выпадает 450—1200 мм осадков. 15-75% влаги образуется при конденсации. Потери на испарение достигают 450—550 мм. Инфильтрационное питание особенно велико на участках развития открытого карста. Инфлюационное питание выявлено на плато и склонах Главной гряды, а также — на пересечении карстующих-

Таблица 1

Общая характеристика карстовых областей и районов Крыма

Карстовые области и районы	Площадь, занятая карстующимися породами		Типы закарстованных территорий, %					Суммарные показатели карстовых полостей				
	км ²	%	А-Ia	А-Va	B-Ia	B-Va	Количество, шт.	Протяженность, м	Глубина, м	Объем, тыс. м ³		
Горно-Крымская												
1. Юго-Западный	2300	37,7	73	27			857	70708	22963	1475,1		
2. Центральный	560	43,0	100				243	21900	8975	298,6		
3. Северо-Восточный	450	37,5	100				437	46010	13301	1138,6		
4. Предгорный	510	24,2	20	80			8	269	109	2,9		
780	52,0	72	28				69	2529	578	35,0		
Равнинно-Крымская	18960	98,0	18		76	6	13	522	24	32,2		
1. Тарханкутский	5100	100,0	66		34		12	512	22	32		
2. Северо-Сивашский	4000	100,0			100		1	10	2	0,2		
3. Альтинский	2500	100,0			100							
4. Центральнo-Крымский	5500	100,0			100							
5. Керченский	1860	85,0	5		38	57						
Всего	21260	84,0	24	3	68	5	870	71230	22987	1507,3		

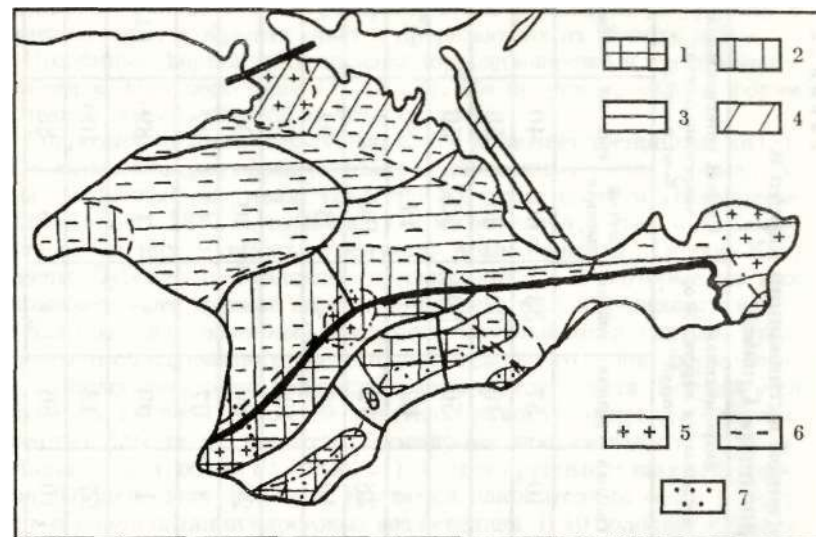


Рис. 3. Характеристика естественных условий развития и антропогенной активизации карста Крыма.

Естественные условия развития карста: 1 - весьма благоприятные, 2 - благоприятные, 3 - средние благоприятные, 4 - слабо благоприятные.

Антропогенная активизация карста: 5 - средняя, 6 - сильная, 7 - слабая.

ся пород долинами рек. Подземные воды имеют невысокую (до 12 С) температуру и низкую (150-400 мг/л) минерализацию, что определяет их значительную карбонатную агрессивность (8).

В Горном Крыму известны карстопроявления 23 подтипов (11). Наиболее часто встречаются карры, ниши, корродированные трещины; чуть реже — воронки, источники; еще реже — полости, колодцы, шахты, пещеры, зоны кавернозности и закарстованности, заполнитель полостей; далее идут просадки, провалы, рвы, лога, долины, котловины, известковые туфы; замыкают ряд каньоны, поля, реки, останцы. Основной формой, создающей своеобразие карстового рельефа яйл, являются воронки (в основном, коррозионные, реже — коррозионно-гравитационные), которых на Главной гряде более 5000. Их плотность в среднем составляет 6,2 шт/км, повышаясь на Айпетринском и Чатырдатском массивах до 7,7—16,8 и снижаясь на Никитском массиве до 1,2—2,8 шт/км. На Внутренней гряде встречаются единичные разнотипные воронки небольших размеров. На Главной гряде широко развиты коррозионно-эрозионные котловины, имеется одно небольшое поле (Бештекне, 0,3 км). Эрозионные формы на плато представлены логами, а на склонах массивов — долинами рек, имеющими обычную для карстовых районов морфологию. В приразрышных зонах крупных нарушений изредка возникают каньоны (Большой, Коккозский, Узунджинский, Чернореченский). В Байдарской долине известны карстовые останцы коррозионного и эрозионно-тектонического происхождения. В

Оценка естественных условий развития антропогенной активизации карста и потенциальной карстоопасности территории Крыма

Карстовые области и районы	Площадь, занятая карстовыми породами, тыс. км ²	Естественные условия развития, % от площади				Антропогенная активизация карста, % от площади			Степень потенциальной карстоопасности, % от площади		
		весьма благоприятные	благоприятные	средне благоприятные	слабо благоприятные	сильная	средняя	слабая	весьма высокая	средняя	слабая
Горно-Крымская	2300	90	10			10	57	33	60	40	
1. Юго-Западный	560	100					40	60	50	50	
2. Центральный	450	100					50	50	50	50	
3. Северо-Восточный	510	72	28				60	40	14	86	
4. Предгорный	780	88	12			28	72		100		
Равнинно-Крымская	18960		24	60	16	10	90		3	94	3
1. Тарханкутский	5100		11	89			100			100	
2. Северо-Сивашский	4000			35	65	20	80		10	90	
3. Альминский	2500		100			3	97		3	97	
4. Центральнo-Крымский	5500		26	65	9	1	99		1	89	10
5. Керченский	1860			100		57	43			100	
Всего	21260	9	22	54	15	10	86	4	3	88	9

Предгорном районе широко распространены различные по генезису и размерам ниши в обрывах куэст и прорезающих их речных долин.

Подземные формы представлены корродированными трещинами и разнообразными полостями (11,15,22). По происхождению и форме последние подразделяются на четыре класса.

Коррозионно-гравитационный класс включает трещинные колодцы, шахты и пещеры, образованные в прибрежных частях горных гряд и на смещенных массивах. Известно 33 таких полости (суммарные протяженность 2887 м, глубина 1172 м, объем 44,5 тыс. м³). Самые крупные из них — шахты Гремучая, Арык-Башская, Сюрюю-Кая, пещеры Дубовая и Туакская (приложение 1). Некоторые из них вскрывают более древние карстовые полости иного происхождения.

Нивально-коррозионный класс включает колодцы и шахты конусовидного, цилиндрического, шелевидного и сложного типов, формирование которых происходит под воздействием тающего снега. Встречаются только на Главной гряде, на участках развития открытого карста. Известно 386 таких полостей (суммарные протяженность 9820 м, глубина 7273 м, объем 81,0 тыс. м³). Самые крупные — шахты Курюч-Агач, Инженерная, Водяная. Являются накопителями снега и льда, хотя их роль в питании карстовых вод невелика. В 40 полостях имеются многолетние скопления снега суммарным объемом до 10000 м³.

Коррозионно-эрозионный класс включает пещеры и шахты-поноры, вскрытые пещеры и пещеры-источники, формирование которых происходило в основном под воздействием сконцентрированных потоков поверхностных вод. Известно 428 таких полостей (суммарные протяженность 58000 м, глубина 14518 м, объем 1300 тыс. м³). 19 пещер имеют протяженность 500 и более метров, 8 — глубину 200 и более метров (приложение 1). Полости этого класса часто объединяются в карстовые водоносные системы. Самые крупные из них — Солдатская — Карасу-Баши (21 26 км), Бештекне — Узунджа — Черная (13 км), Провал — Красная (7,6 км), Каскадная — Хастабаш (4,6 км). Их существование установлено опытами с окрашиванием, но пока не подтверждено спелеологическим прохождением. Большинство полостей заложено в неслоистых или толстослоистых известняках (содержание нерастворимого остатка 1,5-4,0%), однако известны пещеры, использующие прослои песчаников (Узунджа, Джур-Джур, Желтая, содержание SiO₂ 73-76%) или целиком находящиеся в кварцево-песчаниковых конгломератах (Джурла, содержание SiO₂ 60-70%, Al₂O₃ 24-30%).

В пещерах в известняках обнаружены крупные залы, 8 из которых по площади превосходят 1 тыс. м², а по объему — 10 тыс. м³: Кара-Мурза, Карани, Каскадная, Красная, Кристальная им. Максимовича, Мраморная, Эгиз-Тинах-1 и III.

Коррозионно-абразионный класс выделен в 80-е гг. Он включает около десятка небольших пещер в районе Судака и Севастополя. Эти полости формируются под совместным воздействием абразии и коррозии смешивания (пресные и морские воды). Часть из них располагается выше уровня моря (реликтовые полости мыса Капчик), часть — ниже (мыс Айя).

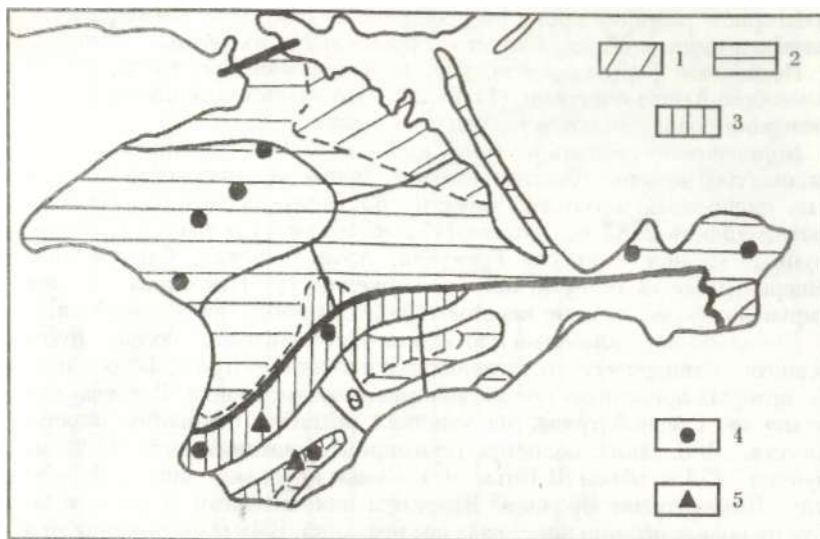


Рис. 4. Степень потенциальной карстоопасности территории Крыма.

Степень карстоопасности: 1 - средняя, 2 - высокая, 3 - весьма высокая.

Проявления карстоопасности: 4 — карстовые аварийные ситуации, 5 — карстовые аварии.

Большинство карстовых пещер и шахт сформировалось на неотектоническом этапе развития Горного Крыма, начиная со среднего плиоцена. На Ай-Петринском и Чатырдагском массивах обнаружены более древние (мел-палеогеновые) полости гидротермального происхождения. К ним, очевидно, относится пещера Карани на Карабийском массиве.

В карстовых полостях Крыма широко развиты отложения всех известных генетических типов (15, 22). В 90-е гг. выявлена связь карстовых полостей с проявлениями разрывной тектоники. По зависимостям, связывающим вероятную ширину приразрывных зон с протяженностью разрывов разных рангов (глубокого заложения, межблоковых, внутриблоковых), определена их площадь (6% от площади Главной горной гряды). При случайном распределении карстовых полостей здесь их должно быть также не более 6% (53 шт.). Реально в пределах приразрывных зон располагается 62% коррозионно-эрозионных полостей и 72% крупных залов. Для полостей с сейсмопроявлениями (разрывы ходов, провальные накопления, смещение колонн) этот показатель еще выше (87%).

Статистический анализ направлений заложения полостей показывает, что до глубины 20 м они равновероятно используют тектонические трещины восьми-двенадцати, 20-40 м — четырех-шести, более 40 м — одного двух направлений. Большинство карстовых полостей Горного Крыма сформировано инфлюационными и инфильтрационными водами. Отдельные полости (Карани), возможно, сформированы термаль-

ными водами. В пределах Внутренней горной гряды, где эоценовые известняки симферопольского яруса погружаются под мергели и глины новопавловского горизонта, ряд полостей, очевидно, сформировался по артезианской модели (33, 38).

Разгрузка карстовых вод Горного Крыма происходит через многочисленные (более 2500) источники. Источники с расходом свыше 10 л/с составляют всего 4%, но через них проходит более 80% подземного стока. Многие источники связаны с карстовыми водоносными системами. На 20 из них известны отложения известковых туфов, сформировавшиеся примерно 20000 лет назад. Установлены участки подводной разгрузки карстовых вод (мыс Айя и др.). Для участков Предгорного Крыма характерен отток карстовых вод в водоносные горизонты Равнинного Крыма.

Интегральной характеристикой интенсивности карстового процесса на территории Горного Крыма является величина химической денудации. Для ее расчета использованы данные о расходах 444 источников и более 2300 химических анализов (25). В пределах Главной гряды она составляет в среднем 42,9, а Внутренней гряды — 10 мкм/год. Материалы, полученные в карстовых полостях и методом таблеток, свидетельствуют, что 60% карстовой пустотности формируется на глубине до 100 м, 30% — 100—300 м, 30% — глубже 300 м. Химическая денудация минимальна в летний (12%) и осенний (21%), максимальна - в зимний (35%) и весенний (32%) сезоны. 19% от ее общей величины приходится на март.

В Горном Крыму аварийные ситуации (вскрытие полостей, провалы, утечки) возникают при проходке тоннелей, сооружении прудов и водохранилищ, планировке территорий под строительство (Симферополь, Севастополь), подтоплении сельскохозяйственных и урбанизированных территорий. Карстовые аварии происходили в 1927 г. (осушение водохранилища Сикорского), в 1960-1961 гг. (прорывы воды в Ялтинском гидротоннеле), в 1964 г. (осушение Ново-Ульяновского водохранилища). Наибольшая антропогенная активизация выявлена на урбанизированных территориях Внутренней гряды (табл. 2).

Карст Равнинного Крыма

В Равнинно Крымской карстовой области карстующиеся породы представлены меловыми, палеогеновыми и неогеновыми карбонатными отложениями, разделенными некарстующимися песчано-глинистыми толщами на пять водоносных комплексов: верхнемеловой, дат-инкерманский, эоценовый, среднемiocеновый и верхнеогеновый (11,43). В Керченском районе карстующиеся породы известны в составе отложений чокракского, караганского и конкского горизонтов, сарматского, мзотического и понтического ярусов. Особенностью района является наличие сложных складок. Рифовые тела известняков мощностью до 20 и более метров разделены глинисто-песчаными отложениями и развиты преимущественно на крыльях, складок. Это определяет пестроту распространения карстовых форм.

Карст области формируется в условиях недостатка влаги. Основные объемы естественного питания поступают с Внутренней и Внешней горных гряд при норме осадков 350-450 мм, а испарения 320-420 мм. Местное питание осуществляется только после сильных дождей и снеготаяния. Мощным источником антропогенного питания является Северо-Крымский канал. Характерной особенностью региона является наличие взаимосвязей между водоносными горизонтами на тех территориях, где имеются различия между их уровнями и напорами. Минерализация подземных вод вниз по разрезу возрастает от 0,5-1,5 до 5-10 г/л. В неогеновых водоносных комплексах преобладают агрессивные подземные воды (8,43).

В Равнинном Крыму известны карстопроявления 28 подтипов. Насто встречаются карры, впадины, зоны кавернозности, заполнитель полостей; реже — просадки, провалы, воронки, лога, ниши, пещеры, зоны дезинтеграции; еще реже — колодцы. К поверхностным формам относятся разнообразные карры (Тарханкутский район), ниши (в бортах эрозионных врезов и в береговых обрывах), лога, отдельные воронки различного происхождения (в Керченском районе последние часты над катакомбами). В условиях покрытого карста формируются просадки, иногда антропогенного происхождения. Подземные формы встречены также буровыми скважинами и горными выработками. По данным УкрГИМР (Ю. И. Шутов) в Равнинном Крыму 259 из 2700 буровых скважин вскрыли кавернозные зоны и полости с кальцитовым заполнителем, а 37 — крупные полости (7 случаев — с провалом инструмента). Закарстованность выявлена на отметках от +170 до —200 м, причем 60% карстопроявлений располагается ниже уровня моря. На Керченском полуострове карстопроявления встречены в 27 из 1500 буровых скважин. Каверны и полости размерами от 0,3 до 1,9 м обнаружены на глубине до 1000 м. Иногда они заполнены карбонатным или глинистым материалом. Пещеры и единичные колодцы известны только на Тарханкуте и Опуке. Наибольшая из них имеет протяженность 150 м. Большинство пещер подтоплено морем и разрушается прибоем. В пределах области имеется много горных выработок-катакомб, суммарной протяженностью сотни км. Их наличие способствует возникновению гравитационных и суффозионных форм. Развитие большинства подземных карстовых форм, очевидно, происходило по артезианской модели (в зонах нисходящей или восходящей фильтрации подземных вод через отдельные слои /33/). Более крупные полости Тарханкутского полуострова сформированы инфлюационными водами в период одной из регрессий Черного моря в плейстоцене (максимальное снижение уровня 80-90 м). В Равнинном Крыму известны две значительных пещеры, относящиеся к коррозионно-абразионному классу — Тарханкутская и Тоннель (приложение 1).

Интенсивная закарстованность неогеновых и нижнемеловых карбонатных пород определила многие особенности гидрогеологаш Равнинного Крыма: повышенную до 30 тыс. м² водопроницаемость пород, пестроту дебитов эксплуатационных и поглощающих скважин, колебания уровней и химизма воды в гагах и пр. Гидрогеология Равнинного Крыма хорошо изучена в связи с активным использованием подземных вод для

водоснабжения (3), а также — с созданием здесь ПДГМ — постоянно действующей гидродинамической модели (42).

В Равнинном Крыму аварийные ситуации (нарушения облицовки каналов, утечки, просадки) неоднократно возникали в 60-80-е гг. при гидротехническом (Черноморская ветка Северо-Крымского канала), гражданском и промышленном строительстве (просадки в г. Шелкино, провалы над естественными и искусственными полостями в Евпатории, Керчи и др.). Крупные утечки отмечены в 1988-1990 гг. на Межгорненском водохранилище. Угроза возникновения серьезной карстовой аварии на этом важнейшем народнохозяйственном объекте сохраняется до настоящего времени.

ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ОСВОЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ КРЫМА

На закарстованных территориях Крыма наибольшее развитие получили 6 типов деятельности: сельскохозяйственная, лесохозяйственная, водохозяйственная, промышленная, горнодобывающая и рекреационная (10,54). Все они в той или иной мере влияют на основные условия развития карста (наличие карстующихся пород и их водопроницаемости, движущейся воды и ее агрессивности), в то же время испытывая на себе позитивное или чаще — негативное влияние карстовых, карстово-суффозионных и суффозионно-карстовых процессов. В основе любых типов и видов хозяйственной деятельности человека в Крыму лежит водопользование, с одной стороны — лимитирующее развитие разных отраслей народного хозяйства, с другой — способствующее изменениям в худшую сторону физико-механических свойств карстующихся и перекрывающих пород, снижению инженерной и экологической устойчивости территории. Наличие в Крыму крупных естественных (пещеры) и искусственных (горные выработки) подземных пространств порождает проблему их комплексного использования и охраны. Рассмотрение вопросов, связанных с хозяйственным освоением закарстованных территорий, начнем с водохозяйственных проблем.

Водохозяйственное освоение закарстованных территорий

Особенности водного режима закарстованных территорий (отрицательный водный баланс теплого периода года, резкая неравномерность в площадном распределении стока, в расходах карстовых источников на протяжении года и пр.) вынужденно привели к активной водохозяйственной деятельности на территории полуострова. Сперва она ограничивалась внутригодовым и межгодовым регулированием стока.

До 1961 г. суммарные водные ресурсы Крыма составляли 0,83 км³. Наиболее обеспеченной была горная часть полуострова, водные ресурсы которой в 32 раза превышали ресурсы равнинной части. Для регулирования стока, водоснабжения и орошения использовалось 12 крупных водохранилищ и 423 пруда общей площадью 27 км² и объемом 0,13 км³. Эти сооружения не оказывали существенного влияния на закарстованную территорию, хотя на них иногда возникали серьезные карстовые аварии. Так, после землетрясения 1927 г. полностью осушилось водохранилище Сикорского на Айпетринском массиве. В 1960 г. до проведения специальных противокарстовых мероприятий не набирало воду Ново-Ульяновское водохранилище во Внутренней горной гряде. Серьезные трудности (прорывы воды с расходом до 200 м³/сут при давлении до 8 ат) возникли при сооружении Ялтинского гидротоннеля (7,2 км, 2,6 м³/с).

Водохозяйственная деятельность в Равнинном Крыму до 1948 г. ограничивалась эксплуатацией водоносного комплекса колодцами и

единичными скважинами. Площадь орошаемых земель в отдельные годы колебалась от 17 (1913 г.) до 38 тыс. га (1941 г.). С 1949 г. началось резкое увеличение отбора карстовых вод (пробурено свыше 1500 скважин), который составлял в 1960 г. 0,19 км³, а в 1975 г. — уже 0,55 км³. 80-85% воды использовалось на «малое орошение». Избыточный водоотбор привел к понижению уровня карстовых вод, возникновению региональных депрессий в миоценовых водоносных горизонтах, перетоку минерализованных вод из других водоносных горизонтов, а на отдельных участках побережья — ко вторжению морских вод со скоростью до 400 м/год (рис. 5). Карстологические следствия этих процессов до сих пор не получили должной оценки. Расчеты авторов свидетельствуют, что на побережье Каркинитского залива внедрение морских вод способствовало увеличению коррозии смешивания до 100 мкм/год, что на порядок выше фоновых значений.

В 1961 г. начато строительство Северо-Крымского канала (СКК), первая очередь которого была сооружена в 1961-1979, вторая — в 1975-1989, третья — в 1984-1988 гг. Днепровская вода пришла в Крым в октябре 1963 г. По состоянию на начало 90-х гг. водохозяйственный комплекс Крыма — это магистральный канал (400,5 км, расход на входе в Крым 294 м³/с); 10761,1 км межхозяйственных и внутрихозяйственных каналов (в том числе 16% в земляном русле); 22 крупных водохранилища (площадь 40,1 км², объем 0,39 км³); 857 прудов (объем 0,09 км³); 2925 буровых скважин (291 из них используется для орошения); 14401 км коллекторно-дренажной сети.

Приход днепровской воды в корне изменил водный баланс Крыма. Его суммарные ресурсы возросли до 3,80 км³, а водообеспеченность равнинной части полуострова стала почти в 4 раза больше горной. В 1990 г. водозабор из СКК составил 2,9 км³, что в 9 раз больше, чем объем стока всех рек Крыма (0,32 км³). В целом Крым сейчас «перенасыщен» водой. Территориальная концентрация водопотребления достигла 139,4 тыс. м³/км², в 2 раза превысив среднюю по Украине (54). Суммарная площадь орошаемых земель достигла 380 тыс. га (22% к площади сельхозугодий). Площадь земель, затопленных при сооружении водохранилищ и водоподводящей сети, достигла 8,1% (при средней по Украине 4,0%). Потери стока только из магистрального и межхозяйственных каналов достигли 0,82 км³, что эквивалентно объему стока всех крымских рек или р. Ю. Буг у Первомайска... Начались утечки и из водохранилищ, построенных на закарстованных территориях. Особенно опасное положение сложилось на Межгорненском водохранилище (объем 50 млн. м³). Проведенная в 90-е гг. глинизация его днища полностью проблему не решила. Особенно опасно наращивание его объема до 100 млн. м³, которое увеличит утечки и может привести к карстовой аварии. В 1988 г. без консультаций со специалистами сооружен водовод Межгорное водохранилище - Севастополь (78,5 км, 1,5 м³/с). Без должной экспертизы проектируются или строятся водохранилища на р. Улу-Узень, Коккозка и пр. Их сооружение также может привести к карстовым авариям. Через 30 лет эксплуатации в аварийном состоянии находится Ялтинский гидротоннель, в основном

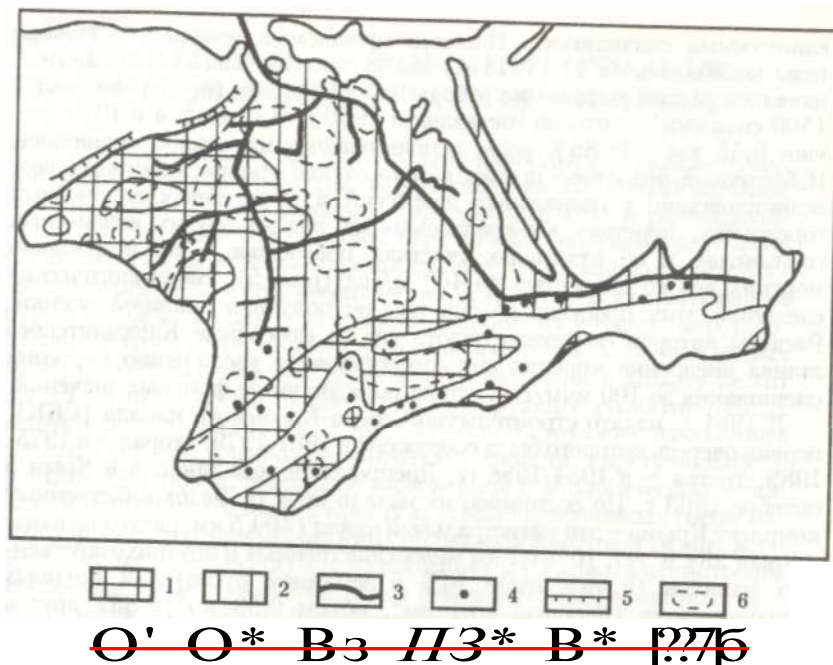


Рис. 5. Размещение на закарстованных территориях Крыма основных водохозяйственных объектов и зон загрязнения подземных вод.
 Типы карста по характеру перекрывающих отложений: 1 — открытый, 2 — покрытый.
 Водонесущие и водосодержащие коммуникации: 3 — магистральный и межхозяйственные каналы, 4 — крупные водохранилища.
 Состояние подземных вод: 5 — участки, где происходит интрузия морских вод, 6 — границы основных контуров загрязнения.

пройденный в карстующихся породах. Работы по сооружению штольни-дублера сейчас заморожены...

Утечки из водохранилищ, водосодержащих коммуникаций и фильтрационные потери с орошаемых земель привели к подъему уровней в карстовых водоносных горизонтах и возникновению парагенезиса карст-подтопление (проявления на одной территории карста и подтопления) (10). На сентябрь 1980 г. в Равнинном Крыму было подтоплено 85600 га сельскохозяйственных земель, 5 городов (Армянск, Джанкой, Керчь, Красноперкопск, Саки), 8 поселков и более 140 сельских населенных пунктов. Оценка затопления на 90-е гг. не производилась, но гидрогеологические данные свидетельствуют, что, несмотря на огромную протяженность коллекторно-дренажной сети, темп подъема уровней грунтовых вод в 80-90 гг. здесь составлял 0,10-0,42 м/год, а в зоне влияния каналов — до 1,5 м/год. В целом в Равнинном Крыму подтопленные, периодически подтопляемые и потенциально подтопляемые территории занимают 55% площади закарстованных территорий.

Изменения в структуре водного баланса Крыма и в масштабах водопользования привели к развитию подтопления и в горной части

Крыма. Здесь парагенезис карст-подтопление развит на 33% закарстованных территорий. Подтоплено 3 города (Симферополь, Севастополь, Феодосия) и 24 сельских населенных пункта (10). В результате процессов, которые обычно начинаются через 3-5 лет после начала подтопления, понизилась инженерная устойчивость закарстованных территорий, начались деформации земной поверхности (просадки, провалы).

Поступление большого объема пресных (потери из каналов, инфильтрация с орошаемых земель, закачка в поглощающие скважины) и минерализованных вод (потери из дренажной сети) в водоносные горизонты активизирует карстовый процесс за счет коррозии смешивания. Расчеты показывают, что средняя величина карстовой денудации на орошаемых территориях возросла в 3 раза, достигнув 30 мкм/год. Реальная картина значительно хуже, так как на участках активного водообмена, связанных с наиболее закарстованными зонами, возможно ее увеличение в 10-15 раз.

Очевидно, следует более рационально использовать запасы высококачественных карстовых вод, питающих не только крупные источники (19 источников с расходом более 100 л/с дают 75% родникового стока Горного Крыма), но и 2400 мелких источников, обеспечивающих «малый сток». В Предгорном и Равнинном Крыму следует сосредоточить внимание на разведке карстовых вод в наиболее обводненных приразрывных зонах. Определенным резервом являются поиски участков субмаринной разгрузки, могущие дать до 100 млн. м³ воды в год (23). Следует полностью отказаться от использования карстовых вод для орошения. Закачку днепровской воды для восполнения их запасов следует применять с осторожностью, так до сих пор не оценены экологические следствия поступления в водоносные горизонты Крыма геохимически чуждой карстовым коллекторам, загрязненной воды Днепра (54).

Сельскохозяйственное освоение закарстованных территорий

В Крыму сельскохозяйственно освоено 68% территории. Главные отрасли хозяйства — растениеводство и животноводство (54).

Растениеводство. Эта отрасль сельского хозяйства развита в основном в Равнинном Крыму, на территориях покрытого карста разных подтипов (покрывающие толщи представлены несвязными аллювиальными, делювиальными, золово-делювиальными, пролювиальными, лиманными и морскими отложениями разной мощности). До недавнего времени считалось, что хозяйственная деятельность в Равнинном Крыму сказывается лишь на участках открытого карста (3,43). На самом деле это не так. Связующим звеном между растениеводством и карстующимися породами является водопотребление, концентрация которого в сельском хозяйстве Крыма достигла огромной величины — 431,0 тыс. м³/км² (в 2,9 раза выше, чем в среднем по Украине).

Растениеводство в Равнинном Крыму в настоящее время развивается в основном на орошаемых территориях, площадь которых достигла

400 тыс. га, а удельный вес по отношению к общей площади сельхозугодий увеличился в 5 раз (с 5,6% в 1965 до 25% в 1995 г). Структура посевных площадей на орошаемых землях Крыма следующая: кормовые культуры — 47,0%, зерновые — 29,6%, многолетние насаждения — 13,5%, овоще-бахчевые и картофель — 5,3%, технические культуры — 4,2%. В основном используются водоемкие технологии поливов — дождевание (82%), полив по бороздам (12,9%), затопление (4,4%). Водосберегающие технологии (капельный, импульсный, подпочвенный полив) составляют всего 0,7%.

Неумеренное расходование воды, огромные утечки из водонесущих коммуникаций (около 30%) и культивирование водоемких культур (в том числе — риса) определили масштабы дополнительного инфильтрационного питания карстовых вод. Выполненный авторами анализ материалов, полученных при работе ПДГМ (3,42), показал, что на 75% закарстованной территории Равнинного Крыма оно составляет $6,8 \cdot 10^{-5}$ м/сут, на 11,5% — $2,11 \cdot 10^{-4}$ на 6,0% — $5,2 \cdot 10^{-4}$, на оставшихся 7,0% — от $6,8 \cdot 10^{-4}$ до $2,5 \cdot 10^{-3}$ м/сут. Таким образом, орошаемое земледелие в Крыму — это мощный фактор избирательной активизации карстовых процессов за счет изменения третьего условия развития карста — наличия движущихся вод.

Не меньшее влияние оказывает растениеводство на четвертое условие развития карста — растворяющую способность карстовых вод. Для повышения урожайности на каждый гектар пашни в Крыму вносится в среднем 68 кг минеральных удобрений и 14 кг ядохимикатов 114 наименований. Они изменяют кислотность среды, что приводит к активизации карста. Многие компоненты, привносимые с удобрениями и ядохимикатами, являются катализаторами карстового процесса (58).

Согласно оценкам, выполненным специалистами ИГН НАН Украины, северная часть Крыма по уровню загрязнения относится к экологически дискомфортным, а восточная — к загрязненным и сильно загрязненным территориям (54). В полной мере это относится и к подземным водам: почти на 20% закарстованных территорий Крыма сформировались устойчивые участки загрязнения (рис. 5). Особенно опасно загрязнение подземных вод продуктами химизации сельскохозяйственного производства. Пестициды поставляют в карстовые коллекторы Hg, Cu, Fe, Al, Zn, Pb, As, Sn; фосфорные минеральные удобрения — Si, Zn, Cd, Cr, Co, Pb, Ni, Sr, V, U-238, Th-232, Ra-226, Pb-210, Po; химические мелиоранты — Mn, Sr, Na, K, Ba, Cr, P, Pb, редкоземельные элементы (54). Кроме особенностей этих загрязнителей (высокая токсичность, стойкость, накопительные свойства), надо учитывать и особенности карстовых коллекторов, в которые они поступают. К ним относятся в первую очередь повышенные фильтрационные свойства, способствующие быстрому и далекому разнесу загрязнителей, наличие приразрывных зон, где происходит их концентрация, очень слабая самоочищающая способность. В качестве главных причин невысокой способности системы «кареюющие породы — вода» извлекать из жидкой среды различные загрязнители являются: практическая неактивность карбонатов к большинству компонентов техногенного загрязнения, малое количество минеральных и органических коллоидов,

слабая интенсивность биохимических процессов в карстовых водах. В последние годы выявилась еще одна опасность — ухудшение качества воды в каналах и водохранилищах Крыма. В ряде проб обнаружено не только повышенное содержание биогенных элементов, но и сине-зеленые водоросли (Межгорненское и Симферопольское водохранилища). Большую опасность представляет поступление в карстовые коллекторы днепровской воды, загрязненной промышленными и бытовыми стоками, тяжелыми металлами и радионуклидами, Днепровские воды потенциально опасны и по содержанию паразитических организмов (гельминтов).

Животноводство. Животноводство в Крыму по стоимости производимой продукции почти соответствует растениеводству. Его отличает низкая продуктивность и преобладание поголовья в личных хозяйствах. Развитие животноводства на территориях открытого и покрытого карста при отсутствии или малой мощности почвенного покрова и покрывающих отложений — опасная тенденция, осужденная мировой практикой. Одним из первых государственных актов правительства Югославии в 1945 г. было полное запрещение сохранения мелкого рогатого скота и овец в личном пользовании. Это позволило через 20 лет восстановить почвенный покров, лесное и водное хозяйство даже такого классического района открытого карста, как плато Крас в Словении.

Мировой опыт свидетельствует, что при разрушении пастбищ растительного покрова на 50% начинаются его смыв и ветровая эрозия, а на 70% — струйчатый размыв. Однократный прогон 1000 голов овец по задернованному склону распыляет почву на глубину 1-3 см (54). Кроме того животноводство является мощным концентратом твердых и жидких отходов в местах стойлового и отгонного содержания. Это приводит к загрязнению карстовых вод аммонием, нитратами, бактериями. Работы УкрГИМР в Горном Крыму выявили четкий годовой ход бактериального загрязнения воды в основных карстовых источниках, связанный с выпасом скота на яйлах. Многие карстовые полости Айпетринского, Карабийского и других массивов используются как скотомогильники.

Изложенное свидетельствует о непродуманности решения о резком увеличении поголовья мелкого рогатого скота и овец, принятого правительством Автономной Республики Крым без консультаций со специалистами. Оно возможно только при четком районировании возникающих дополнительных нагрузок на закарстованную территорию.

Лесохозяйственное освоение закарстованных территорий

К середине XIX в. площадь лесов в Крыму (в основном — в его горной части) составляла около 300 тыс. га. В 1860-1922 гг. она уменьшилась почти на 90 тыс. га в связи с выжиганием на древесный уголь, вырубками на топливо и пр. Большой урон крымскому лесу нанесла Великая Отечественная война, а в 50-е гг. — рубки в целях получения кольев для виноградников. Все эти процессы, в той или иной мере

охватившие 20% площади, занятой лесами, способствовали ухудшению условий питания карстовых вод и снижению расходов источников. К сожалению, балансовые расчеты, позволяющие количественно оценить нанесенный ущерб, не производились.

С середины XX в. под методическим руководством Алуштинской горно-лесной станции осуществлен огромный объем работ по облесению яйл и склонов карстовых массивов на площади более 70 тыс. га. В Равнинном Крыму суммарная площадь лесопосадок вдоль каналов и дорог превысила 1,4 тыс. га.

Влияние лесомелиоративных работ на карст противоречиво и до конца не оценено. На яйле посадки проводились с глубокой, часто — сплошной распашкой, хотя в основных карстовых районах мира облесение проводилось с использованием «щадящих» технологий (посадка в лунки, иногда — с завозом почвенного слоя). Поэтому в первые годы на яйле наблюдалась сильная ветровая эрозия. В случае удачного видового подбора через несколько лет формировались сомкнутые посадки. Это привело к некоторому увеличению питания карстовых вод (задержание снега, опадание изморози с крон деревьев и пр.). Однако, при достижении зрелости, лесные посадки, испытывая недостаток влаги, стали оказывать иссушающее влияние. Кроме того, они начали страдать от ветровалов и снеголомов (Караби, Ай-Петри). При освоении склонов карстовых массивов лесопосадки велись с нарезкой террас (более 26 тыс. га). Их влияние на развитие карста также противоречиво. С одной стороны, они задерживают склоновый сток, препятствуя его уходу за пределы развития карстующихся пород, и стимулируют прохождение конденсационных процессов. С другой стороны, смена травянистой растительности на древесную увеличивает испарение.

Считается, что лесные насаждения дают до 3 тыс. м³ влаги с каждого гектара посадок. К сожалению, эта цифра не подтверждена балансовыми расчетами и данными о расходах источников. Опасные тенденции 80-90-х гг. (лесные пожары, усиление самовольных порубок, снятие и вывоз почвенного покрова, самозахваты лесных угодий под строительство и пр.) требуют изменения отношения к ведению лесного хозяйства в Крыму.

Лес является мощным защитным и водорегулирующим фактором, препятствующим смене типа карста (покрытый — открытый) и характера питания карстовых вод (инфильтрационное и инфилюационное). Необходима постановка комплексных исследований с участием лесомелиораторов, гидрогеологов и карстологов для оценки! водорегулирующей роли леса на закарстованных территориях Крыма.

Промышленное освоение закарстованных территорий

Крым относится к промышленно развитым районам Украины. О влиянии промышленного производства на карст можно судить по двум показателям — водоемкости и количеству формирующихся загрязнителей. Общее водопотребление в промышленности Крыма — 0,8 км³. 29,6% его — потребление свежей воды (54), по отраслям промышлен-

ности распределяющееся следующим образом: энергетика — 35,7%, химическая и нефтяная — 29,6%, черная металлургия - 17,0%, пищевая - 10,0%, машиностроение - 3,5%, стройматериалов - 2,0%, легкая и деревообрабатывающая - 1,0%. Очевидно, примерно в таком же соотношении находятся потери воды, способствующие развитию парагенезиса карст-подтопление.

В атмосферу в 1993 г. стационарными источниками загрязнения было выброшено 270,7 тыс. т. разных загрязняющих веществ. Наибольший удельный вес составляют выбросы предприятий металлургии (65,5%), химической (11,4%) и энергетической (5,5%) отраслей. Максимальный вклад в загрязнение воздушного бассейна Крыма вносит Керчь (71,3%), Красноперекоск (6,2%), Армянск (5,4%) и Симферополь (3,3%). Общий сброс сточных вод по Крыму в 1992 г. составил 0,99 км³, в том числе неочищенных и недостаточно очищенных — 0,14 км³.

Последствия загрязнения атмосферы ощущаются во всех карстовых районах Крыма. Так, зимой 1987 г. в горах выпал «кислый снег» с pH 4. Между тем известно, что изменение pH даже на 0,2 единицы резко повышает интенсивность карстовых процессов. Исследования, проведенные авторами на одной из промплощадок Севастополя, показали, что карстовая денудация достигла 32 мкм/год, причем 80% ее антропогенного происхождения. На ряде промплощадок полуострова участились просадки, а иногда возникают аварийные ситуации.

Очевидно, на закарстованных территориях необходимо внедрение водосберегающих технологий, широкое повторное использование воды, более совершенная очистка промстоков.

Инженерно-строительное освоение закарстованных территорий

Показателем масштабов развития строительной деятельности разных направлений можно считать площадь, занятую 17 городами и 55 поселками городского типа (2,8% от площади полуострова) и плотность линейных сооружений (315 км/тыс. км²). Эти показатели в Крыму выше, чем средние по Украине (54). Следует различать несколько видов инженерно-строительной деятельности, каждый из которых в той или иной степени влияет на все четыре основных условия развития карста.

Промышленное и гражданское строительство. Крым выделяется среди других регионов высоким удельным весом городского населения (около 70%). В городах и вокруг них сосредоточены основные виды промышленности, в результате чего формируются промышленно-городские агломерации (ПГА). Их влияние на развитие карста в основном происходит при планировке территории под строительство (покрытый карст переходит в открытый), старении зданий и сооружений, водонесущих коммуникаций (увеличение потерь пресной и загрязненной воды), общем загрязнении (формирование загрязненных стоков с площадей, занятых ПГА, загрязнение со свалок промышленных и бытовых отходов и пр.). Большую опасность представляет освоение для застройки неудобий, находящихся за границами генпланов развития,

проектирование новых микрорайонов без учета особенностей закарстованных территорий, самозахваты и пр. При строительстве или после его завершения часто вскрывались закарстованные зоны (Севастополь, микрорайон Куликово поле: Симферополь, микрорайоны ул. Залесской, Мата Залки), карстовые полости глубиной до 10-15 м (Симферополь, ул. Сельвинского) или древние горные выработки (Севастополь, Керчь). Карстоопасность и повышенные водопритокки не были учтены при проектировании коллектора глубоко заложения в Симферополе, что вызвало осложнения при его сооружении и резкое удорожание строительства. Карстовая денудация в Симферополе составляет 16,6 мкм/год, причем 70% ее имеет антропогенное происхождение.

Линейное строительство. В Крыму имеется свыше 6700 км автомобильных, 700 км железных дорог и около 780 км магистральных газопроводов. Их сооружение интенсифицирует развитие карстовых и суффозионных процессов (в основном за счет возникновения линейной и очаговой инфлюации). Вдоль транспортных магистралей формируются зоны устойчивого загрязнения (в 1992 г. выбросы автотранспорта достигли 160 тыс. т). Специальные исследования, проведенные в 70-е годы в Чехословакии, показали, что они особенно опасны на участках открытого карста, приводя к загрязнению карстовых вод. Карстовые аварийные ситуации возникали при прокладке и эксплуатации железной дороги Симферополь-Севастополь. Наличие карста следует учитывать при проектировании железных дорог Бахчисарай-Ялта, Армянск-Черноморское, а также — моста или тоннеля через Керченский пролив.

Прочее строительство. Карст существенно осложняет сооружение и эксплуатацию ветроэлектростанций, которые располагаются на возвышенностях. Трудности такого рода (раскрытие трещин бортового отпора) возникали при выборе мест для телевизионных ретрансляторов, опор ЛЭП и радиолокационных станций.

Горнодобывающая деятельность на закарстованных территориях

С карстом связаны твердые, жидкие и газообразные полезные ископаемые, которые обычно объединяют в карстогенную группу (37) или группу ископаемых карстового типа (31). К **экзогенной карстовой группе** относятся следующие типы месторождений — механический (золото, платина, алмазы, песок, глина), химический и биогенный (известняки, мел, доломиты, магнезиты, гипс, ангидрит, соль, сера, бокситы, железо, марганец, медь, фосфориты, уран, уголь, торф) и спелеогенный (мраморный оникс, фосфориты, селитра, лед); к **эндогенной** — метаморфический (мрамор), контактовый (железо, полиметаллы, бокситы, сурьма, золото, серебро, редкие и рассеянные элементы), гидротермальный (свинец, цинк, сурьма, ртуть, уран, ванадий, флюорит, барит, исландский шпат, никель, кобальт, золото, серебро, редкие и рассеянные элементы), структурно-литологический (нефть, газ, минеральные и промышленные воды).

В Крыму перечень полезных ископаемых, связанных с карстом, более узок, но достаточно внушителен. Это химические, биогенные и спелеогенные осадки, метаморфические породы, гидротермальные отложения, жидкие и газообразные полезные ископаемые (рис. 6). Узловой для Крыма проблемой является признание карстовой природы этих месторождений, из чего вытекает необходимость особого подхода к их разведке, оценке запасов, эксплуатации, а также — определению экологического воздействия. Эта особенность всех месторождений Горного Крыма до последнего времени практически не учитывается (5). Рассмотрим отдельные типы месторождений полезных ископаемых Крыма, связанные с карстом.

Химический и биогенный типы месторождений. Первое место по распространению и применению в народном хозяйстве Крыма занимают известняки. Флюсовые известняки известны на северных склонах Главной гряды (верхнеюрские известняки Балаклавской группы, гор Гасфорта и Агармыш; мэотические, мэотис-сарматские известняки Керченского полуострова). *Доломиты и доломитизированные сарматские известняки* Тарханкутского месторождения представляют большой интерес для металлургической и химической промышленности. Разнообразно применение известняков как строительного материала. Верхнеюрские известняки Главной гряды широко используются как облицовочный материал, мраморная крошка, бутовый камень, щебень для бетона и дорожного строительства. Верхнемеловые, палеоценовые и эоценовые известняки Внутренней гряды используются как стеновой и облицовочный материал, бутовый камень. Неогеновые известняки Равнинного Крыма и Керченского полуострова используются как стеновой материал и бут. Для производства вяжущих материалов (воздушная известь) пригодны почти все известняки Крыма (5).

С выходами многих карстовых источников Крыма связаны отложения *известковых туфов*. В средние века и в начале XX в. известковые туфы использовались в строительных целях.

Бокситы в Крыму обнаружены в 1962 г. при карстологических исследованиях на горе Басман. Более поздние поисковые работы в юго-западном Крыму позволили наметить ряд перспективных участков (5).

Железные руды выявлены на Карабийском массиве, а также в отложениях крымского предгорья.

Спелеогенный тип месторождений. В Крыму это отложения фосфоритов, связанных со скоплениями гуано летучих мышей. Площадь, занятая ими в нескольких пещерах Главной и Внутренней гряд, достигает 20 м², а мощность—1,0 м. Запасы фосфоритов невелики (0,1—10 т), поэтому эти месторождения не отрабатывались. *Калиевая селитра* известна в естественных или искусственных полостях Внутренней гряды. В XIX в. она использовалась для получения пороха. *Пещерный лед* различного происхождения известен в 40 полостях. Залегает он на глубине 0—140 м от поверхности и образует скопления объемом 0,1—3,0 тыс. м³. В XIX—XX вв. лед и снег карстовых полостей использовались для местного водоснабжения (кошары), а также вывозились в холодильники Ялты и Белогорска. Спелеогенные осадки

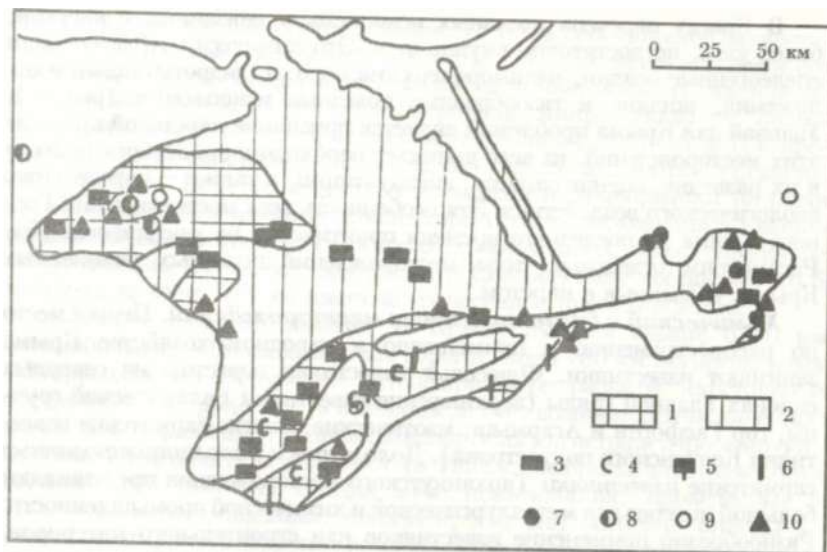


Рис. 6. Карстовые месторождения **Крыма**.

Типы карста по характеру перекрывающих отложений: 1 — открытый, 2 — покрытый, 3 — химический и биогенный.

Месторождения твердых полезных ископаемых разных типов: 4 — спелеогенный, 5 — метаморфический, 6 — гидротермальный.

Месторождения жидких и газообразных полезных ископаемых: 7 — нефтяные, 8 — газоконденсатные, 9 — газовые, 10 — минеральных вод.

представляют в основном минералогический и палеогеографический интерес (22).

Метаморфический тип месторождений. Настоящих мраморов в Крыму нет. Однако довольно широко распространены *мраморовидные известняки*, залегающие в виде линзовидных раздувов, пластов или пачек среди более глинистых разностей верхнеюрских известняков. Облицовочные плиты из них поставляли Биюк-Янкойское и Гаспринское месторождения (5). В связи с сильной трещиноватостью и закарстованностью выход блочного камня был невелик (10—15%).

Гидротермальный тип месторождений. В верхнеюрских известняках Главной гряды довольно широко распространены небольшие месторождения исландского шпата. В 1900 г. из кальцита района Байдарских ворот были изготовлены первые русские николи. В 1937 г. на м. Алчак было добыто 19 т кальцита, из которого в процессе обогащения получено 0,2 кг маломерного оптического сырья. В 80-90-е гг. доказано, что кальцит из большинства карстовых месторождений Крыма имеет гидротермальное происхождение (температура образования от 310 до 30°C). В Горном Крыму имеются проявления *свинца, цинка, ртути*, обнаруживающие связи с приразрывными зонами и располагающиеся на контактах флишевых пород таврической формации с верхнеюрскими известняками и конгломератами (35). В

90-е гг. выявлена значительная марганцеворудная и фосфатная минерализация Баракольской котловины. По одной из гипотез она имеет карстовый генезис (53).

Поиски, разведка и промышленное освоение месторождений твердых полезных ископаемых Крыма связаны с рядом трудностей, вызванных развитием карста. Закарстованность продуктивной толщи или вмещающих пород затрудняет точное определение запасов полезных ископаемых, влияет на качество сырья, вызывает его значительные потери при добыче, осложняет условия разработки. Так как карсты месторождений Крыма специально не изучался, фактическая закарстованность продуктивной толщи часто оказывается неожиданно высокой.

При отработке карстовых месторождений Крыма возникает ряд природоохранных проблем. Опыт авторов по подготовке экспертных заключений по карьерам «Гасфорт» и «Мраморное» свидетельствует, что их можно свести в несколько групп:

- отработка и изъятие горной массы не только нарушают карстовый ландшафт, но приводят к исчезновению карстовых источников (Гаспринский исар). На тех высотах, где находятся карстовые месторождения Крыма, каждые 25 кубических метров породы генерируют до одного литра воды. При производительности карстовых месторождений 45 млн. т (54) это эквивалентно ежегодной потере 0,7 млн. м воды;
- формирование карьерных выемок даже при условии их дальнейшей рекультивации резко меняет условия питания карстовых вод. Площадной инфильтрационный сток сменяется очаговой инфильтрацией с террасированных бортов и дна карьера. Кроме того, возникает дорожный сток с поглощением в зонах тектонических нарушений;
- при взрывном методе добычи полезных ископаемых в районе карьеров возникают зоны V—VII-балльной сейсмичности с периодичностью сотрясений 2—4 раза в месяц. Интенсивная сейсмическая нагрузка воздействует на тектонические нарушения, вызывая в них перераспределение напряжений, непредсказуемые и неконтролируемые процессы (обрушение сводов карстовых полостей, оползание остаточных глинистых отложений с плоскостей корродированных трещин, заиливание или промыв карстовых трактов и пр.). В результате возможно временное изменение режима карстовых источников или даже прекращение их деятельности;
- работа карьеров приводит к формированию различных загрязнителей (продукты распада взрывчатых веществ, нефтепродукты и пр.), которые поступают в поверхностный, а затем — и в подземный сток.

Это позволяет говорить о необходимости обязательной экспертизы проектов всех готовящихся к отработке месторождений твердых полезных ископаемых, а также выборочной экспертизы экологической обстановки на уже работающих предприятиях (30). Особенно опасна практика «разгосударствления» объектов горнодобывающей промышленности и создания малых предприятий, работу которых крайне трудно контролировать.

Структурный и литологический типы месторождений. Многие промышленные притоки нефти и газа в Крыму связаны с карбонатными коллекторами (6). Природные резервуары Каркинитско-Северокрымского прогиба сложены палеоценовыми и верхнемеловыми известняками (южная и центральная части Тарханкутского полуострова, районы г. Джанкой, Краснопереконск, поднятие Голицына). Плотность инкерманских и качинских известняков составляет 1,27-2,64 т/м³, открытая пористость - 10-20%, местами - 25-30%. Проницаемость низкая (до 1*10⁻¹⁵ м²), но в зонах открытых трещин достигает 2180*10⁻¹⁵ м². Кампан-маастрихтские известняки характеризуются разным содержанием СаСО₃ (75-98%) и сравнительно невысокой открытой пористостью (12-15%). Их фильтрационные свойства улучшают сутуро-стилолитовые образования и открытые трещины. Трещинная пористость составляет 0,004-0,04%, проницаемость 0,6...62,7*10⁻¹⁵ м².

Турон-сантонские высококарбонатные, реже - глинистые известняки имеют большое количество разноориентированных, чаще - субгоризонтальных сутуро-стилолитовых образований, выполненных глинистым, глинисто-битумным веществом или крупнозернистым кальцитом. Их плотность 2,27-2,65 т/м³, открытая пористость 4-11%, проницаемость до 0,02*10⁻¹⁵ м². Фильтрационные свойства улучшаются за счет трещин, сутуро-стилолитовых образований, вторичных пустот и каверн. Проницаемость открытых трещин достигает 50...100*10⁻¹⁵ м². На ряде участков отмечено поглощение промывочной жидкости, значительный приток воды (72 м³/сут, Родниковская структура) или нефти (115 м³/сут, Серебрянская площадь).

Сеноманские известняки имеют плотность 2,00-2,67 т/м³, а пористость 2-6%. Степень трещиноватости меняется по площади и по разрезу, обусловленная ею пористость достигает 1%, а проницаемость - 20*10⁻¹⁵ м². Отдельные скважины региона вскрыли мощную толщу триасовых известняков (более 300 м), однако данных об их нефтегазоносности пока нет.

В Индоло-Кубанском прогибе выделяется несколько нефтегазоносных комплексов. В среднемиоцен-плиоценовом комплексе коллекторами являются органогенно-детритовые, ракушечные, оолитовые известняки; в верхнемеловом-палеоценовом - известняки с прослоями мергелей, аргиллитов и песчаников; в титон-берриасовом - органогенно-обломочные известняки и известняковая брекчия. Некоторые пачки нефтегазоносных пород имеют пористость до 9,5%. Представление об основных месторождениях нефти и газа в карбонатных коллекторах Крыма дает табл. 3, а об их размещении - рис. 6.

Вызывает удивление, что эти месторождения никогда не рассматривались как карстовые. В фундаментальных сводках о нефтегазоносности Крыма и шельфа Черного моря термин «карст» не встречается ни разу (6,7). Между тем известно, что более 60% месторождений нефти и газа мира связано с карстовыми коллекторами. Их изучению посвящены десятки публикаций (39). Большой опыт изучения карста карбонатных нефтегазоносных толщ накоплен в Приуралье (2). Установлено, что распространение карстовых коллекторов по разрезу тесно связано с

Таблица 3
Основные месторождения нефти и газа в Крыму, связанные с карбонатными коллекторами

Название месторождения	Продукция	Литология карстующихся пород	Возраст	Глубина залегания, м	Мощность горизонта, м	Максимальное пластовое давление, МПа	Пластовая температура, °С
Голицынский	Газо-конденсат	Известняки органогенно-обломочные	К ₂ -палеоцен	2121-2211	90	35,0	110
Штормовое	" "	Известняки песчаные	Палеоцен	1954-1984	30	25,6	74,5
Карлаевское	" "	Известняки детритусовые	Палеоцен	1120-1200	80	10,9	71,0
Глебовское	" "	Известняки органогенно-детритусовые	" "	950-1190	140	10,8	68,4
Задорненское	Газ	" "	" "	550-610	60		
Семеновское	Нефть	" "	N ₁ ²	208-298	5-22	2,7	
Акташское	Нефть	" "	N ₁ ²	410-490	до 0,5	4,3	
Войковское	Нефть	" "	N ₁ ²	78-165		1,6	
Северо-Керченское	Газ	Известняки органогенные	N ₁ ²	1205-1255	2-3	12,6	41,0
Приозерное	Нефть	Известняки с прослоями мергелей	N ₁ ²	600-800	7		

	Минеральные воды Крыма	, связанные с карбонатными коллекторами							Т а б л и ц а
Возраст водовмещающих пород	Название и расположение водоуикта	Главна водоносного горизонта, м	Дебит, л/с	Температура, °С	Минерализация, г/л	Ионный состав*	Микрокомпоненты	Газы	Использование
PZ	с. Кормовое, Евпаторийский р-н	2453	0,1	19,0	38,8	ХН			
	г. Евпатория	893	15,2	39,1	9,6	ХН	Ti, Cu, La		Розлив воды
	с. Мойнаки	871	6,6	40,0	9,7	ХН	J, B, Br, Ti, Си	H ₂ S, CO ₂ , CH ₄	Розлив воды, бювет
j ₃	с. Бабенково, с. в. г. Ст. Крым	720	28,0	38,2	1,8	ГХН		N ₂ , CH ₄	
	Гидротоннель, г. Ялта	ист.	1,0	17,2	< 2,0	МКН	F, Li, Sr, J, B, Br		Розлив воды
	с. Меловое, Черноморский р-н	1650	0,24	> 40,0	18,5	ХН	J		
K ₁	Кафа, г. Феодосия	ист.	0,43	14,0	2,5	ГСХ КНМ		CO ₂	Розлив воды, прекращен в связи с загрязнением
	Эбручевский	ист.	11,0	11,5	0,4	ГК		CO ₂	

Палеоген	с. Краносельское, Черноморский р-н	400			21,2	ХН	J, Br		
	с. Глебово, Черноморский р-н	1036	13,3	62,0	22,8	ХН	J		
	с. Задорное, Черноморский р-н	600			25,0	ХН	J, Br		
	с. Васильевка, Белогорский р-н	332	12,0	27,7	4,0	ГН	J, Br, Ti, Sr	H ₂ S, CH ₄ , N ₂	Работает сельская баня
	Акмелез г. Феодосия	ист. 71	1,0 3,4	14,0 15,0	10,0 7,8	ХН ГХН	J, Br, Си	H ₂ S	Розлив воды
N,	Сеит-Эли, 6 км от с. Горностаевка	ист. кол.			9,0 11,5	ХГН ХГН		CO ₂ , радон CO ₂ , H ₂ S	Используется местными жителями
	Тарханские, вост. берег Чокракского озера	ист.			15,6	ХГН		CO ₂ , CH ₄	Используется местными жителями
	Караларские, зап. берег Чокракского озера	ист.	0,7	15,0	17,2	ХН		H ₂ S	— "
	Баксинские, с. Глазовка пос. Аршинцево	ист. ист.	0,26 2,25	16,7	3,9 3,6	ГХН ГСХМН		H ₂ S H ₂ S, CO ₂	— "

* П р и м е ч а н и е . Тип вод (более 25% мг/экв): Г - гидрокарбонатный, С - сульфатный, Х — хлоридный, К — кальциевый, М — магниевый, Н — натриевый.

Караби или поблуждать в тумане среди вытянутых вдоль голов пластов воронок Чатырдага, чтобы ощутить их прелесть. Кажущееся однообразие карстового мезорельефа нарушают проявления микрокарста — гребневидные, бороздчатые, желобковые, лунковидные, ячеистые карры, вязью покрывающие обнаженную поверхность известняков. Карстовый ландшафт — не только специфические формы рельефа. Это своеобразные почвы и растительность, климат и животный мир, археология и история.

Однако не только поверхностными карстовыми формами славен Крым. В недрах известняковых массивов скрываются подземные формы — колодцы, шахты, пещеры, которые В. П. Семенов-Тянь-Шанский предложил объединить в подземный ландшафт. Сегодня ясно, что карстовые полости — комплекс форм, имеющий свою топографию, микроклимат, специфический животный и растительный мир.

Поверхностные и подземные карстовые ландшафты Крыма обладают очень высокой зрелищностью, которая многократно усиливается его благоприятным географическим положением и близостью Черного моря. Крым издавна был местом паломничества туристов и экскурсантов, а с середины XX в. — аквалангистов и скалолазов, спелеологов и дельтапланеристов. В Крыму традиционно проводят учебные практики десятки вузов, он стал «первой любовью» не одного поколения отечественных геологов и географов, ботаников и зоологов, почвоведов и экологов.

Но как реализуется богатейший рекреационный потенциал Крыма? Его плановое использование, к сожалению, организовано не лучшим образом: в горах и на побережье отсутствует сеть благоустроенных подъездных дорог, стоянок для автомашин, кемпингов и турбаз, экологических троп и приютов. Почти не используются возможности зимнего Крыма: здесь нет подъемников и горнолыжных трасс... Всего 4 пещеры Крыма и одна подземная выработка используются для экскурсионного показа, а между тем, вокруг таких пещер, как Мамонтова в США и Постойна в Словении сложилась инфраструктура, обеспечивающая благосостояние целых экономических районов. В Крыму почти все отдано «дикарям», коим экономические и экологические законы не писаны...

Так исторически сложилась опасная «вилка» — огромные потенциальные возможности использования рекреационных ресурсов Крыма входят в противоречие с требованиями экономики и охраны природной среды. В Крыму преобладают запретительные тенденции — создание заповедников и охраняемых территорий. На 1 января 1996 г. здесь существуют четыре заповедника: Крымский государственный, Ялтинский горно-лесной, мыс Мартыан и Карадагский. Кроме того имеется 158 заповедных объектов разного ранга (заказники, памятники природы и заповедные урочища всеукраинского и местного значения). Общая заповедная площадь составляет 1354 км² (5% от площади полуострова), а заповедная насыщенность колеблется от 0,6% в крымском предгорье до 41,5% на Главной горной гряде (27). Казалось бы, неплохо... Но проблема охраны любых территорий, в особенности — закарстованных, многогранна. Основная слабость позиций ярых «при-

родоохранников», готовых запретить посещение любых красивых уголков полуострова — невыполнение принимаемых решений. К сожалению, сегодня почти все заповедные объекты Крыма охраняются только на бумаге. Да это и неудивительно: ведь нельзя поставить «человека с ружьем» у каждого ботанического заказника или карстовой пещеры. Пример решения, которое никогда не будет выполняться — Постановление Кабинета Министров Украины №239 от 3.04.1995 г. «О таксах для определения размеров ущерба, причиненного нарушением законодательства о природноохранном фонде Украины». Этим постановлением предусматривается, «что за повреждение 1 см растущих сталактитов и сталагмитов взимается штраф в размерах 2,5, а тех, что прекратили рост — 3,5 минимальных зарплат». В этом Постановлении 27 (!) позиций, в том числе такие, как повреждение стен (за 1 дм), нарушение температуры (за каждый градус от обычного уровня) и пр. Такие решения — прямая дискредитация и природоохранной политики, и тех, кто ее пытается проводить...

Альтернативой запрещающих действий является гибкая формула: «запрещая — разрешай». Именно так организована система Национальных парков в Америке. Каждый из них создан для охраны определенного •природного (каньон, гейзер, пещера) или исторического (скульптура, ранчо президента и пр.) памятника. Наряду с запрещающими функциями (обладающая большими и бесспорными правами вооруженная охрана) Национальные парки выполняют различные просветительские (буклеты, календари, научные брошюры и пр.) и рекреационные функции (от 4 до 25 видов различной деятельности: проезд на автомашине, на лошади или велосипеде по фиксированной трассе, посещение пещер, скалолазание, ловля рыбы и пр.). Это позволяет в значительной мере перевести обслуживание объекта на самоокупаемость, подчеркивает истинный, а не декларативный подход к охране природы.

Очевидно, для Крыма наиболее приемлемо создание Национального парка (27) с зонированием по видам разрешенного использования (заповедная, охраняемая, рекреационная территории), с развитой сетью коммуникаций (автомобильные дороги, подъемники, экологические тропы, телефон), базами отдыха разного уровня (от фешенебельных кемпингов до горных приютов), четкими правилами поведения посетителей и жестким, бескомпромиссным контролем их выполнения. В основу проекта Национального парка Крыма следует положить понятия «допустимая нагрузка» и «емкость территории». Это особенно необходимо на закарстованных территориях, так как поверхностные и подземные ландшафты обладают повышенной экологической уязвимостью.

Освоение подземных пространств Крыма

Подземные пространства — естественные или искусственные пустоты в земной коре, имеющие разный генезис, форму и размеры. Исследования последних лет выявили их чрезвычайное разнообразие (17). В разных районах мира обнаружены и исследованы *эндогенные* (магма-

тогенные, вулканогенные, тектоногенные), *экзогенные* (гипергенные, эологенные, флювиогенные, карстогенные, суффозиогенные, гляцио-генные, пирогенные, биогенные) и *антропогенные* (механогенные, хемогенные, петрогенные) полости. Центральное место среди них по количеству (п. 10⁵ шт) занимают карстогенные пещеры и шахты. Полостей остальных подклассов значительно меньше (п. Ю'-п. 10⁴ шт). Исключение представляют только механогенные полости экскавационного типа, общее количество которых оценивается в п. 10⁵ шт.

В Крыму преобладают хорошо описанные в литературе (15, 22) подземные пространства карстогенного подкласса, коррозионного типа (п. 10² м). По протяженности (числитель) и глубине (знаменатель) их можно подразделить на четыре категории: крупнейшие (более 5 км/более 500 м), крупные (более 0,5 км/более 100 м), значительные (более 0,1 км/более 50 м) и прочие (менее 0,1 км/менее 50 м). Полостей первых трех категорий насчитывается 146 шт. (17% от общего количества). Представление об их распределении дают табл. 5, 6, а перечень приведен в Приложении 1 (публикуется впервые). Банк данных о карстовых полостях Крыма, включающий сведения об их расположении, доступности, морфологических, морфометрических, микроклиматических, гидрогеологических, седиментологических, палеозоологических, археологических особенностях, хранится в лаборатории карстологии Симферопольского госуниверситета (333036, Симферополь, Ялтинская, 4) и является ее собственностью.

Т а б л и ц а 5

Распределение карстовых полостей Крыма
по количеству и размерам

Категории полостей	Количество, шт.	Суммарные			Средние		
		Протяженность, м	Глубина, м	Объем, тыс. м ³	Протяженность, м	Глубина, м	Объем, тыс. м
Крупнейшие	2	15560	752	233,3	7780	376	116,7
Крупные	48	26439	6455	722,7	551	134	15,1
Значительные	97	15082	4944	352,2	155	51	3,6
Прочие	723	14209	10836	199,1	20	15	0,3
Всего	870	71230	22987	1507,3	82	26	1,7

На вулканических массивах Крыма (Кара-Дат, Кагель) известны небольшие (протяженность до 20 м) полости тектоногенного подкласса (п.10⁰ шт). В Горном Крыму, а также на отдельных участках Равнинного Крыма (Тарханкут, Керченский полуостров) имеются полости механогенного подкласса экскавационного типа. Эти полости образованы в результате деятельности человека: добычи известняков (Аджимушкайские, Керченские, Старокарантинные, Багеровские, Петровские, Ак-Монайские, Мамайские катакомбы, имеющие общую

протяженность несколько сотен километров); строительства коммуникаций (Сухарный, Графский, Белый, Цыганский, Троицкий и Городской железнодорожные тоннели в Севастополе общей протяженностью 2 км; 444-метровая потерна 35 батареи и др.); сооружения подземных укрытий (Нахимовская штольня) и минных галерей («слуховые рукава» Малахова кургана), винных погребов (Массандра, Новый Свет); жилых, хозяйственных и культовых сооружений («пещерные города» Внутренней гряды) и пр.

Полости естественной и искусственной групп объединяет то, что после прекращения использования последних по прямому назначению они через несколько десятков лет приобретают все характерные черты подземного ландшафта: специфический микроклимат, животный мир, бактериальную микрофлору и пр.

Т а б л и ц а 6

Распределение карстовых полостей Крыма
по горным массивам, штук

Категории полостей	АП	Карстовые: массивы*					К	Прочие
		ЯН	Б	Ч	Д	До		
Крупнейшие						1	1	
Крупные	9	1	2	8	2	5	20	1
Значительные	43	2	1	14	1	5	24	87
Прочие	231	26	28	113	13	23	209	80
Всего	283	29	31	135	16	34	254	88

* Карстовые массивы: АП - Ай-Петринский, ЯН - Ялтинский и Никитский, Б - Бабуганский, Ч - Чатырдагский, Д - Демерджинский, До - Долгоруковский, К - Карабийский.

Анализ литературы свидетельствует, что доступные для человека естественные и искусственные подземные пространства можно использовать в 7 различных сферах деятельности, внутри которых выделяется более 130 видов, использования (21).

Промышленная сфера. Полости используются для добычи вмещающих пород (известняки, мел, песчаник и пр.), заполняющих их отложений (кремнь, медь, золото, железо, свинец, серебро, мышьяк, уран, драгоценные камни, мраморный оникс и пр.); размещения заводов и объектов инженерного оборудования (железоплавильни, обогатительные фабрики, заводы точного приборостроения, ГЭС, АЭС, заводы по очистке воды и пр.); хранения различных веществ, материалов, продуктов производства (нефтепродукты, холодильники, отходы химической промышленности и пр.).

Сельскохозяйственная сфера. Полости используются как загон для животных (овцы, козы, ребе — крупный рогатый скот и домашняя птица); для выращивания грибов (шампинари); сыроделия (рокфор и др.); выдерживания и хранения вин. (шампанское и др.); овощевод-

ства (огурцы, томаты, лук); цветоводства (ландыши, жасмины, гвоздики, каллы и пр.); пчеловодства, добычи гнезд птиц (каменных стрижей); скотомогильники. Из заполнителя полостей используются вода, гуано, костяная breкчия, гипс.

Коммуникационная сфера. Полости используются как пути сообщения (пешеходные, велосипедные, автомобильные, железнодорожные, водные); вокзалы, депо, стоянки автомашин, водоводы, коллекторы разного назначения.

Военная сфера. Полости используются как убежища и укрытия (мирных жителей, военных, криминогенных элементов), коммуникационные сооружения (пути сообщения, узлы связи, типографии), фортификационные сооружения (укрепленные районы, бункера); заводы (по производству оружия и боеприпасов); полигоны (испытание оружия, стрельбища). Из заполнителя пещер используются селитра (для производства пороха) и сталактиты (наконечники для стрел).

Социальная сфера. В этой сфере использование подземных пространств наиболее разнообразно. Их используют: как жилье (города, убежища, тюрьмы); склады (вино, фрукты, медикаменты, золотой запас, клады, послания потомкам, мусор); торговые помещения (магазины, рестораны, буфеты, мастерские, почта, телеграф и пр.); для лечебных целей (лечебницы разного профиля, а также — использование отложений: мумие, гипса, мирабилита, галмея, воды и пр.); водоснабжения (цистерны, колодцы, водозаборы); спортивно-экскурсионных (спортзалы, хоккейные поля, плавательные бассейны, учебные полигоны, спелеотуризм, экскурсии, танцевальные залы, музыкальные школы, проведение соревнований, новогодних елок, фотографирование и пр.); культурно-просветительских целей (музеи: горные, геологические, биологические, фармакологические, спелеологические; библиотеки, архивы и пр.).

Культовая сфера. Полости используются как первобытные святилища, языческие капища, буддистские, ведические, индуистские, исламские, иудейские, синтоистские, христианские храмы, часовни, церкви, мечети, кельи, монастыри; для инициации (перевод юношей и девушек в возрастную класс мужчин и женщин), бракосочетания; захоронения (от единичных до гигантских некрополей), а также — в ритуальных целях (для общения магов и чародеев с «нечистой силой»).

Научная сфера. Подземные пространства исследуются для: выяснения условий их образования (маршрутные и стационарные геологические, гидрогеологические, микроклиматические, инженерно-геологические наблюдения); изучения процессов, происходящих в земной коре и в космосе (геофизические, наклонномерные, деформографические, сейсмические, электромагнитные наблюдения и пр.; наблюдения космических излучений, изучение частиц высокой энергии); изучения жизни под землей (жизнь животных в условиях вечной темноты, постоянной температуры, влажности; изучение биоритмов человека при длительном пребывании под землей в спокойной и стрессовой ситуациях, поведение одиночек и коллективов разного пола и возраста в замкнутом пространстве). Изучение подземных пространств дает интересные результаты не только в перечисленных, но и во многих других узких научных

направлениях геологии (минералогия, седиментология и пр.), биологии (связь вод Мирового океана и суши), математики (топология) и пр.

Не следует забывать еще об одном аспекте изучения карстовых полостей. В преобладающем большинстве (в Крыму на 90%) они представляют собой новые географические объекты, открытые и исследованные только во второй половине XX в. Это свидетельствует, что период географических открытий на Земле еще не завершился. Бурный рост наших знаний о подземном мире заставляет непрерывно пересматривать сведения о его количественных и качественных показателях — вести своеобразную «книгу Гиннеса» по многим параметрам. Представление о некоторых особенностях подземного мира Крыма дает приложение 2.

Возможности использования подземных пространств в тех или иных целях определяются не только их размерами и потенциальной научной ценностью, но и степенью доступности (расстояние от населенных пунктов, удаленность от дорог, линий электропередач, источников водоснабжения, морфология и пр.). В Горном Крыму из 857 известных карстовых полостей можно использовать в разных целях 304 (35%, табл. 7). Чаще всего эти полости относятся к крупнейшим, крупным и значительным, на долю которых приходится 80% общей протяженности, 53% общей глубины и 87% общего объема пещер Крыма (табл. 5). Однако нередко используются полости и меньших размеров. Наибольшее количество полостей, которые представляют интерес для использования, находится на Ай-Петринском (106), Карабийском (93), Чатырдагском (45) массивах.

Использование пещер Крыма в разное время было различным. В XIX в. их использовали в основном в культовых целях (пещ. Иограф, Данильча), как загон для скота (Карали), источники местного водоснабжения (вода, снег, лед из пещер Аянская, Б. Бузлук, Трехглазка). В военные и революционные годы во многих из них были укрытия (Партизанская), склады (Басман), госпитали (Берю-Тешик), наблюдательные пункты (Мердвен-Каясы), типографии (Ореанда). В 80—90-е гг. на первый план выдвинулись пещеры, имеющие социальное и научное значение. Десятки полостей, богато украшенных натсками, были объявлены памятниками природы местного или республиканского значения или намечены к оборудованию как туристские комплексы. К сожалению, пока лишь четыре из них выполняют эти функции и находятся под действенной охраной: Мраморная и Эмине-Баир на Чатырдаге (спелеоцентр «Оникс-Тур»), Красная пещера на Долгоруковском массиве (МП «Красная пещера») и Трехглазка на Ай-Петринском массиве (Ялтинская горноспасательная служба). Более 100 полостей определены как объекты спортивного спелеотуризма: им присвоены различные категории трудности. 11 полостей можно использовать для спелеотерапии (лечение астмы, информационного невроза и пр.). К сожалению, медики Крыма не спешат воспользоваться потенциальными возможностями пещерных ландшафтов полуострова. Наконец, многие пещеры Крыма используются в научных целях: для установки геофизических приборов (Мраморная), медико-биологических исследований (Юбилейная и Эмине-Баир-Хосар), гидрогеологичес-

Таблица 7

**Возможности использования карстовых полостей Горного
Крыма**

Сфера и вид использования		Количество полостей в разных карстовых районах, шт.				
		Юго-Западный	Центральный	Северо-Восточ.	Пред-горный	Всего
Промышленная						
Инженерные объекты Хранилища		3	5			8
		3	5			8
Сельскохозяйственная						
Местное водоснабжение Загоны для скота Скотомогильники		5	8			13
			5			5
		1	12			13
Военная						
Укрытия Типографии		11	21			33
		1	1			2
Социальная						
Водоснабжение Хранилища		18	7		1	26
			1		1	2
Спелеолечебницы			11			11
Спортивные объекты		43	69			112
Экскурсионные объекты		15	20	1		36
Культурно-эстетические объекты		22	27	1		50
Культовая						
Отправление культов		3	3			6
Научная						
Ценные отложения Ценные биологические объекты		48	83		2	133
		44	64		6	114
Ценные археологические объекты		10	10		8	28
Мемориальные объекты		7	19		2	28
Количество полостей, пригодных для использования	шт.	125	162	2	15	304
	% от общего числа	36	37	25	22	35

ких наблюдений (изучение конденсации) и др. Здесь возможности пещер Крыма неисчерпаемы, так как непрерывно появляются требующие проверки новые идеи, методы и приборы.

В Равнинном Крыму естественных пещер немного и они используются пока только для обучения спелеоаквалангистов (Тарханкут). Зато богата событиями история использования искусственных полостей. В годы военного и революционного лихолетья там устраивали склады, укрытия, школы, заводы. В мирное время некоторые из них стали музеями (Аджимушкайские каменоломни), в других выращивают шампиньоны (Мамайские каменоломни). В 90-е гг. многие из них, к сожалению, начали использовать криминогенные элементы (взорванные склады боеприпасов в Севастополе, катакомбы у с. Каменка и пр.).

Многие подземные пространства выступают как полифункциональные объекты: 262 полости (85,4%) могут иметь 1-5 видов использования, 44 (14,3%) — 6-10, 1 (Красная пещера) — более 10. Разнообразие сфер и видов использования подземных пространств заставляет ставить вопрос о необходимости ресурсного подхода к их оценке. Четкие представления о спелеоресурсах, охватывающих все виды подземных пространств, не сложились. Одни исследователи (В. Н. Андрейчук) считают их особым видом природных ресурсов, таким же, как водные, земельные, лесные; другие (В. П. Корясик) относят к спелеоресурсам компоненты полостей, имеющие материальное выражение (объем полости, вмещающие ее породы, подземные атмосфера, гидросфера, биосфера, отложения и пр.).

Проведенные авторами исследования (21) приводят к заключению, что подземные пространства — интегральные ресурсы. Они объединяют в разных комбинациях выделенные Н. Ф. Реймерсом (46) природные (атмосферные, литосферные, гидросферные, биосферные, пространственные, энергетические), трудовые (лечебные, познавательно-информационные, культурные, рекреационные, эстетические) и материальные (строительные, коммуникационные) ресурсы. Изменения одного из типов ресурсов неизбежно меняют количество и качество других. Так, изменения ресурсов гидросферы приводят не только к изменению жидких спелеоресурсов, но вызывают глубокую перестройку гидрогенных (натечные образования), биогенных (условия обитания животных) и емкостных (возможности использования подземных пространств) спелеоресурсов.

Введение понятия об интегральных спелеоресурсах заставляет несколько иначе подходить к оценке экологии подземных пространств и решению проблем их охраны. Выработка рациональных подходов к ним — одна из основных задач карстологов Крыма на ближайшие годы.

НЕКОТОРЫЕ НАУЧНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ, СВЯЗАННЫЕ С КАРСТОМ КРЫМА

С начала XX в. Крым являлся полигоном, на котором формировались новые представления об условиях и факторах развития карста, проверялись различные идеи, разрабатывались методики его изучения. Положение не изменилось и в наши дни. Рассмотрим некоторые научно-теоретические проблемы, связанные с карстом Крыма.

Карст и проблемы гидрогеологии

Гидрогеология закарстованных территорий очень сложна и противоречива. Современные представления о ней обобщены в ряде монографических работ (22, 56, 57, 59, 60 и др.).

В карстующихся породах, толщах их переслаивания между собой и с некарстующимися породами формируется особый тип подземных вод — карстовые воды. Они образуют водоносные системы, представленные массивами с блоковыми водами и бассейнами с пластовыми водами; иногда встречаются переходные структуры — адмассивы и адбассейны с преобладанием блоковых или пластовых вод.

Карстовые воды в настоящее время формируются, в основном, за счет инфильтрации и конденсации в открытом, инфлюации и инфильтрации — в покрытом, перекрытом и перекрыто-покрытом карсте. Удельный вес различных видов питания в карсте горного и равнинного классов на протяжении года различен. Генеральная тенденция развития поверхностного карста — дробление первичных эрозионных водосборов на замкнутые карстово-эрозионные, а затем эрозионно-карстовые и карстовые водосборы, в гидрогеологическом плане реализуется путем возникновения участков с линейным и очаговым инфлюационным питанием (потери стока в эрозионной и гидрографической сети), а затем — с очаговым и площадным инфильтрационным питанием (потери стока в карстовых воронках, на карровых полях и на участках дезинтеграции пород).

При формировании карстовых вод происходит их быстрая концентрация в зонах приразрывной трещиноватости, хотя сами разрывы, где породы превращены в милонит, в гидрогеологическом отношении часто представляют собой невыдержанные по простиранию и глубине барражи. Это приводит к ярко выраженной дискретности в распределении вертикальных градиентов фильтрации (в центральной части тектонических блоков — п. 10^4 , в приразрывных зонах — п. 10^6 м/сут. (50)). Эта тенденция сохраняется и в глубинной части карстовых массивов, в результате чего возникают карстовые водоносные системы (КВС), в которых концентрируется и через которые выводится к крупным карстовым источникам подземный сток с больших территорий. При обводнении карстовых массивов снизу (артезианская модель) образуются лабиринтовые пещерные системы или отдельные полости, локализуемые под местными водоупорами (33).

Карстовые массивы обладают сложной гидродинамической зональностью (38). Для практического использования наиболее удобна схема, включающая зоны аэрации (I), сезонного колебания уровней карстовых вод (II) и полного насыщения (III). Эти зоны четко различаются по гидрогеологическим и геофизическим параметрам, что позволяет формализовать проблему и задать граничные условия для расчетов на ЭВМ.

Массивы и бассейны карстовых вод обладают коллекторами, трех видов: поровыми (П), трещинными (Т) и каверновыми (К). Очень редко они существуют самостоятельно. Чаще образуются системы, характеризующиеся двойной (ПТ, ПК, ТК, ТП, КП, КТ) или даже тройной (ПТК, ПКТ, ТПК, ТКП, КПТ, КТП) пустотностью. В результате при разных расходах карстовых вод происходит их конденсация в карстовых полостях или «растекание» по внутриблоковым порам и трещинам.

Карстовые воды имеют самую высокую по сравнению с другими видами подземных вод действительную скорость движения (в среднем для Крыма 3,6 км/сут), наибольшие средние (до 1 м /с) и максимальные (до 60 м /с) расходы при коэффициенте изменчивости до 3500 (меженный расход р. Краснопещерной 0,006, максимальный паводковый — более 20 м/с).

Карстовым водам всех гидродинамических зон свойственно в основном турбулентное безнапорное и напорное движение. Это способствует активному прохождению подземной эрозии (особенно, если нерастворимый остаток известняков представлен SiO_2), возникновению на некоторых участках КВС процессов кавитации, повышению растворяющей способности карстовых вод. В связи с резкими различиями проницаемости и фильтрационных свойств внутриблоковых пространств ($n \cdot 10^{-3}$ — $n \cdot 10^{-2}$ м/сут), приразрывных зон и КВС ($n \cdot 10^0$ — $n \cdot 10^2$ м/сут) карстовые воды могут обладать напором и при отсутствии покровного водоупора. Это вызывает значительный подъем уровня воды в КВС (до 45 м, Скельская пещера), не всегда фиксирующийся даже в близко расположенных буровых скважинах.

При цокольном строении карстовых массивов разгрузка основной массы подземных вод происходит через источники и связанные с ними пещерные системы. На участках массивов, погруженных ниже уровня моря или эрозионных врезов, возможны субмаринная разгрузка и переток в другие водоносные горизонты.

Горные карстовые массивы относятся к открытым тепло- и водообменным системам с повышенной мощностью слоя годовых колебаний температур (300-1000 м). Поэтому подземные воды здесь имеют низкую температуру (8-12°C), зависящую не только от аэротермического градиента, но и от типа питания. В центральной части массивов возможно повышение температуры карстовых вод до 16-17 С за счет различных экзотермических геохимических процессов (34).

Подземные воды погруженных структур (карстовых бассейнов Равнинного Крыма) имеют более высокую температуру, также не всегда соответствующую величине геотермического градиента. Карстовые воды обладают высокой растворяющей способностью, которая зависит

от изменений гидростатического давления, скорости движения воды, ее температуры, pH и химического состава. Одной из их особенностей является активное прохождение коррозии смешивания, возникающей при слиянии вод разной температуры или минерализации.

Режим карстовых вод зависит от их положения в разных гидродинамических зонах и от близости к приразрынным зонам. Воды I-й зон быстро реагируют на выпадающие осадки, в основном повторяя их ход; более сложен режим источников, расположенных в основании II и на стыке II и III зон. За счет наложения друг на друга различных режимобразующих факторов здесь отмечаются резкие колебания уровней, заметные изменения температуры и минерализации.

Карбонатные породы обладают невысокой адсорбционной способностью и ионообменными свойствами. Система $\text{CO}_2 - \text{CaO} - \text{H}_2\text{O}$ имеет сильное буферное влияние на изменения pH и стабилизирует возможные взаимодействия карстовых вод с породами и загрязнителем. Карбонатные породы обладают слабой элиминирующей способностью к загрязнителям разных классов (диспергированные вещества, тяжелые металлы, хлориды, нитраты, ароматические углеводороды, нефтепродукты, красители, ПАВ, пестициды, бактерии). Поэтому закарстованные территории особо чувствительны к загрязнению разных типов и видов.

К сожалению, изложенные выше особенности карстовых вод до настоящего времени слабо учитываются как в сводных работах по гидрогеологии Крыма (7, 8, 43), так и при обобщении материалов по отдельным проблемам общей и региональной гидрогеологии (3, 42). Естественно, не находят они должного отражения и в мероприятиях по разведке, эксплуатации и охране подземных вод Крыма, проводящих различными производственными организациями.

Из большого числа проблемных вопросов, связанных с гидрогеологией карста Крыма, рассмотрим лишь три, касающиеся особенностей питания, движения и разгрузки подземных вод.

Конденсационное питание карстовых вод. В гидрогеологической литературе мнения о роли конденсации расходятся. Большинство исследователей считает, что ее вклад в водный баланс региона невелик, так как конденсация влаги в теплый период года компенсируется ее испарением в холодный. Исследования авторов (10, 11, 15, 19) показали, что в карстовых районах это не так.

В Горном Крыму об активности прохождения конденсации в карстовых полостях и трещинно-каверновых коллекторах свидетельствуют историко-археологические, гидрогеологические, гидрометеорологические, спелеологические Данные. Конденсация теплого периода происходит за счет влаги, привносимой из атмосферы. Испарение холодного периода происходит за счет влаги, привносимой из глубины массива, но конденсирующейся в его приповерхностной зоне. Количественная оценка конденсации, происходящей в мелкоглыбовых и глинисто-щебенчатых отложениях, показала, что такие коллекторы дают в среднем $0,2 \text{ л/м}^3$ воды в сутки. Разброс значений при экспериментах очень велик ($C_v = 1,42$). Конденсация в карстующихся породах на

разных горных массивах в зависимости от их высоты, экспозиции, положения по отношению к преобладающим ветрам колеблется от 0,81 (Долгоруковский) до 2,46 (Ай-Петринский), составляя в среднем $1,7 \text{ л/с*км}$. При расчете на год конденсация составляет в водном балансе Главной гряды 44 мм (3,8% от нормы осадков и 5,9% от разности осадки-испарение (20)). Но конденсация с привносом влаги из атмосферы происходит только в теплый период. Ее количество достигает 10% от нормы осадков и 28% — от разности осадки-испарение. Подземный сток в межень почти целиком поддерживается конденсационными водами. Именно этим объясняется постоянство среднесуточных меженных расходов карстовых источников (в зависимости от размеров области питания 2-12 л/с) и наличие их внутрисуточных колебаний (на 30—40%), согласующихся с ходом температуры и влажности воздуха ($\Gamma = 0,72 \dots 0,96 + 0,02 \dots 0,21$).

В Равнинном Крыму данных для расчетного определения величины конденсационного питания мало. Она оценивается в 0,05 км в год (5 мм), что составляет 1% от годовой суммы осадков и 56% от разности осадки-испарение (3). Для теплого периода эти величины возрастают, составляя, соответственно, 8,5 и 85%.

Таким образом, конденсация играет определенную роль в водном балансе Крыма. Однако не следует переоценивать ее значение в водоснабжении отдельных населенных пунктов и хозяйственных объектов. «Каменные кучи» и примитивные конденсаторы древних обитателей Крыма для современного централизованного водоснабжения явно непригодны. Вместе с тем, в связи с неразработанностью теплофизической и конструктивной стороны проблемы, работы в этом направлении надо продолжать. Влага естественных (глыбовые навалы в основании южных обрывов Главной гряды) и искусственных (специальные сооружения со щебенчатым заполнителем) конденсаторов может стать источником «малого» водоснабжения, а использование агротехнических приемов, способствующих ее формированию (нагорные канавы со щебенчатым заполнителем, посадка винограда в специально подготовленные скважины и пр.), повысит влагообеспеченность сельскохозяйственных угодий.

Карстологическое значение конденсации (моделирование стенок карстовых полостей, образование и разрушение аккумулятивных форм и пр.) пока изучено слабо. Мало данных и об инженерно-геологической роли конденсации (переувлажнение грунтов под зданиями, асфальтовыми покрытиями и пр.). Именно поэтому по инициативе крымских специалистов в Международном Спелеологическом Союзе при ЮНЕСКО с 1995 г. начата разработка проекта «Конденсация в трещинно-каверновых коллекторах».

Поиски карстовых вод. Одной из важнейших особенностей карстующихся пород как коллекторов являются резкие различия водопроницаемости и фильтрационных свойств разных частей тектонических блоков. В 50-е гг. проводились поиски и разведка подземных вод в Байдарской котловине. Она рассматривалась как эрозионная или тектоническая депрессия, выполненная ингрессионными водоупорными отложениями нижнего мела (8). Исходя из гипотезы о едином уровне

карстовых вод и сплошной обводненности известняков было пробурено свыше 20 скважин. 20% их оказались безводными, большинство дало сравнительно небольшие водопритоки (0,005-1,0 л/с) и лишь несколько скважин получили напорную воду с довольно высоким расходом на самоизливе (до 11 л/с). Наличие большого количества хорошо задокументированных скважин и специальные карстолого-геофизические исследования позволили прояснить ситуацию (20). Карбонатная верхнеюрская толща, слагающая центральную часть Байдарской тектонической депрессии, разбита на блоки разных размеров, опущенные на различную глубину (рис. 7). Наиболее обводнены (средний дебит 11,0 м³/час) скважины, расположенные в опущенных блоках на расстоянии до 300 м от сместителя. Менее обводнены (1,2 м³/час) скважины, расположенные в приподнятых блоках. Меньше всего воды дают скважины, пробуренные в центральных частях блоков на расстоянии более 300 м от сместителя (0,005 м³/час).

Барражная роль разрывных нарушений и повышенная обводненность приразрытных зон трещиноватости подтвердилась и при проходке Ялтинского гидротоннеля (34). Проектная документация предусматривала два альтернативных варианта: наличие под верхнеюрскими известняками, слагающими Ялтинскую яйлу, синклинальной (гипотеза М. В. Чуринова) или антиклинальной (гипотеза И. Г. Глухова) структуры.

После проходки тоннеля вырисовалась значительно более сложная картина (рис. 7). Ялтинский массив разбит тринадцатью нарушениями, имеющими падение в основном к югу и лишь в основании югобережного обрыва — к северу. Отметки контакта средне- и верхнеюрских отложений составляют +500 м (северный портал), +300 м (южный портал), 0-400 м (центральная часть тоннеля). Таким образом, по его оси прорисовывается синклинальная структура, осложненная клавиатурой блоков, опущенных на разную глубину. Разрывные нарушения являются барражами, разделяющими блоки с разными гидрогеологическими свойствами (водоприток, температура, минерализация, химизм). Центральные части блоков на расстоянии 300—600 м вообще не обводнены.

Такие же данные получены при обработке материалов по Красной пещере. Ее галереи располагаются близ контролирующих разрывных нарушений, однако сами нарушения представляют собою барражи. Одна из скважин, пробуренных над пещерой, прежде чем войти в нее, более 50 м шла по глинке трения, маркирующей сброс с субвертикальным сместителем. Скважина, пробуренная у входа в Скульскую пещеру, прошла по безводным известнякам между двумя обводненными галереями пещеры (с глубиной воды более 20 м). Несмотря на специальную обработку, она так и осталась сухой...

Таким образом, геологические, геофизические, гидрогеологические и спелеологические данные свидетельствуют о ведущей роли разрывных нарушений и связанных с ними трещинных зон в формировании обводнения карбонатных массивов Горного Крыма. Поиски обводненных зон традиционными методами — длительная и дорогостоящая операция, далеко не всегда дающая положительный результат. Очевидно, следует использовать методику поиска подземных вод, предложен-

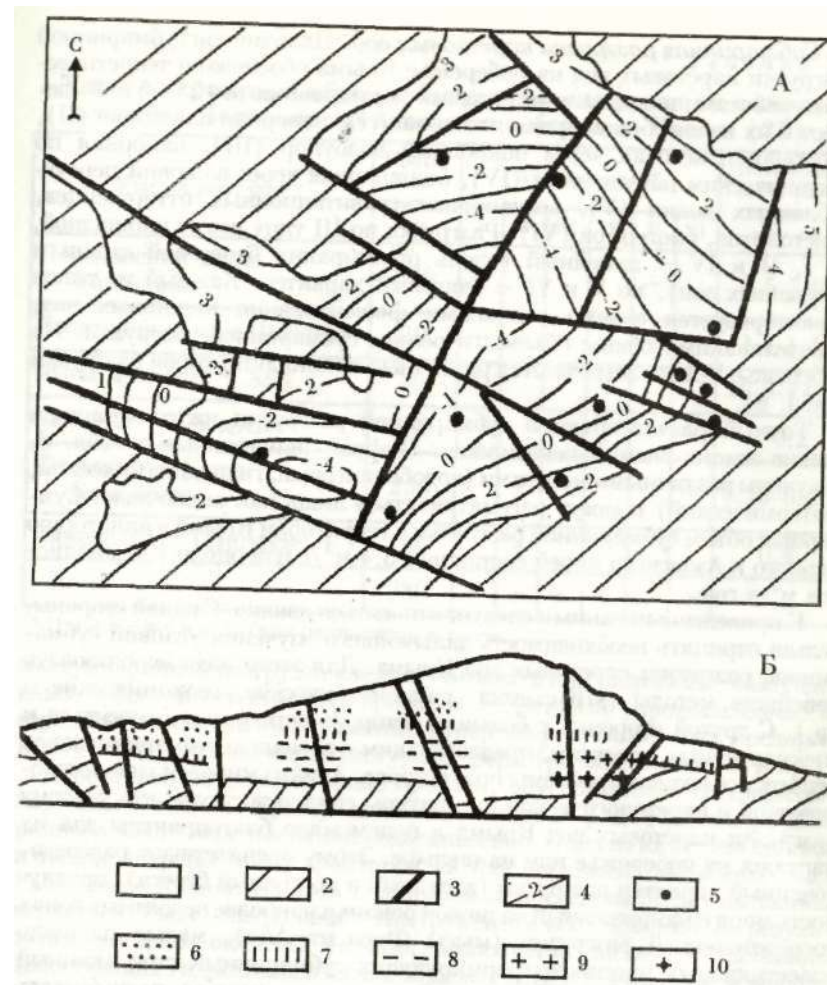


Рис. 7. Разрывные нарушения Крыма и гидрогеологические особенности района (А. Байдарская депрессия, план; Б. Ялтинский гидротоннель, профиль).

1 — карстующиеся породы, 2 — некарстующиеся породы, 3 — разрывные нарушения, 4 — изолинии кровли верхнеюрских известняков, сотни м, 5 — буровые скважины. Химический состав воды: 6 — гидрокарбонатный натриевый, 7 — гидрокарбонатный магниево-кальциевый, 8 — гидрокарбонатно-сульфатный натриевый и сульфатно-гидрокарбонатный натриевый, 9 — сульфатный карбонатно-магниево-натриевый, 10 — сульфатный.

ную коллективом под руководством Л. С. Борисенко. Этот полуприборный метод биолокационных исследований хорошо зарекомендовал себя при поисках приразрытных обводненных зон в Крыму, в Прикарпатье, Закарпатье и на Кавказе.

Типы и вероятный объем субмаринной разгрузки на разных участках Черноморско-Азовского побережья Крыма (23)

Участок разгрузки	Протя- жен- км	Тип разгрузки						Интенсивность разгрузки л/с * км
		I	II	III	IV	V	VI	
Перекопский залив — Евпатория	280	+				+		6,5-7,0
Евпатория — мыс Фиолент	20	+	+	+	+	+		1,1-1,5
мысы Фиолент — Айя	30	+			+			30,0-43,0
мыс Айя — Феодосия	180					+	+	<0,2
Феодосия — Керчь — Каменское	250		?				+	0,15-0,20
Каменское — Геническ	120		+					0,4
Всего	980	+	+	+	+	+	+	3,5

* П р и м е ч а н и е . Типы разгрузки см. в тексте.

Субмаринная разгрузка карстовых вод. Наличие зон субмаринной разгрузки карстовых вод на побережье Крыма обосновано теоретическими работами и доказано натурными исследованиями (23,55). Выделяют 6 их типов: безнапорная пластовая (I), напорная пластовая (II), напорная пластовая через покровный водоупор (III), напорная по тектоническим нарушениям (IV), безнапорная через аллювий переуглубленных долин (V), безнапорная гравитационных отторженцев, олистолитов, биогермов (VI). Разгрузка по III типу имеет площадной, по I, II и IV — линейный (вдоль простираения береговой линии и разрывных зон), по V и VI — очаговый характер. Каждый из типов характеризуется своими условиями формирования карстовых вод, определяющими общие объемы и режим субмаринной разгрузки. На побережье Крыма встречаются различные комбинации типов разгрузки (табл. 8).

Точный расчет объемов субмаринной разгрузки на сегодняшнем уровне наших знаний невозможен. Цифры, приведенные в табл. 8, получены различными методами (водобалансовый, гидродинамический, геотермический) и могут рассматриваться лишь как оценочные. Суммарный объем субмаринной разгрузки с территории Крыма в акваторию Черного и Азовского морей составляет 3,4 м³/с или около 100 миллионов м³ в год.

К приведенным данным следует относиться двояко. С одной стороны, нельзя отрицать необходимость дальнейшего изучения условий субмаринной разгрузки карстовых вод Крыма. Для этого надо использовать новейшие методы (ИК-съемка, радиометрические, геохимические и пр.). С другой стороны, с большой осторожностью надо относиться к спекулятивным проектам, предлагающим с помощью субмаринных вод решить все водные проблемы полуострова. Анализ мировой гидрогеологической и карстологической литературы свидетельствует, что условия разгрузки карстовых вод Крыма в целом мало благоприятны для их каптажа на побережье или на шельфе. Этому препятствуют рассредоточенный характер разгрузки (западный и восточный берега), приглубость моря и напряженный волновой режим в наиболее вероятных зонах сосредоточенной разгрузки (мысы Фиолент—Айя), малые площади известняковых массивов, формирующих субмаринный сток (южный берег, Керченский полуостров). Вместе с тем нельзя пренебрегать малейшей возможностью перехвата субмаринного стока на суше. В этом случае проблема использования субмаринных вод решается так же, как при поисках карстовых вод в приразрывных трещинных зонах.

Большой интерес и практическое значение представляют экологические следствия субмаринной разгрузки (55). Карстовые воды по своим физико-химическим свойствам аномальны по отношению к морским водам и являются источником естественного загрязнения водоемов. Его воздействие неоднозначно и может быть позитивным (вынос питательных веществ), негативным (повышение концентрации O₂, повышение H₂S и пр.) или граничным. Антропогенная составляющая в областях субмаринной разгрузки представлена широким спектром токсичных элементов и соединений: нитратами, фосфором, тяжелыми металлами, пестицидами, детергентами, радионуклидами. Поэтому расположение

зон субмаринной разгрузки следует учитывать при разработке комплексных проектов освоения прибрежных территорий (промышленное и городское строительство, развитие курортно-рекреационных предприятий) и при создании марикультурных ферм (разведение мидий и пр.).

Кроме рассмотренных выше проблем, обусловленных спецификой карстовых вод, в Крыму с карстом связан ряд общих проблем рационального использования подземных вод. Одна из них — это оценка влияния антропогенных факторов на формирование подземных вод Равнинного Крыма. На этой территории за последние 30 лет выполнен огромный объем исследований. Инструментом исследований, по результатам которых оценены условия водообмена, является постоянно действующая гидрогеологическая модель (ПДГМ). Результаты выполненных исследований освещены в литературе (3,42). По мнению авторов, эти интересные разработки в недостаточной степени учитывают специфику Равнинного Крыма как карстового региона. Отметим только некоторые моменты, на которые следует обратить внимание. При составлении карт водопроницаемости основных водоносных горизонтов следует учитывать не только элементы тектоники, но и степень закарстованности понт-мэотис-сарматских известняков. Следует разработать алгоритм решения задачи о повышении активности карста при специальном (создание инфильтрационных бассейнов) и попутном (потери из водонесущих и водосодержащих коммуникаций орошения) изменении уровня карстовых вод и реализовать его на ПДГМ. Особо следует рассмотреть вопрос об отдаленных последствиях прихода в Крым днепровской воды, загрязненной промышленными и сельскохозяйственными стоками, радионуклидами.

В Горном Крыму основной проблемой остается организация стационарных карстолого-гидрогеологических наблюдений на базе Красной пещеры. Работы, начатые в 80-е гг. ИМР, к сожалению, были свернуты. Их постановка с использованием новейших методик и приборов может дать ответ на многие неясные вопросы гидрогеологии карста Крыма.

Карст и проблемы инженерной геологии

Карст является опасным инженерно-геологическим процессом (ИГП), приводящим к нарушению устойчивости территории — ее способности сохранять свою структуру и функциональные особенности под воздействием инженерных сооружений (10). При изменениях естественного и антропогенного питания в карстующихся породах формируются зоны нарушений их свойств — кавернозности, дезинтеграции, возникают пустоты разных размеров, происходит заиливание или промыв трещин, а в перекрывающих породах формируются зоны разуплотнения, приводящие к оседанию поверхности и провалам.

В зависимости от типа хозяйственной деятельности предельная глубина воздействия карста на грунты и гидрогеологическую обстановку колеблется от 10-20 (лесаохозяйственная) до 100-150 (водоохозяйственная) и даже 800-1000 м (строительная, горнодобывающая). Исходя из этого при определении потенциальной карстоопасности территории очень важно оценить не только свойства карстующихся пород, но и особенности перекрывающих отложений (их состав, строение, водопроницаемость, генезис, соотношение уровней или напоров карстовых и надкарстовых вод и пр.).

Карст является площадным процессом. Поэтому он часто сочетается (вступает в парагенезис) с рядом других инженерно-геологических процессов (подтопление, эрозия, оползни, обвалы, суффозия, абразия и пр.). Экспертный анализ, выполненный авторами для 15 городов и 7 пгт Крыма показал, что в парагенезисе могут участвовать от 2 (Саки) до 10 ИГП (Севастополь), а их суммарное воздействие может меняться от 7 до 38 баллов. Между количеством ИГП и их суммарным воздействием имеется тесная связь ($r = 0,93 \pm 0,07$). В 9 населенных пунктах Крыма суммарное воздействие ИГП выше среднего (17 баллов): Севастополь — 10/38 (в числителе количество ИГП, в знаменателе — их воздействие в баллах), Симферополь — 9/34, Керчь и Инкерман — 9/32, Ялта — 8/27, Алушта — 7/22, Черноморск — 7/19, Бахчисарай — 6/18, Феодосия — 6/18. 13 населенных пунктов (Судак, Шелкино, Советский, Кировский, Евпатория, Белогорск, Джанкой, Красноперекоепск, Армянск, Красногвардейское, Нижнегорск, Старый Крым, Саки) имеют несколько более благоприятные инженерно-геологические условия (5 и менее ИГП, 17 и менее баллов). Пока детально изучен только один вид парагенезиса — карст-подтопление (10). При его наличии борьба с одними ИГП нередко вызывает обострение других, что осложняет инженерно-геологическую и ухудшает экологическую обстановку.

Основой для оценки потенциальной карстоопасности территории (с учетом существующих парагенезисов и усиления антропогенной нагрузки

ки) является инженерно-геологическое районирование, в зависимости от решаемых задач выполняемое на региональном, локальном или детальном уровнях. Независимо от уровня детализации оценка карстоопасности выполняется поэтапно, путем составления комплекта карт, отражающих общее строение и функционирование природно-технической системы закарстованной территории и важнейшие ее элементы. На первом этапе строятся вспомогательные карты, характеризующие закарстованную территорию (структурно-тектонические, геологические, геоморфологические, гидрогеологические, геодинамические и др.) и ее техносферу (карты инженерно-хозяйственного воздействия и освоения).

При этом выявляются основные процессы, участвующие в парагенезисе, и, при необходимости, составляются характеризующие их специальные карты. На втором этапе строятся основные карты: типизации закарстованной территории, типизации техногенных воздействий, изменений условий и факторов развития карста под их совокупным влиянием (с учетом парагенезисов). На третьем этапе строятся прогнозные геодинамические карты: потенциальной карстоопасности и устойчивости закарстованных территорий.

Картографирование на региональном уровне осуществляется под разработку проектно-планировочной документации при составлении схем и проектов районных планировок для отдельных промышленно-экономических и сельскохозяйственно-экономических регионов. Оно проводится с детальностью 1:200000 — 1:100000 с использованием имеющейся информации о закарстованных территориях и их хозяйственным использованием. Одним из авторов (10) выполнена оценка карстоопасности Равнинного Крыма как территории преимущественного сельскохозяйственного освоения.

При картографировании карста в масштабе 1:200000 появляется возможность выделить более широкий спектр его типов и подтипов. В Равнинно-Крымской карстовой области в типе карбонатного карста выделяются два подтипа: известняковый и доломитово-известняковый; в типе переслаивания карстующихся пород с некарстующимися — терригенно-карбонатный, а прослоев карстующихся пород — карбонатно-терригенный. По характеру перекрывающих отложений выделяется карст всех четырех типов: открытый, покрытый, перекрытый, перекрыто-покрытый. Основным ИГП, вступающим в парагенезис с карстом, является подтопление, которое развивается вследствие орошения и утечек из водонесущих коммуникаций. Подтопленные и периодически подтопляемые территории занимают наибольшую площадь на участках развития открытого (34,0%) известнякового (50,2%) и карбонатно-терригенного (15,8%) карста. Максимальное распространение парагенезис имеет там, где карстующиеся породы перекрыты аллювиальными (62,2%) и элювиально-делювиальными отложениями (48,2%).

Оценка карстоопасности Равнинного Крыма была выполнена сотрудниками УкрГИМР (Ю. И. Шутов, И. Н. Васильев, 1985) с использованием 24 факторов его развития. После приведения этих данных к форме выражения, используемой авторами (11), получены следующие уточняющие цифры: при обзорном уровне 52,2% площади

занимают территории с высокой, 28,1% — со средней, 18,9% — с низкой, 0,8% — с очень высокой степенью карстоопасности. Катастрофическая степень не выделена. Влияние подтопления на формирование карстоопасности Равнинного Крыма проявляется на 35% закарстованной территории.

На рис. 8 показан фрагмент карты районирования Равнинного Крыма по потенциальной карстоопасности (Альминский район). Укрупнение масштаба картирования привело к существенным изменениям в оценке карстоопасности:

Уровень детальности, масштаб	Степень карстоопасности, % площади			
	весьма высокая	высокая	средняя	низкая
Обзорный, 1:2500000	3	97		
Региональный, 1:200000	3	15	62	20

На карте появились разобщенные контуры, соответствующие отдельным элементам рельефа (приозерные низменности, долины и пр.) и зонам повышенной антропогенной нагрузки (фильтрация с орошаемых полей и пр.). На отдельных участках появляется возможность уточнить степень карстоопасности, применив расчетные методы. Так, например, удельный дебит поглощающей скважины после 115 дней нагнетания увеличился с 7,5 до 10,9 л/с, а прирост содержания ионов Са, Mg и HCO_3 за 14 суток составил 7,0, 6,8 и 18,3 мг/л (41). Таким образом, за сутки растворяется 0,03 м³ известняка, что соответствует карстовой денудации 13 мкм/год. При фоновом значении 10 мкм/год периодическое подтопление на участках закачки в неогеновый водоносный горизонт воды из СКК приводит к 30%-ой активизации карста. К сожалению, подобные расчеты для других объектов (инфильтрационные бассейны Янтарного и др.) не производились, хотя методика их разработана (10).

Картографирование на локальном уровне применяется на стадии разработки проектно-планировочной документации при составлении проектов районных планировок отдельных районов или элементов инфраструктуры (город, промышленный узел, водохранилище, канал, оросительная система, карьер и пр.). Оно проводится на базе имеющейся информации и специальных исследований с детальностью 1:50000 — 1:25000. Одним из авторов (10) выполнена оценка карстоопасности урбанизированных территорий г. Симферополя (рис. 9).

До последнего времени сведений о площадном распространении карста на территории Симферополя не было. В его пределах В. П. Душевский и Ю. И. Шутов описывали только отдельные карстовые полости, располагающиеся на южном склоне Внутренней гряды либо вскрытые при строительстве на ее северном склоне.

Город Симферополь (площадь 62,3 км²) находится в пределах Симферопольского подрайона Предгорного района Горно-Крымской карстовой области. Составленные карты масштаба 1:25000 позволили выделить 4 карстовых участка: Внутренней и Внешней горных гряд, продольной долины между ними и поперечной долины р. Салгир. К

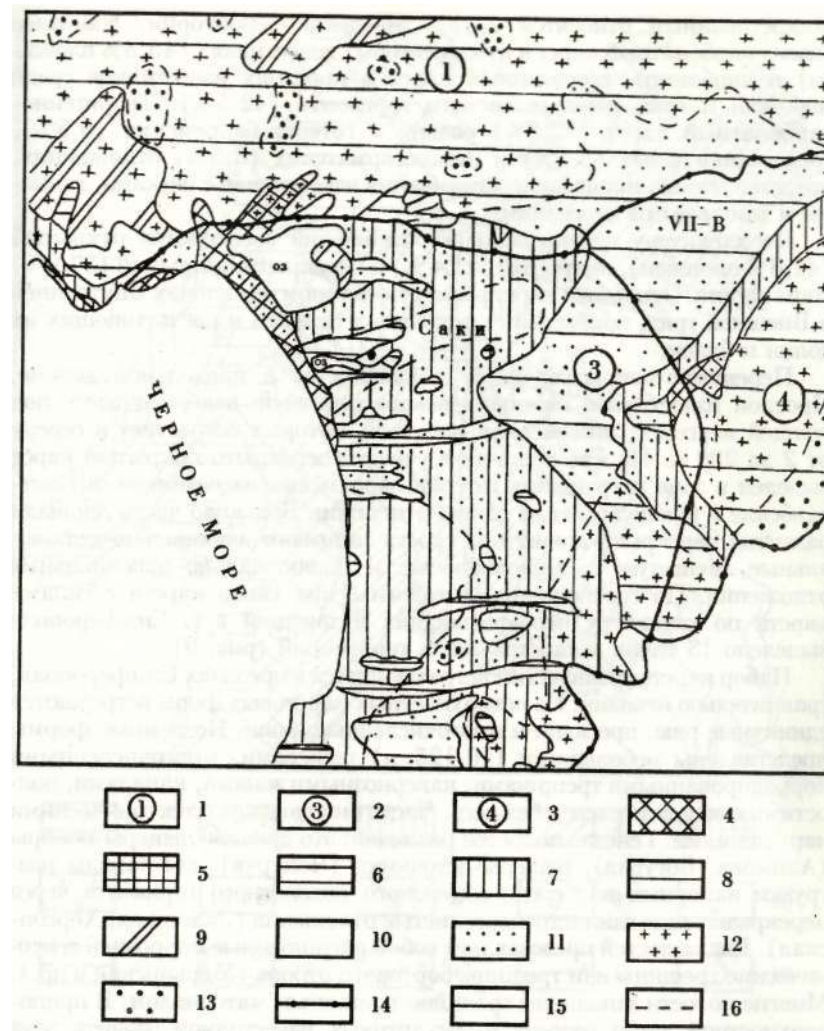


Рис. 8. Карта районирования территории Равнинного Крыма по потенциальной карстоопасности (масштаб 1:200000, фрагмент).

Региональное карстологическое районирование: VII-B - Равнинно-Крымская карстовая область; карстовые районы: 1 - Тарханкутский, 2 - Альминский, 3 - Центрально-Крымский.

Типы подтопляемости территории: 4 - подтопленная в естественных условиях, 5 - подтопленная под влиянием антропогенного воздействия, 6 - периодически подтопляемая, 7 - потенциально подтопляемая, 8 - потенциально неподтопляемая, 9 - потенциально подтопляемая за счет образования верховодки на краснобурых глинах.

Степень карстоопасности: 10 - низкая, 11 - средняя, 12 - высокая, 13 - весьма высокая.

Границы: 14 - карстовых районов, 15 - типов подтопляемости, 16 - степени карстоопасности.

закарстованным относятся 93,7% городской территории. Наиболее развит карбонатный карст в нуммулитовых известняках (45,8% площади) и карбонатно-терригенный карст в прослоях известняков среди мергелей и глин новопавловского горизонта (42,5%). Терригенно-карбонатный карст (12,5%) развит в готерив-барремских (6,5%), среднемиоценовых (2,5%) и нижнесарматских (3,5%) отложениях, представленных толщами переслаивания известняков с песками, глинами и глинистыми мергелями.

По характеру перекрывающих отложений выделяются открытый (41,6% площади), покрытый (21,4%) и перекрыто-покрытый (37,0%) типы карста. Открытый карст развит в основном на склонах Внутренней и Внешней гряд, покрытый — в пределах склонов и расчленяющих их долин и балок.

Перекрыто-покрытый карст локализуется в продольной долине. Прослой известняков новопавловского горизонта залегают здесь под толщей мергелей, инженерная мощность которых возрастает к северу от 2 до 200 м. На юго-восточном участке перекрыто-покрытый карст выделен в зоне погружения готерив-барремских известняков под аптальбские и бахчисарайские глины и мергели. Большую часть площади развития перекрыто-покрытого карста занимают элювиально-делювиальные, меньшую — аллювиальные и коллювиально-делювиальные отложения. По соотношению литологических типов карста с типами карста по характеру перекрывающих отложений в г. Симферополе выделено 13 типов закарстованных территорий (рис. 9).

Набор карстопроявлений, встречающихся в пределах Симферополя, сравнительно невелик. Из поверхностных карстовых форм встречаются единичные рвы, просадки и многочисленные ниши. Подземные формы представлены небольшими (10-125 м) пещерами, многочисленными корродированными трещинами, кавернозными зонами, каналами, полостями с заполнителем и без него. Часто они связаны с тектоническими нарушениями. Генезис полостей различен: это древние пещеры-поноры (Алимова, Богурча), пещеры-источники (Чокурча) или каналы разгрузки напорных вод среднеэоценового водоносного горизонта через перекрывающие глинисто-мергелистые отложения (Залесская, Херсонская). Ряд полостей представляет собой расширенные коррозией тектонические трещины или трещины бортового отпора (Марьянская и пр.). Многие полости заполнены гравийно-глинистым материалом. В приповерхностной части разреза нуммулитовых известняков развита зона дезинтеграции мощностью 1-2 м. В пределах города довольно много карстовых источников, связанных в основном с приразрывными зонами. Обильные водопритоки из них отмечены при проходке канализационного коллектора глубокого заложения.

Потенциальная карстоопасность территории Симферополя оценена комплексом специально разработанных методов. Природные условия развития карста здесь весьма благоприятные (балочная сеть на открытом карсте, покрытый карст в долинах рек, сложенных нуммулитовыми известняками), благоприятные (открытый карст в нуммулитовых известняках, покрытый — в балках, выработанных в готерив-барремских отложениях), средне благоприятные (открытый карст на Внешней

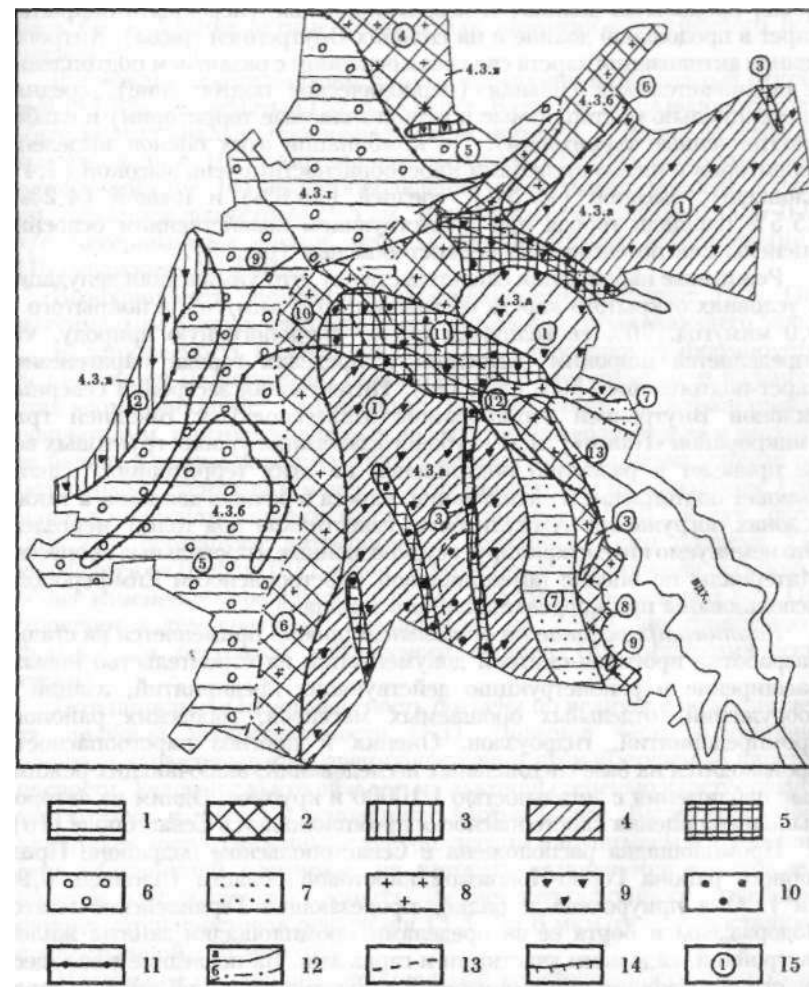


Рис. 9. Схема районирования территории г. Симферополя по потенциальной карстоопасности.

Региональное карстологическое районирование. Карстовые районы: 4 — Предгорный. Карстовые подрайоны: 4.3. — Симферопольский. Карстовые участки: 4.3.а — Внутренняя гряда, 4.3.б — Продольная долина, 4.3.в — Внешняя гряда, 4.3.г — долина р. Салгир.

Типологическое районирование. Условия развития карста: 1 - неблагоприятные, 2 - слабо благоприятные, 3 - средне благоприятные, 4 - благоприятные, 5 - весьма благоприятные. Степень потенциальной карстоопасности: 6 - потенциально некарстоопасная, 7 - низкая, 8 - средняя, 9 - высокая, 10 - весьма высокая. Границы: 11 - карстовых подрайонов, 12 — территорий с разными условиями развития карста (а - установленные, б - предполагаемые), 13 - территорий с разной степенью карстоопасности, 14 — незакарстованных территорий, 15 — номера типов закарстованных территорий.

гряде, продольная долина) и неблагоприятные (перекрыто-покрытый карст в продольной долине и на склонах Внутренней гряды). Антропогенная активизация карста связана в основном с развитием подтопления и оценивается как сильная (периодическое подтопление), средняя (потенциально подтопляемые и неподтопляемые территории) и слабая (подтопленные территории). По комбинации этих оценок выделены территории с пятью степенями карстоопасности: очень высокой (4,4% площади), высокой (45,3%), средней (20,6%) и низкой (4,2%). 25,5% площади города при существующем хозяйственном освоении оценены как потенциально некарстоопасные (рис. 9).

Режимные наблюдения свидетельствуют, что химическая денудация в условиях открытого карста составляет 16,6 мкм/год, а покрытого — 5,0 мкм/год. 70% ее величины имеют антропогенную природу, что определяется широким развитием в пределах города парагенезиса карст-подтопление (50% площади). Интенсивная застройка северных склонов Внутренней (микрорайон «Залесское») и Внешней гряд (микрорайон «Плато») из-за глубокого залегания уровня грунтовых вод не приведет к развитию подтопления на этих территориях, однако вызовет подтопление и активизацию карста в речных долинах, а также в зонах погружения нуммулитовых известняков под толщу мергелей. Это неминуемо интенсифицирует суффозионные и провальные процессы. Материалы по оценке потенциальной карстоопасности Симферополя использованы при корректировке его генплана.

Картографирование на детальном уровне применяется на стадии разработки проектно-сметной документации на строительство новых, расширение и реконструкцию действующих предприятий, зданий и сооружений, отдельных орошаемых массивов, городских районов, промпредприятий, гидроузлов. Оценка и прогноз карстоопасности производятся на базе специальных исследований, включающих режимные наблюдения с детальной масштабом 1:10000 и крупнее. Одним из авторов выполнена оценка карстоопасности промплощадки в Севастополе (10).

Промплощадка расположена в Севастопольском подрайоне Предгорного района Горно-Крымской карстовой области (площадь 0,96 км²). Она приурочена к балке, прорезающей Гераклею плато. Водоразделы и борта ее за пределами промплощадки заняты жилой застройкой, садовыми участками и гаражами. За последние годы здесь участились деформации сооружений и полотна железной дороги (парагенезисы карст-подтопление и карст-оползни), что потребовало проведения комплексных инженерно-геологических исследований в пределах всей водосборной площади. Карстующиеся породы, слагающие район промплощадки, имеют среднемиоценовый и среднесарматский возраст и терригенно-карбонатный состав, что определяет их слабую закарстованность в естественных условиях. Коэффициенты фильтрации миоценовых отложений колеблются от 0,02 до 50 м/сут. Глины нижнего сармата разделяют карстующиеся отложения на два водоносных комплекса — среднесарматский и среднемиоценовый, имеющие общее северо-западное направление подземного потока. Балка подрезает среднесарматский водоносный комплекс правым бортом, что создает

здесь более благоприятные условия для развития естественного подтопления.

В пределах промплощадки развит терригенно-карбонатный открытый (47,5%) и покрытый (52,5%) карст. В составе покрывающих толщ обычны делювиально-пролювиальные и морские, а также делювиальные отложения. На промплощадке выделено 10 типов закарстованных территорий (рис. 10). Карстопроявления представлены нишами, каррами, каналами диаметром 2—5 см, источниками с дебитом 0,005—0,03 л/с, кавернозными зонами, небольшими полостями, встреченными в ПО скважинах из 440.

Коэффициенты линейной закарстованности достигают 75%. Они максимальны в зонах тектонического нарушения, пересекающего балку.

Карстоопасность в основном (на 77,5% территории) формируется под влиянием подтопления, развивающегося при утечках из водонесущих коммуникаций, конденсации под зданиями и асфальтовыми покрытиями, притоке карстовых вод со стороны водораздела и верховьев балки, а также вследствие барража карстовых и надкарстовых вод подпорными стенками и менее водопроницаемыми отложениями. Суммарное инфильтрационное питание составляет $6,9 \cdot 10^{-4}$ м/сут, около 90% его формируют антропогенные факторы. Темп подъема УГВ колеблется от 0,05 до 0,17 м/год. В результате подтопления произошло общее изменение уровней, температуры и химизма карстовых вод. Они отличаются температурой, повышенной на 2—3°C по сравнению с фоновой, и пестротой химического состава (39 гидрохимических типов).

Потенциальная карстоопасность оценена по величине коэффициента линейной закарстованности (Кл). Большая часть водосборной площади характеризуется преимущественно низкой степенью карстоопасности. Участки с высокой и весьма высокой степенью карстоопасности тяготеют к днищу и основаниям бортов балки. Выделяются зоны карстоопасности, связанные с тектоническим нарушением и проявлениями субмаринной разгрузки, на которых развиваются карстовые и карстово-суффозионные процессы. За счет антропогенного воздействия формируется карстовая денудация (3,3—25,6 мкм/год), сопоставимая с естественной (10 мкм/год).

Материалы по оценке потенциальной карстоопасности использованы при разработке проекта модернизации промышленного предприятия.

Таким образом, инженерно-геологическое районирование является основой для оценки потенциальной карстоопасности территорий, разработки мер по борьбе с опасными в инженерном и экологическом отношении проявлениями карста и других процессов, выступающих в парагенезисе с ним.

Карст и проблемы палеогеографии

Комплексные исследования закарстованных территорий дают богатейшую, многоаспектную информацию к познанию их палеогеографических особенностей, позволяют вскрыть закономерности процессов, происходивших много миллионов лет назад. Общепринятые подходы к

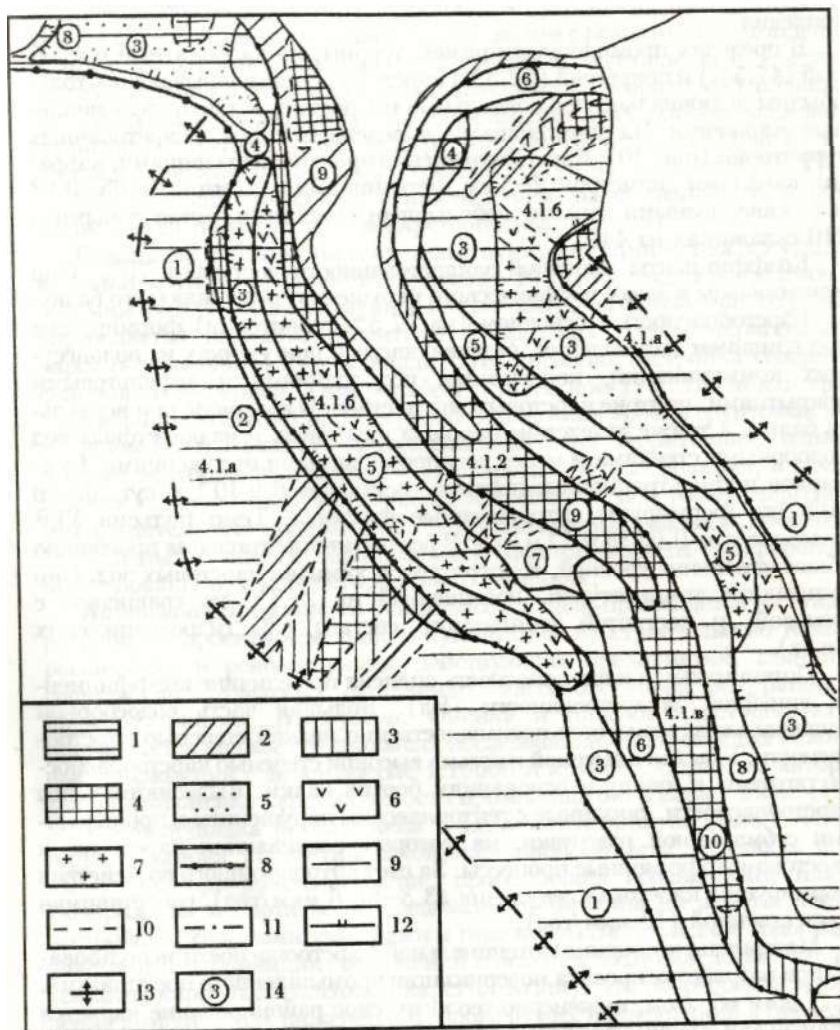


Рис. 10. Схема районирования территории промплощадки в Севастополе по потенциальной карстоопасности.

Региональное карстологическое районирование. Карстовый район: 4 - Предгорный. Карстовый подрайон: 4.1. - Севастопольский. Карстовые участки: 4.1. а — склоново-водораздельный, 4.1. б - бортов балки, 4.1. в — днища балки, 4.1. г - морской террасы.

Типологическое районирование. Степень потенциальной карстоопасности: 1 - низкая (Кл менее 25%), 2 - средняя (25-35%), 3 - высокая (35-45%), 4 - весьма высокая (более 45%). Интенсивность вертикальной фильтрации подземных вод: 5 — интенсивная (градиент более 2,5), 6 - слабая (2,5-1,5), 7 - затрудненная (менее 1,5). Границы: 8 - карстовых участков, 9 - типов закарстованных территорий, 10 — степени карстоопасности, 11 - интенсивности вертикальной фильтрации, 12 — распространения надкарстовых вод в коллювиально-делювиальных отложениях, 13 — линия водоразделов, 14 — номера типов закарстованных территорий.

геолого-геоморфологической корреляции, при которых ее объекты (границы, формы и типы рельефа) сопоставляются с субъектами — геологическими телами (породами, структурами, осадками), на закарстованных территориях дополняются как на объектном, так и на субъектном уровнях (24). В качестве первых выступают геоморфологические ступени (гляциально-нивальная, эрозионно-аккумулятивная, абразионно-аккумулятивная) и их элементы первого и второго порядка (троги и их плечи, борта, днища, ригели, кары, эрозионно-ниральные ложбины; долины, их борта, днища; речные и морские террасы и пр.), в качестве вторых — карстовые полости разных генетических классов (коррозионно-гравитационные, нивально-коррозионные, коррозионно-эрозионные, коррозионно-абразионные) и их элементы (входы, галереи, внутренние колодцы, отложения). Наличие в карстовых полостях различных по генезису отложений (остаточные, обвальные, водные механические, водные хемогенные, органогенные, криогенные, гидротермальные, антропогенные) открывает принципиально новые возможности корреляции, отсутствующие вне карстовых областей. Применение к ним новых методов абсолютного (подсчет годовых слоев в натеках, фторовый, прокаливаний, пикнометрический, космогенных и промежуточных изотопов, термолуминесцентный, ядерно-магнитного резонанса, палеомагнитных, лихенометрический) и относительного (макро- и микропалеонтологические, палинологический, археологический, геоморфологический) датирования позволяет успешно осуществлять возрастную корреляцию.

Возможности корреляционных методов проиллюстрируем только несколькими примерами.

Выделение гидротермального этапа развития Горного Крыма. На разных карстовых массивах Главной гряды давно были известны мощные кальцитовые жилы (Караби, Чатырдаг) и гнезда исландского шпата (район Байдарских ворот, мыс Алчак и пр.). Еще А. А. Крубер (36) описал на Караби пещеру Карани, форму которой (зал в виде перевернутой чаши, диаметром 60-70 м) невозможно объяснить с позиций гидродинамики. Находки исландского шпата в глинах, выполняющей древние полости, вскрытые шахтой Ход Конем на Чатырдаге (глубина 210 м) позволили связать между собой эти на первый взгляд разнородные явления. Дальнейшие исследования показали, что кальцитовые жилы и кристаллы исландского шпата имеют гидротермальный генезис (температура образования от 200 до 30°C) и выявили следующую последовательность событий (26). На первом этапе развития гидротермальной системы (поздний мел — палеоцен) Главная гряда представляла собой невысокий хребет с пологими склонами, с послеледбского времени полностью не перекрывавшийся морем. В пределах толщи верхнеюрских и нижнемеловых карбонатных отложений существовала мощная зона замедленного водообмена. Гидротермальная система имела температуру около 200 °С у основания карбонатных массивов (глубина порядка 1,5 км) и 50°C — у поверхности. При движении гидротерм к поверхности в нижней их части существовали условия, благоприятные для растворения кальцита и образования гидротермокарстовых полостей, а в верхней — для отложения кальцита в трещинах

с образованием жил (ширина до 12 м, протяженность до 1 км). На втором этапе (эоцен - ранний миоцен) на фоне усиливавшихся восходящих движений произошло увеличение мощности зоны активного водообмена. Образованные ранее полости оказались выше границы растворения. В них началась медленная кристаллизация кальцита и рост крупных кристаллов исландского шпата. К среднему миоцену гидротермальная система выродилась (температура понизилась ниже 30 °C) и перестала существовать.

Предложенная для Крыма модель развития гидротермокарста подтвердилась на Кавказе (Ново-Афонская пещера), в Средней Азии (урановое месторождение Тюя-Муюн), в Венгрии (гидротермокарст Будапешта), США (крупнейшая в мире гидротермальная пещера Винд-Кейв). Использование ее позволяет рассчитывать на новые открытия и в Крыму. Киевские геологи недавно выявили марганцеворудную и фосфатную гидротермальную минерализацию в Баракольской котловине (53). Необходимо переосмыслить и уже накопленную информацию о рудной минерализации, проявления которой известны на многих карстовых массивах Крыма. Находки кристаллов гидротермального кальцита в пещерах Ени-Сала-Ш, Эмине-Баир-Хосар, Мраморная позволяют предположить, что многие из карстовых полостей Крыма прошли гидротермальный этап развития. В этом направлении необходимы дальнейшие углубленные исследования. Определения палеотемператур образования кальцита из карбонатных и магматических пород свидетельствуют о том, что в Горном Крыму можно ожидать встретить позднеюрские—раннемеловые интрузивные тела. Сведения о гидротермокарсте в Крыму следует использовать при конструировании его новых палеотектонических моделей.

Реконструкция палеогеографических условий этапа новейших поднятий Горного Крыма. Понимание особенностей современных инженерно-геологических процессов и управление ими невозможны без знания той палеогеографической обстановки, в которой они зарождались. Имеющиеся представления о палеогеографии Крыма до сих пор не позволяют полностью восстановить историю его развития в среднем миоцене-антропогене. К числу дискуссионных относятся многие проблемы (наличие оледенения, источники поступления на нижнее плато Чатырдага галечникового, а на северные склоны Ялтинского и Ай-Петринского массивов - алюминийсодержащего материала, генезис и строение массандровских отложений и др.). Для решения этих и многих других проблем весьма перспективным оказался метод карстологического крупно- и среднемасштабного картографирования (24). При этом нагрузка общей геоморфологической карты, выполненной в аналитической легенде, совмещается с нагрузкой специальных карстологических карт и дополняется спелеологической информацией. На карте показываются генетически однородные поверхности, их возраст, геологическая и гидрогеологическая ситуация (карстующиеся и некарстующиеся породы, их текстурные отличия, условия залегания, проявления разрывной тектоники, направления поверхностного стока, участки его поглощения), различные карстопроявления. Построение этих карт для разных временных срезов (эрозионный, карстово-эрозионный, карсто-

вый этапы развития массивов) позволяет реконструировать историю развития рельефа и формирования карстовых форм. Их анализ позволяет выявить участки, перспективные для поиска полезных ископаемых, бурения на воду, а также — оценить современную устойчивость закарстованных территорий к различным видам антропогенного воздействия.

Карст и палеосейсмичность Крыма. Неудачный выбор площадки Крымской АЭС (в зоне с возможной интенсивностью землетрясений до 8 баллов) привлек внимание специалистов к поискам следов сильных землетрясений, не запечатленных в письменных источниках. В 90-е гг. проведены детальные карстолого-спелеологические исследования для выявления зон палеосейсмичности Крыма (16).

Карстовые массивы Горного Крыма обладают рядом особенностей, определяющих прохождение сейсмических волн. Они имеют двуслойное строение, причем жесткие и более плотные (в среднем $2,7 \text{ т/м}^3$) известняки залегают на менее плотных ($2,5 \text{ т/м}^3$) аргиллитах, алевролитах и песчаниках. Наличие большого количества тектонических нарушений и карстовых полостей определяет существование зон «акустической жесткости». В карстовых массивах могут возникать собственные колебания, дополнительные напряжения сжатия-растяжения (до 800 кг/см^2), усиление или ослабление объемной плотности энергии, а также местные землетрясения, связанные с провалами сводов пещер.

Палеосейсмическую информацию несут шесть групп карстопроявлений: разрывы галерей пещер, смещенные известняковые блоки, поверхностные (карстовые рвы) и подземные (колодцы, пещеры) коррозионно-гравитационные формы, обвальные отложения (глыбовые навалы объемом до 60 тысяч м³), водные хемогенные отложения (разорванные натски, поваленные колонны весом до 76 т). Всего в Горном Крыму выявлено 250 карстопроявлений, которые можно считать сейсмодислокациями. В каждом конкретном случае доказать сейсмическую природу нарушений сложно или даже невозможно. Точность диагностирования существенно повышается, если они объединяются в совокупности. Максимальная плотность сейсмодислокаций ($1,75 \text{ шт/км}^2$) отмечена на Ай-Петринском и на востоке Карабийского массива. Контуры изолиний $0,25 \text{ шт/км}^2$ совпадают с границей 8-балльной зоны, выделенной Л. С. Борисенко с учетом основных тектонических нарушений полуострова.

Комплексом методов определены наиболее вероятные интервалы сейсмической активности Горного Крыма. Наиболее сильные землетрясения (подвижки блоков, сорванные вершины, нептунические дайки, сейсмогенные клинья) происходили в раннем мелу и раннем палеоцене (IX-X баллов). Такой же силы были землетрясения позднего плиоцена — раннего плейстоцена (формирование смещенных массивов, разрывы полостей, поваленные колонны). Землетрясения исторического времени (начало I тыс. н. э., средние века) уже не достигали такой силы, хотя были сильнее, чем 8-балльное землетрясение 1927 г. Палеокарстологические данные были учтены при сейсморайонировании Крыма в целом и составлении карт микросейсморайонирования его отдельных участков.

Таким образом, палеогеографические проблемы карста Крыма имеют не только теоретическое, но и прикладное значение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Краткий обзор разных аспектов освоения и охраны закарстованных территорий свидетельствует о широте открывающихся возможностей и множественности возникающих проблем. Авторы надеются, что им удалось показать специфичность Крыма и необходимость особого подхода к хозяйствованию на его закарстованных территориях. Первоочередными представляются следующие проблемы их освоения:

- подготовка серии карстологических карт (масштаб 1:200000 для всего Крыма, 1:25000 — 1:2000 для отдельных ПГА), которые должны стать нормативной основой для планирования и размещения хозяйственных объектов на территории Крыма и обеспечения нормальной экологической обстановки;
- переосмысливание отношения к разведке и эксплуатации месторождений твердых, жидких и газообразных полезных ископаемых, которые в Крыму в основном относятся к карстовому типу;
- разработка государственного стандарта «Карст. Термины и определения» для обеспечения взаимопонимания различных специалистов, работающих на закарстованных территориях, и унификации терминологии;
- разработка государственных строительных норм «Инженерные изыскания для строительства. Нормы производства инженерных изысканий на закарстованных территориях» с целью получения данных, необходимых для оценки степени карстоопасности и риска их освоения;
- создание компьютерных банков данных «Карст» и «Подземные пространства Крыма» для оперативного управления процессами, происходящими на закарстованных территориях;
- проведение государственной экологической экспертизы всех проектов, касающихся освоения закарстованных территорий, с обязательным участием в ней специалистов-карстологов;
- введение в учебные планы вузов и колледжей Крыма спецкурсов «Основы карстологии» и «Инженерная карстология»;
- создание центра повышения квалификации руководящего состава управленческих структур и переподготовки специалистов с обязательным чтением одного из указанных курсов.

Для выполнения перечисленных и ряда других мероприятий по рациональному использованию и охране закарстованных территорий необходимы средства. Где их взять в наше нелегкое время? Один из возможных путей — предотвращение ущерба от карстовых аварий и катастроф.

Принято различать ущерб трех категорий: экономический, социальный и экологический (46). Проще всего оценить прямой экономический ущерб, проявляющийся в негативных изменениях, происходящих в природно-технических системах вследствие недоучета особенностей закарстованных территорий. Социальный и экологический ущерб труд-

нее поддаются оценке, так как имеют косвенный и длительный характер.

Прямой экономический ущерб от строительного освоения закарстованных территорий по имеющимся в мировой практике оценкам составляет от 5 до 15% стоимости сооружения (59). В данном случае речь идет не о стоимостной оценке карстовых катастроф (это могут быть миллионы долларов), а о предотвращении негативных влияний карста. В условиях Крыма это могут быть:

- удлинение трасс каналов и других водонесущих коммуникаций (Симферопольский коллектор глубокого заложения);
- необходимость проведения дорогостоящих противофильтрационных мероприятий (Межгорненское водохранилище) и борьбы с водопритоками (Ялтинский гидротоннель);
- необходимость проведения противокарстовых мероприятий (изменение конструкций фундаментов, конструктивных схем несущих сооружений, организация аварийной сигнализации и пр. строительство на закарстованных территориях Симферополя, Севастополя) и пр.

Своевременное выявление карстоопасности и принятие решений еще на ранних стадиях проектирования снизят затраты на строительство и эксплуатацию сооружений. Предотвращенный ущерб — вот возможный источник финансирования карстологических работ в Крыму. Но для этого необходимы взаимопонимание с властными структурами и наличие соответствующей правовой базы. Приведем историческую аналогию. В 30-е гг. академик А. Е. Ферсман убедил С. М. Кирова в необходимости организации «ликбеза» по проблеме освоения Кольского полуострова. Вернувшись в Ленинград, С. М. Киров провел через бюро обкома партии решение, обязывающее всех руководителей, вне зависимости от ранга, звания и возраста, прослушать цикл лекций по этому вопросу. Такой же цикл лекций по карстологической тематике необходим в Крыму.

Крым — «карстовая республика». Это должны знать все, кто любит наш солнечный полуостров и озабочен его будущим.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Альбов С. В. Целебные источники Крыма. - Симферополь: Таврия, 1991. - 48 с.
2. Быков В. Н. Строение и эволюция карстовых образований в карбонатных нефтегазоносных толщах //Автореф. дисс. ... докт. геол.-минер. наук. — Пермь, 1975. - 38 с.
3. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины. Водообмен в нарушенных условиях. - Киев: Наук, думка, 1991. - 527 с.
4. Гвоздецкий Н. А. Проблемы изучения карста и практика. - М.: Мысль, 1972. - 391 с.
5. Геология СССР. т. VIII. Крым. Полезные ископаемые. - М.: Недра, 1974. — 205 с.
6. Геология шельфа УССР. Нефтегазоносность. - Киев: Наук, думка, 1986. - 151 с.
7. Гидрогеология Крыма и перспективы его нефтегазоносное™. - Киев: Изд-во АН УССР, 1963. - 140 с.
8. Гидрогеология СССР. т. VIII. Крым. М.: Недра, 1970. - 364 с.
9. Головцын В. И., Смольников Б. М., Дублинский В. Н., Иванов Б. Н. Применение геоэлектрических исследований к решению основных проблем карста Горного Крыма. — Киев: Наук, думка, 1966. ~ 147 с.
10. Дублянская Г. Н. Парагенезис карст - подтопление//Автореф. дисс. ... докт. геол.-минер. наук. - Киев, 1994. - 47 с.
11. Дублянская Г. Н., Дублинский В. Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. - Новосибирск: Изд-во РАН, 1992. - 120 с.
12. Дублянская Г. Н., Дублянский В. Н. Геоэкологические проблемы промышленное городских агломераций Крыма//Геоэкологические и медико-экологические проблемы ПГА. - Симферополь, 1994, ч. 1. - С. 23-28.
13. Дублянская Г. Н., Дублянский В. Н. Карстующиеся породы и типологическое районирование закарстованных территорий//Геоэкология, 1994, №6. — С. 72-79.
14. Дублянская Г. Н., Дублянский В. Н., Андрейчук В. Н. и др. Распространение карстующихся пород и типов карста на территории бывшего СССР//Инженерная геология карста. Доклады международного симпозиума, т. 2. — Пермь, 1993. - с. 89-95.
15. Дублянский В. Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. — Л.: Наука, 1977. - 182 с.
16. Дублянский В. Н. Признаки сильных землетрясений в карстовых областях (на примере Горного Крыма) //Геоморфология, 1995, №1. - С. 38-46.
17. Дублянский В. Н., Андрейчук В. Н. Спелеология (терминология, связи с другими науками, классификация полостей). Препринт УрО РАН. - Кунгур, 1989. - 30 с.
18. Дублянский В. Н., Дублянская Г. Н. Карстоопасность на Украине//Гидрогеология и карстоведение. - Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1992. - С. 52-63.
19. Дублянский В. Н., Дублянская Г. Н. Проблема конденсации в карстоведении//Проблемы изучения карстовых ландшафтов. - Пермь, 1993. - С. 63-68.
20. Дублянский В. Н., Кикнадзе Т. З. Гидрогеология карста горных районов юга СССР //Пробл. комплекс. изуч. карста горн. стран. - Тбилиси, 1989. - С. 43-45.
21. Дублянский В. Н., Козлова И. А., Козлов М. А. Использование подземных пространств//Деп. в ГНТБ Украины, №20 В. - Киев, 1993. - 89 с.
22. Дублянский В. Н., Ломаев А. А. Карстовые пещеры Украины. - Киев: Наук, думка, 1980. - 180 с.
23. Дублянский В. Н., Лялько В. И., Подорван В. Н. и др. Подземный сток в акватории Черного моря//Геология шельфа УССР. Твердые полезные ископаемые. - Киев: Наук, думка, 1983. - С. 126-153.
24. Дублянский В. Н., Шипунова В. А., Вахрушев Б. А. Проблемы корреляции в геоморфологии карста//Проблема геоморфологической корреляции. - М.: Наука, 1989. - С. 117-134.
25. Дублянский В. Н., Шутов Ю. А., Амеличев Г. Н. Оценка химической денудации карстовых массивов Горного Крыма//Геол. журнал, 1990, №4. - С. 37-39.
26. Дублянский Ю. В. Закономерности формирования и моделирования гидротермокарста. - Новосибирск: Наука, 1990. - 150 с.
27. Ена В. Г., Ена Ал. В., Ена Ан. В. Особо охраняемые территории Крыма//Природа, №1. - Симферополь, 1995. — С. 6-16.
28. Иванов Б. Н. Карстовые районы Горного Крыма и их гидрогеологическое значение //Труды Первого Украинского гидрогеол. совещ., т. 1. - Киев: Изд-во АН УССР, 1961. - С. 196-205.
29. Иванов Б. Н., Васильев И. Н., Зенгина С. М., Морозов В. И., Шутов Ю. И. Условия и факторы техногенной активизации карстового процесса//Физическая география и геоморфология, №32. - Киев: Вища школа, 1988. - С. 71-78.
30. Инструкция по осуществлению государственной экологической экспертизы. — К.: Минприроды Украины, 1994. — 14 с.
31. Карстовые коллекторы нефти и газа. — Пермь, 1973. — 153 с.
32. Климчук А. Б. Условия и особенности карстообразования в приповерхностной зоне карбонатных массивов//Пещеры Грузии, №11. - Тбилиси, 1987. - С. 54-65.
33. Климчук А. Б., Шестопалов В. М. Крупные лабиринтовые пещеры в гипсах Западной Украины//Геол. журнал, 1990, №5. - С. 93-104.
34. Комплексные изыскания при строительстве гидротоннеля в карстовой области Горного Крыма. — Симферополь, 1971. - 218 с.
35. Краснов Е. В., Абашии А. А., Золотарев В. Н. Структурнометаллогеническое районирование Горного Крыма и перспективы поисков рудных месторождений//Природные условия и естественные ресурсы Крыма, пути их разнопланового использования. - Симферополь: Крым, 1969. - С. 19-21.
36. Крубера А. А. Карстовая область Горного Крыма. - М., 1915. - 220 с.
37. Кутырев Э. И., Михайлов Б. М., Ляхницкий Ю. С. Карстовые месторождения. - Л.: Недра, 1989. - 710 с.
38. Максимович Г. А. Основы карстоведения, т. 1. - Пермь, 1963. - 444 с.
39. Максимович Г. А., Костарев В. П., Быков В. Н. Полезные ископаемые карстовых полостей и впадин Урала и Приуралья//Карст Урала и Приуралья. — Пермь, 1968. - С. 78-88.
40. Методические рекомендации по изучению карста при поисках и разведке месторождений карбонатных пород. - Казань, 1987. - 58 с.
41. Морозов В. И. Активизация карстовых процессов при искусственном пополнении подземных вод в карбонатных коллекторах//Состояние, задачи, методы изучения глубинного карста СССР. - М., 1982. - С. 77-78.
42. Огняник Н. С. Постоянно действующие гидрогеологические модели интенсивно осваиваемых территорий Украинской ССР. - Киев: Наук, думка, 1991. - 173 с.
43. Подземные воды карстовых платформенных областей юга Украины. — Киев: Наук, думка, 1981. - 200 с.
44. Проблемы изучения карстовых полостей гор южных областей СССР. - Ташкент: ФАН, 1983. - 148 с.
45. Проблемы изучения, экологии и охраны пещер. — Киев, 1987. - 200 с.
46. Репмерс Н. Ф. Природопользование. - М.: Мысль, 1990. - 638 с.
47. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. - М.: Госгеолтехиздат, 1962. - 321 с.
48. Справочник по инженерной геологии. - М.: Недра, 1981. 325 с.
49. Теоретические основы инженерной геологии: геологические основы. — М.: Недра, 1985. - 332 с.
50. Тимофеев Д. А., Дублянский В. Н., Кикнадзе Т. З. Терминология карста: Матер, по геоморфологической терминологии. — М.: Наука, 1991. - 260 с.
51. Толмачев В. В., Ройтер Ф. Инженерное карстоведение. — М.: Недра, 1980. — 151 с.
52. Цыкии Р. А. Отложения и полезные ископаемые карста. — Новосибирск: Наука, 1985. - 160 с.
53. Шнюков Е. Ф., Соболевский Ю. В., Кутный В. А. Генетические особенности марганцеворудной и фосфатной минерализации Баракольской котловины//Геол. журнал, 1993, №1. - С. 3-9.
54. Экологическая геология Украины. Справочное пособие. - Киев: Наук, думка, 1993. - 407с.
55. Юровский Ю. Г. Особенности природных процессов в зонах субмаринной разгрузки подземных вод//Автореф. дисс. ... докт. геол.-мин. наук. — Киев, 1993. - 44с.
56. Bonacci O. Karst Hydrology. - Berlin - Heidelberg - New-York. 1987. - 183 p.
57. Burger A., Dubertret L. Hydrogeology of karstic terrains. - Paris, 1975. - 221 p.
58. Ford D., Williams P. Karst geomorphology and hydrology. - London: Unwin Hyman, 1989. - 602 p.
59. Milanovic P. T. Hidrogeologija karsta i metode istraavanja. - Trebinje, 1979. - 276 p.
60. Zotl I. Karsthydrogeologie. - Wien: Springer, 1974. - 291 s.

**КРУПНЕЙШИЕ, КРУПНЫЕ И ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ
КАРСТОВЫЕ ПОЛОСТИ КРЫМА (НА 1.01. 1996 Г)**

№	Название	Карстовый массив*	Протяженность, м	Глубина, м	Объем, тыс м ³
1	2	3	4	5	6
КРУПНЕЙШИЕ ПОЛОСТИ (более 5 км/более 500 м)					
1	Красная	До	13700	+ 235	230,0
2	Солдатская	К	1860	517	2,3
КРУПНЫЕ ПОЛОСТИ (более 0,5 км/более 100 м)					
1	Алешина вода	До	3200	+ 20	18,0
2	Мраморная	Ч	2055	68	130,0
3	Нахимовская	К	2000	395	9,0
4	Узунджа	А	1500	20	4,5
5	Эмине Баир Хосар	Ч	1460	125	80,0
6	Голубиная	До	1325	100	30,0
7	Черная	А	1300	30	10,0
8	Провал	До	1250	104	6,4
9	Каскадная	А	1120	400	52,0
10	Эмине Баир Коба	Ч	950	150	9,3
11	Джур-Джур	Д	770	22	1,0
12	Скеля	А	700	90	12,0
13	Суворовская	К	600	140	16,2
14	Ени Сала-Ш	До	585	17	2,5
15	Аянская	Ч	560	22	1,5
16	Монастырь Чокрак	К	510	110	77,5
17	Дружба	К	502	270	2,6
18	Молодежная**	К	400	261	4,0
19	Кошина	Ч	350	247	3,0
20	Ход конем	Ч	278	217	1,8
21	Вдовичевко	А	250	205	2,5
22	Севастопольская	А	255	200	3,0
23	Бездонная	Ч	410	195	32,0

1	2	3	4	5	6
24	Гвоздецкого	К	335	191	74,0
25	Ушакова	К	225	146	3,6
26	Аверкиева	До	460	145	2,8
27	Профсоюзная	К	158	135	1,0
28	Мира	К	240	135	17,0
29	Крымская (Иванова)	К	240	135	6,4
30	Ухо земли	ВК	220	130	1,3
31	Кара-Мурза	К	190	130	52,0
32	Электра	К	143	130	2,5
33	Копчинского	Д	135	130	1,3
34	Семьдесят лет СССР	Б	150	128	4,0
35	Визовская	К	210	126	1,6
36	Карабийская-Ш	К	136	126	8,0
37	Надежда	А	210	125	2,0
38	Кристалльная	А	232	113	26,0
39	Карабийская-П	К	120	109	1,0
40	Арык-Башская	Я	210	108	6,0
41	Карабийская I	К	115	107	3,9
42	Малая Каскадная	К	205	105	1,3
43	Камнепадная	А	200	105	2,1
44	Резонансная	К	160	105	0,4
45	Бычья	Ч	160	105	1,0
46	КЭ 105	К	115	105	1,0
47	Бабуганская	Б	150	103	1,2
48	Мамонтовая	К	125	102	4,5
ЗНАЧИТЕЛЬНЫЕ ПОЛОСТИ (более 0,1 км/более 50 м)					
1	Висячая	А	425	18	3,2
2	Мар-Хосар	До	386	93	3,2
3	Гремучая	А	380	100	2,6
4	Грифон	До	375	15	0,6
5	Вялова-Азимутная	Ч	340	81	12,0

Продолжение прилож. 1

1	2	3	4	5	6
6	Змеиная	Вн	320	12	0,8
7	Насонова	А	317	5	1,7
8	Авантюра	А	286	14	0,5
9	Крубера	К	280	62	12,0
10	Геофизическая	А	275	60	3,2
11	Юбилейная	К	275	51	14,0
12	359 I	Н	266	45	0,3
13	Эгиз-Тинах-1	К	255	60	45,0
14	Красноярская	А	238	70	3,9
15	Эгиз-Тинах-П	К	230	60	7,4
16	Партизанская	Ч	230	27	3,6
17	Мангупская	Вн	230	+ 10	1,0
18	Карьерная	Ч	220	75	2,6
19	Желтая	А	212	13	1,0
20	Суук-Коба	Ч	210	43	11,3
21	Аю-Тенгак	А	210	15	2,1
22	Медовая	А	205	30	6,0
23	Баксанская	Вн	205	5	0,2
24	Жемчужная	А	200	70	2,4
25	Шапито	А	189	55	0,9
26	Эгиз-Тинах III	К	188	43	11,7
27	Кастере	К	187	67	11,1
28	Сюндюрлю	А	182	35	3,5
29	Летучая Мышь	А	176	60	0,6
30	Уральская	А	170	95	6,0
31	Обвальная	Ч	169	59	19,4
32	МАН	Д	168	37	5,9
33	Большой Бузлук	К	165	81	17,5
34	Энтузиастов	А	165	27	0,3
35	Сезам Кая	А	160	50	8,8
36	Дублянского	К	158	88	25,0

Продолжение прилож. 1

1	2	3	4	5	6
37	Весенная	А	157	80	1,9
38	Пастушья	А	150	99	2,7
39	Бештекне-1	А	150	73	0,1
40	Дубовая	А	150	30	3,6
41	Бинбаш	Ч	150	23	1,8
42	Тарханкутская	Т	150	+ 12	4,0
43	Джаз Коба	К	140	70	0,6
44	Трещинная	Ч	130	80	4,6
45	Высокая	Вн	130	50	2,1
46	Дахнова	К	128	23	1,5
47	Водяная	А	125	80	1,1
48	Длима	Вн	125	+6	0,7
49	Лира	А	120	60	0,3
50	Колючая	А	119	22	0,4
51	Тоннель	Т	116	+30	4,0
52	Сююрю	А	115	100	6,0
53	Курюч Агач	К	115	90	4,2
54	206 3	А	115	50	0,1
55	Дружба	А	115	45	2,5
56	Учунжу	Ч	115	25	3,7
57	Шан Кая	К	115	10	1,4
58	Ени-СалаТ	До	113	17	0,7
59	Комсомольская	К	110	74	1,4
60	703-4	К	110	60	0,5
61	Тиссовая	К	110	60	6,9
62	Новогодняя	А	110	46	0,3
63	Туакская	К	110	18	2,6
64	Холодная	А	109	12	4,2
65	Лю-Хосар	До	108	48	0,4
66	160-18	А	108	84	0,9
67	Юбилейная	Ч	105	69	1,1
68	Мамина	К	105	27	1,5

1	2	3	4	5	6
69	448-10	Ч	103	63	1,4
70	Инженерная	Ч	102	74	0,5
71	Берю-Тешик	А	102	41	1,2
72	Ставрикайская	Я	101	45	1,4
73	Мисхорская	А	101	40	15,0
74	Шелюга	А	101	30	0,5
75	252-7	А	100	60	1,6
76	Разочарования	К	100	57	1,6
77	160 11	А	100	57	0,2
78	Партизанская	До	100	23	0,6
79	448 19**	Ч	87	86	0,7
80	Маяковского	А	96	81	0,4
81	443 22	Ч	98	80	0,6
82	Эмпирическая	А	85	77	0,5
83	203-2	А	89	76	0,8
84	716 5	К	96	72	0,8
85	Сокол	К	75	65	0,5
86	МСС-61	А	70	62	0,4
87	165 4	А	63	62	0,1
88	Прима	А	96	60	0,4
89	766 1	К	80	60	0,7
90	206 9	А	65	58	0,4
91	454 3	Ч	68	55	0,2
92	Завальная	А	60	54	0,2
93	Обвальная	А	86	53	0,2
94	Севастопольская	К	90	52	0,9
95	703-8	К	80	51	1,1
96	405 1	Б	63	51	0,2

Примечания. *Карстовые массивы: А — Ай-Петринский, Я — Ялтинский, Б — Бабуганский, Ч — Чатырдагский, Д — Демерджинский, До — Долгоруковский, К — Карабийский, ВК — Восточного Крыма, Вн — Внутренней гряды, Т — Тарханкутский.

**Начиная с шахты Молодежная и 448-19, полости располагаются с убыванием по глубине, а не по протяженности.

ПОДЗЕМНЫЙ МИР КРЫМА

(Справочные данные)

- Количество и размеры карстовых полостей
 - общее количество: 870 шт;
 - суммарная протяженность: 71.2 км;
 - суммарная глубина: 23,0 км;
 - суммарная площадь: 178,0 тыс. м²;
 - суммарный объем: 1,5 млн. м³.
- Морфометрические показатели крупных полостей
 - наибольшая протяженность: 13700 м (Красная пещера, Долгоруковский массив; 18% от суммарной протяженности, есть перспективы увеличения до 18-20 км при соединении с шахтами Провал, Голубиная и пещерой Грифон, см. приложение 1; в мире — 560 км, Мамонтова, США);
 - наибольшая глубина: 517 м (шахта Солдатская, Карабийский массив, 17 м по глубине пройдены с аквалангом; в мире - 1602 м, Жан-Бернар, Франция);
 - наибольшая площадь: 52600 м² (Красная пещера, 30% от суммарной площади);
 - наибольший объем: 200000 м³ (Красная пещера, 30% от суммарного объема);
 - самая высоко расположенная пещера: 1490 м (Трещинная, Чатырдагский массив; в мире: 6600 м, Ракиот, массив Нанга-Парбат);
 - самая низко расположенная пещера: -10 м (без названия, Тарханкутский полуостров, подтоплена Черным морем; в мире: -200 м, без названия, во Франции, подтоплена Средиземным морем);
 - самый большой по площади зал: 5000 м² (Мраморная пещера, Чатырдагский массив; в мире: 162 тыс. м², Саравак, о. Борнео);
 - самый большой по объему зал: 50000 м³ (Мраморная пещера, Чатырдагский массив, шахта Кара Мурза, Карабийский массив; в мире: 12 млн. м³, Саравак, о. Борнео);
 - самый большой сплошной пролет: 170 м (шахта Каскадная, Карабийский массив; в мире: 450 м, Хадес-шахт, Австрия);
 - самый протяженный сифон (галерея, полностью заполненная водой, проходится с аквалангом): 115 м (пещера Ени Сала-Ш, Долгоруковский массив; в мире: 4055 м, Ду-де Жоли, Франция);
 - самый глубокий сифон: 17 м (шахта Солдатская, Карабийский массив; в мире: 290 м, Мангле, Мексика);
 - самая большая серия сифонов (последовательно пройдены в одной пещере): 3/-1, 25/-5, 90/-8, 25/-3, 80/17, 100/-10 (пещера Алешина вода, Долгоруковский массив);
 - самая большая пещера, обычно полностью затопленная водой (исследована во время глубокой межени при искусственном понижении уровня воды откачкой из скважин): 1300 м (пещера Черная, Ай-Петринский массив; в мире: 15360 м, Нараньял, США);
 - самый высокий купол, пройденный в пещере снизу вверх: +145 м (Голубой капели, Красная пещера; в мире: 1995 м, система Лампрехтсфен, Австрия);
 - наибольшее количество этажей (ходов, расположенных на разных уровнях и образованных в разное время): 6 (Красная пещера);
 - самая изученная пещера: Красная (монография, более 80 публикаций);
 - самая сложная для прохождения полость: категория 4Б, шахта Солдатская, пещера Красная (категория устанавливается по продолжительности прохождения и набору препятствий);
 - самая опасная полость: Каскадная (Ай-Петринский массив, поданным контрольно-спасательной службы Крыма - 5 несчастных случаев, в том числе - 2 летальных за 30 лет.

-

3. Распределение самых крупных полостей по горным массивам

Горные массивы	Название полостей	Протяженность, м	Название полостей	Глубина, м
Ай - Петринский	Узунджа	1500	Каскадная	400
Ялтинский	Лрыкбашская	210	Арыкбашская	108
Никитский	359-1	266	359 1	45
Бабуганский	Бабуганская	150	70 лет СССР	128
Чатырдагский	Мраморная	2055	Кошина	247
Долгоруковский	Красная	13700	Красная	255
Демерджинский	Джур-Джур	770	Копчинского	130
Карабийский	Нахимовская	2000	Солдатская	517
Восточного Крыма	Ухо Земли	220	Ухо Земли	130
Внутренней гряды	Змеиная	320	Высокал	50
Равнинного Крыма	Тарханкутская	150	Тоннель	30

4. Микроклиматические особенности

- минимальная температура воздуха: -25,4°C (шахта Б. Бузлук, Карабийский массив, 12.1954);
- максимальная температура воздуха: + 12,2°C (пещера Иограф-3, Ялтинский массив, 07.1961);
- минимальная влажность воздуха: 64% (пещера Иограф-3, 07.1962);
- максимальная влажность воздуха: 100% (дальняя часть большинства карстовых полостей);
- максимальная скорость движения воздуха: 8 м/с (Красная пещера, горло Шаманского, 09.1961, первый сифон открыт);
- «опрокинутая» воздушная тяга (зимой — летняя, летом — зимняя): все карстовые полости нижнего плато Чатырдага (в связи с подключением к циркуляции трещинных систем верхнего плато);
- максимальное содержание CO₂ в воздухе пещер: 4% Бездонная, Агармышский массив, 11.1968);
- максимальная альфа-радиация: 39300 бк/м³ (Мраморная пещера, Чатырдагский массив, заповедная часть).

5. Гидрогеологические особенности

- самая короткая карстовая река: 3,7 км (Хастабаш, Ай Петринский массив, вытекает из источника того же названия);
- карстовая водоносная система наибольшей протяженности (доказано опытом с окрашиванием, спелеологически еще не пройдена): 21-26 км (Солдатская — Карасу-Баши, Карабийский массив; в мире: 75 км (Хомад-Бюрню - Иеди-Миярлар, Турция);
- карстовая водоносная система, имеющая наибольший перепад высот: более 1000 м (Каскадная - Хастабаш, Ай Петринский массив; в мире: 4000 м, полости хр. Алек - скважины в пос. Мацеста, глубиной более 3 км);
- максимальная скорость движения карстовых вод: 1000 м/сут (Красная пещера, 04.1960);
- максимальный расход воды из входа в пещеру: 22,7 м³/с (Красная пещера, 20.06.1987; в мире: 515 м³/с, Фрио, Мексика);
- максимальный подъем уровня в паводок: +45 м (Скельская пещера, Ай-Петринский массив; в мире: +450 м, Луир, Франция);
- минимальная температура стоячих вод (в ванночках): 0,0 С (Б. Бузлук);

- минимальная температура текучих вод: 8,3°C (Биюк-Узенбаш, Ялтинский массив);
- максимальная температура стоячих вод: 8,8°C (Красная пещера);
- максимальная температура текучих вод: 10,2°C (Насонова, Ай-Петринский массив).

6. Отложения пещер

- самые крупные глыбы в подземном зале: объем 1200 м³, вес 3420 т (Красная пещера);
- самые крупные блоки, образованные при провале свода: объем 57000 м³, вес 154 тыс. т (Кристалльная пещера, Ай-Петринский массив; при их падении высвободилась энергия 4,5*10¹⁷ эрг, что могло вызвать местное землетрясение силой до 4 баллов).
- самая большая поваленная землетрясением колонна: длина — 8 м, диаметр 2,2 м, вес 76 т (шахта Монастырь-Чокрак, Карабийский массив);
- количество минералов, встреченных в аллювии подземных рек: 34 (анатаз, апатит, барит, брукит, галенит, гидроокислы железа, глауконит, гранат, дистен, золото, ильменит, касситерит, киноварь, корунд, лейкоксен, магнетит, муассанит, пирит, пироксен, подолит, роговая обманка, рутил, силлиманит, слюда, ставролит, сфалерит, турмалин, флюорит, халькопирит, хлорит, хромит, циркон, шпинель, эпидот; многие минералы, обнаруженные в пещерах, описаны в Крыму впервые);
- кристаллические минеральные образования: гипс (Аю-Тешки, Партизанская, Ай-Петринский массив; Ставрикайская, Ялтинский массив; Мраморная, Чатырдагский массив; Красная, Долгоруковский массив); исландский шпат (полости Байдарского смещенного блока, Чатырдагского и Карабийского массива); селитра (полости Внутренней гряды з районе Севастополя);
- самая высокая температура образования исландского шпата и кальцитовых жил: в пещерах - 85°C (Пещера Карани, Карабийский массив); на поверхности - 200°C (мыс Алчак);
- самый длинный отдельный сталактит: 6 м (шахта Геофизическая, Ай-Петринский массив);
- самая высокая натечная колонна: 20 м (шахта Крубера, Карабийский массив);
- самое большое число пещерных жемчужин в одном местонахождении: 16185 шт (шахта Бездонная, Чатырдагский массив, размеры колеблются от 0,1 до 2,7 см);
- **самая большая туфовая площадка: 15000 м³** (у входа в Красную пещеру);
- наибольшее количество полусезонных слоев в натечных плотинах-гурах: 10000 шт (Красная пещера, в разрезах плотин запечатлены 11-летние циклы солнечной активности и несколько 1750-летних ритмов изменений увлажненности полуострова);
- самый древний датированный натек: 60000 лет (Мраморная пещера, Чатырдагский массив, радиоуглеродная дата определена в Мак-Мастерском университете, Канада);
- самые большие накопления снега: 12 м, запасы воды 300 м³ (шахта Водопойная, Ялтинский массив);
- самое глубоко расположенное местонахождение снега: 140 м (шахта Бездонная, Чатырдагский массив);
- **наибольшие скопления льда: более 1800 м³, 05.1960** (шахта Б. Бузлук, Карабийский массив; наиболее богатые формы льда - коры, потоки, сталактиты, сталагмиты, кристаллы);
- максимальный возраст снега (по годичным полуслойкам): 3-4 г (шахта Водопойная, Ялтинский массив);
- максимальный возраст льда: до 50 лет (шахта Б. Бузлук, Карабийский массив).

7. Спелеофауна, палеозоология, археология

- самая обильная в видовом отношении спелеофауна: более 15 видов (Скельская пещера, Ай-Петринский массив; в том числе бокоплав, двукрылые, жуки, клещи, летучие мыши, многоножки, мокрицы, ногохвостки, пауки, ракообразные, сенокосцы);
- самое крупное по числу (420 шт), видовому составу (12 шт) и количеству особей (42 шт) местонахождение позвоночных: шахта Геофизическая, Ай-Петринский массив;
- самая древняя археологическая находка: ранний палеолит (пещеры Киик-Коба и Чокуча, Внутренняя гряда).

8. История открытия и исследования пещер Крыма

- 1 в. до н. э. Первое литературное упоминание (Овидий Назон);
- 1785 г. Первое научное упоминание (К. Таблиц);
- 1795 г. Первое упоминание о наличии льда в пещерах Крыма (П. Паллас);
- 1811 г. Первое упоминание о летучих мышах из пещер Крыма (П. Паллас);
- 1828 г. Первое географическое описание пещеры Крыма (П. Кеппен, пещера Туакская, Карабийский массив);
- 1843 г. Первый опубликованный глазомерный план пещеры Крыма (Дюбуа де Монпере, Красная пещера, верхний этаж — Иель-Коба);
- 1864 г. Первое упоминание о живых существах на полах и стенах пещер (П. Мочульский, пещерный жук из Красной пещеры);
- 1876 г. Первая археологическая находка в пещерах (В. Марковников, черепа в пещере Бинбаш Коба, Чатырдагский массив);
- 1879 г. Первое упоминание о палеолитическом человеке из пещер Крыма (К. С. Мережковский);
- 1882 г. Первый замер температуры воздуха в пещере (Ю. Листов, Красная пещера, нижний этаж - Харапых-Коба);
- 1893 г. Первое использование пещер для организованного туризма (Крымский горный клуб, пещеры Суук- и Бинбаш-Коба, Чатырдагский массив);
- 1894 г. Первый химический анализ воды из пещеры (А. Лебединцев, В. Бондарев, пещера Суук-Коба, Чатырдагский массив);
- 1897 г. Первое посещение пещер Крыма геологами разных стран (пещеры Чатырдагского массива во время VII международного геологического конгресса);
- 1898 г. Первые электрометрические и радиометрические наблюдения под землей (Е. Лейст, Бинбаш-Коба, Чатырдагский массив);
- 1900 г. Первое научное описание карстового массива и его пещер (А. Крубер, Чатырдагский и Карабийский массивы);
- 1911 г. Первый опубликованный полуинструментальный план пещеры Крыма (П. Петров, Красная пещера, верхний и нижний этажи общей протяженностью 400 м);
- 1913 г. Первый опыт с окрашиванием воды флюоресцеином для определения направления и скорости ее движения (А. Крубер, р. Узунджа, Ай-Петринский массив);
- 1915 г. Публикация первой монографии по карсту Крыма (А. Крубер «Карстовая область Горного Крыма»);
- 1921 г. Первое распоряжение о заповедании пещер Крыма (приказ Крымревкома по поводу Красной пещеры и прилегающих к ней туфовых отложений);
- 1928 г. Первое обнаружение углекислого газа в пещерах Крыма (А. Ф. Слудский, А. И. Спасо-Кукоцкий, Бездонный колодец, Агармышский массив);
- Первая попытка спуска в карстовую полость на глубину более 100 м (О. С. Вялов, Бездонный колодец, Чатырдагский массив, дно не достигнуто);
- 1932 г. Первое упоминание о наличии в Крыму пещер в конгломератах (К. П. Пирогов, пещеры Казан-Дере и Спиталь, Ай-Петринский массив);
- 1937 г. Первое спелеологическое районирование Крыма (В. Н. Махаев, выделены карстовые, вулканические и антропогенные пещеры);
- 1941 г. Первая научно-популярная работа Ф. Д. Бублейникова «В пещерах Крыма»;
- 1954 г. Первые работы по определению конденсации в пещерах Крыма (Т. И. Устинова, пещеры Б. Бузлук, Мамина, Карани, Кильсе-Чех, Терпи-Коба, Карабийский массив);
- 1958 г. Создание на базе Института минеральных ресурсов (Симферополь) Комплексной карстовой экспедиции АН УССР (руководитель Б. Н. Иванов, объединяла сотрудников шахтного, геофизического, гидрологического, палеозоологического, зоологического, археологического отрядов АН УССР и спортсменов-спелеологов СССР);
- Первое преодоление сифона без акваланга (В. Н. Дублянский, Красная пещера);
- 1959 г. Первый спуск в карстовую шахту на глубину более 100 м (К. В. Аверкиев, В. Н. Дублянский и др., шахта Бездонная, Чатырдагский массив, глубина 163 м);
- Первый подземный спелеолагерь (1 сутки, В. Н. Дублянский и др., Красная пещера);
- 1960 г. Первый спуск в карстовую шахту на глубину более 200 м (В. Н. Дублянский и др., шахта Каскадная, Ай-Петринский массив, глубина 236 м);
- 1961 г. Первое использование электроразведочных методов исследований под землей (Б. М. Смольников, Красная пещера);
- 1962 г. Первый Всесоюзный слет спелеологов (более 100 человек) проведен на Ай-Петринском массиве;
- Первое массовое длительное пребывание группы исследователей под землей (10 человек, 8 суток, Красная пещера).
- Первое погружение в сифоны пещер Крыма с аквалангом (П. С. Сотников, В. П. Бровко и др., пещеры Красная и Алешина вода (Долгоруковский). Аянская (Чатырдагский), Карасу-Баши (Карабийский массив); пройдены сифоны протяженностью 60 м и глубиной 10 м);
- 1977 г. Первый спуск на глубину 500 м (С. С. Пикулькин и др., шахта Солдатская, Карабийский массив).
- Публикация первой монографии о карстовых полостях Горного Крыма (В. Н. Дублянский «Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма»);
- 1989 г. Начало оборудования первого туристского пещерного комплекса (А. Ф. Козлов, «Оникс-Тур». Мраморная пещера, Чатырдагский массив);
- 1990 г. Доказано гидротермальное происхождение ряда пещер и пещерных отложений Крыма (Ю. В. Дублянский);
- 1992 г. Проведены первые исследования альфа-радиации в пещерах Крыма (А. Б. Климчук, Мраморная пещера, Чатырдагский массив);
- 1993 г. Проведено первое погружение с аквалангом на глубине 500 м (В. Э. Киселев, шахта Солдатская, Карабийский массив; достигнута глубина 517 м).

СЛОВАРЬ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕРМИНОВ

АЛЛЮВИИ — отложения, формирующиеся в речных долинах постоянными водными потоками; в обводненных карстовых полостях формируется пещерный аллювий.

БАРРАЖ - подземная плотина: в карстовых областях - тектонические нарушения, препятствующие перетеканию подземных вод из блока в блок.

БИОГЕРМ — известковый нарос на дне водоема, образовавшийся в результате жизнедеятельности кораллов, мшанок, губок, водорослей; входит в состав рифовых построек.

ВПАДИНА - небольшое понижение округлой формы, возникшее при относительно кратковременных (часы-месяцы) локальных оседаниях без нарушения сплошности покрывающих некарстующихся пород.

ГИДРОТЕРМОКАРСТ - карстовый процесс, развивающийся под воздействием восходящих водных растворов, имеющих температуру более 20°C.

ДЕЛЮВИЙ — отложения, возникающие в результате накопления смытых со склонов долин дождевыми и тальными снеговыми водами рыхлых продуктов выветривания.

ДЕНУДАЦИЯ - разрушение горных пород при экзогенных процессах и перенос продуктов разрушения в пониженные участки рельефа. Химическая денудация — разрушение горных пород путем растворения. Карстовая денудация - разрушение карстующихся пород.

ЗОНЫ:

БРЕЧКИРОВАНИЯ - часть геологического разреза, в пределах которой карстующиеся или перекрывающиеся некарстующиеся породы превращены в брекцию - сцементированные обломки;

ДЕЗИНТЕГРИРОВАНИЯ - часть геологического разреза, в пределах которой карстующиеся породы изменены физическим выветриванием;

ЗАКАРСТОВАЯНОСТИ — часть геологического разреза, в пределах которой развиты каверны и каналы (диаметр 0,1-30,0 см) и корродированные трещины;

КАВЕРНОЗНОСТИ - часть геологического разреза, в пределах которой развиты поры (диаметр менее 0,1 см) и каверны (диаметр 0,1—30,0 см);

РАЗУПЛОТНЕНИЯ - часть геологического разреза, в пределах которой в карстующихся породах, слагающих крутые склоны, происходит перераспределение напряжений с образованием трещин, а в покрывающих рыхлых породах наблюдается суффозия.

ИНФИЛЬТРАЦИЯ - образование подземных вод путем просачивания поверхностных вод и атмосферных осадков через поры и трещины горной породы; в карстовых районах различают площадную И. (просачивание атмосферных осадков и склонового стока в карстующиеся породы) и очаговую И. (просачивание атмосферных вод в поноры на дне и склонах воронок).

ИНФЛЮАЦИЯ - питание подземных вод через крупные трещины и полости; в карстовых районах различают линейную И. (поглощение руслового стока и вод озер на протяженных участках с развитой трещиноватостью) и очаговую И. (поглощение руслового стока через карстовые полости в бортах и на днищах речных долин).

ИНТРУЗИЯ - 1) процесс внедрения магмы в земную кору; 2) магматическое тело, образовавшееся при застывании магмы в земной коре.

КАРБОНАТНАЯ МУКА - продукт избирательного растворения известняков, мелов и доломитов, залегающий в виде линз и гнезд в карстующихся породах или заполняющий карстовые полости.

КАРРЫ - отрицательные коррозионные формы (борозды, шели, ячеи, лунки), образовавшиеся на горизонтальной или вертикальной обнаженной поверхности карстующихся пород или под почвенным покровом.

КАРСТ - геологический или инженерно-геологический процесс и связанные с ним явления, развивающиеся в результате взаимодействия воды с растворимой в данной обстановке горной породой.

КАРСТОВАЯ:

БРЕЧКИЯ - скопление обломков карстующихся и перекрывающих некарстующихся пород, образовавшееся при их обваливании, оседании, дроблении и последующей цементации;

ВОРОНКА — замкнутое, обычно расширяющееся кверху углубление коррозионного, суффозионного или гравитационного происхождения, имеющее овальную, округлую или неправильную форму и диаметр менее 100 м;

КОТЛОВИНА - имеет те же характеристики, но диаметр более 100 м;

НИША - углубление разной формы и происхождения, расположенное на склонах массивов, сложенных карстующимися породами; глубина меньше ширины или высоты входа;

ПЕШЕРА - горизонтальная, наклонная или сложная (лабиринт) полость в карстующихся породах;

ПОЛОСТЬ - пространство в карстующихся породах, имеющее сложную конфигурацию, глубину, большую, чем ширина или высота у входа, и диаметр более 30 см;

ШАХТА — вертикальная полость в карстующихся породах, имеющая конусовидную, цилиндрическую, щелевидную или сложную форму при глубине более 20 м.

КАРСТОВОЕ ПОЛЬЕ - замкнутая или полузамкнутая карстовая котловина разных размеров и происхождения, имеющая плоское дно, периодически затопляемое карстовыми водами.

КАРСТОВЫЙ:

КОЛОДЕЦ - вертикальная полость в карстующихся породах, имеющая конусовидную, цилиндрическую, щелевидную или сложную форму при глубине менее 20 м;

МОСТ - остаток обрушившегося свода карстовой пещеры;

ОСТАНЕЦ - положительная форма рельефа, возникшая в результате избирательного растворения карстующихся пород;

РОВ — вытянутое, иногда — асимметричное в разрезе углубление в карстующихся породах, ориентированное параллельно бровке склона.

КОНДЕНСАЦИЯ - образование подземных вод путем сгущения водяных паров, содержащихся в атмосферном воздухе, при их поступлении в карстовые коллекторы.

КОЛЛЕКТОР - горная порода, способная принимать, пропускать и отдавать гравитационную воду.

КОЛЛЮВИЙ - продукты выветривания, смещенные по склону под действием силы тяжести.

КОРРОЗИЯ СМЕШИВАНИЯ - растворение горной породы под действием смеси вод, имеющих разную температуру и минерализацию.

КУЭСТА — возвышенность в виде гряды с асимметричными склонами — пологим, совпадающим с углом падения пластов, крутым - срезающим пласты.

ЛИТОЛОГИЯ - наука об осадочных процессах, формирующих слоистую оболочку Земли.

МУЛЬДА - крупное понижение эллиптической или округлой формы, возникшее при длительных (годы) неравномерных деформациях оседания, происходящих без нарушения сплошности некарстующихся пород.

НИКОЛЬ (призма Николя) - прибор, используемый в микроскопах для получения света, поляризованного в одной плоскости.

ОЛИСТОЛИТЫ - неотсортированные обломки горных пород, достигающие нескольких тысяч м³, сцементированные тонкозернистой массой. Образуются в результате оползней или движения подводных грязевых потоков.

ОТТОРЖЕНЕЦ - небольшой массив горных пород, смещенный вследствие тектонических или гравитационных процессов от места коренного залегания.

ПРОВАЛ — понижение округлой или асимметричной формы глубиной более 0,25 м, возникшее при быстром (минуты—дни) обрушении перекрывающих некарстующихся и карстующихся пород.

ПРОСАДКА - понижение округлой формы глубиной до 0,25 м, возникшее при быстром (минуты—дни) обрушении перекрывающихся покровных или карстующихся пород.

ПРОЦЕССЫ:

АБРАЗИОННЫЙ - разрушение слагающих берега океанов, морей и озер горных пород прибоем;

ГРАВИТАЦИОННЫЙ - разрушение горных пород и перемещение продуктов разрушения под действием силы тяжести;

КАРСТОВО-СУФФОЗИОННЫЙ - вынос рыхлого материала покрывающих отложений в зоны изменений свойств породы или подземные карстовые формы;

КАРСТОВЫЙ - растворение карстующихся горных пород, часто сочетающееся с гравитационными, суффозионными и эрозионными процессами, приводящее к образованию различных карстопоявлений (зон изменения свойств пород, поверхностных и подземных форм, водных объектов и отложений);

КОРРОЗИОННЫЙ - разрушение горных пород вследствие растворения и выноса вещества в водном растворе;

НИВАЛЬНЫЙ - разрушение горных пород под действием снегового покрова, в условиях попеременного оттаивания и замерзания;

ПОСТСЕДИМЕНТАЦИОННЫЙ - геологические процессы и явления, происходящие после образования осадка;

СУФФОЗИОННО-КАРСТОВЫЙ - вынос рыхлого заполнителя из зон изменений свойств пород, поверхностных и подземных карстовых форм;

СУФФОЗИОННЫЙ - нарушение микроагрегатной структуры пород и вымывание нисходящим подземным потоком тонких частиц из покрывающих отложений с образованием на поверхности замкнутых понижений;

ЭКЗОГЕННЫЙ - геологический процесс, происходящий на поверхности Земли при участии солнечной энергии и силы тяжести;

ЭНДОГЕННЫЙ - геологический процесс, происходящий внутри Земли при участии ее внутренней энергии;

ЭРОЗИОННЫЙ - разрушение горных пород водным потоком.

ПРОЛЮВИЙ - отложения временных водотоков.

СЕДИМЕНТАЦИЯ - образование всех видов осадков в природных условиях путем перехода частиц из подвижного состояния в неподвижное.

СКЛАДКА — волнообразный изгиб пластов горных пород; различают антиклинальные С. (выпуклостью вверх, в ядре более древние породы) и синклиналильные С. (выпуклостью вниз, в ядре более молодые породы).

СТРАТИГРАФИЯ - наука, изучающая, хронологическую последовательность слоев горных пород и периодизацию геологической истории.

СУБАКВАЛЬНЫЙ - находящийся или образованный в прошлом под водой.

СУБАЭРАЛЬНЫЙ - находящийся или образованный в прошлом в воздушной среде.

СУБМАРИННЫЙ - находящийся ниже уровня моря.

СУТОРО СТИЛОЛИТОВЫЙ ШОВ - мелкобугристая поверхность растворения или отжима поровых вод в толще карбонатных пород.

ТЕКТОНИКА - 1) наука о строении и развитии земной коры; 2) тектоническое строение того или иного участка земной коры.

ТЕРРИГЕННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ - отложения, образовавшиеся из обломков различных горных пород и минералов, возникшие за счет разрушения суши.

ТРЕЩИНЫ:

БОРТОВОГО ОТПОРА - разрывы в горной породе со значительным раскрытием, возникшие в прибрежной части крутых склонов в результате снятия нагрузки в массиве и действия сил гравитации;

КОРРОДИРОВАННЫЕ - тектонические и нетектонические трещины в карстующихся породах, стенки которых подверглись растворению;

ТЕКТОНИЧЕСКИЕ - разрывы в горных породах, перемещения по которым отсутствуют или имеют небольшую величину; возникают под действием напряжений в земной коре, образуют системы.

ТУФ ИЗВЕСТКОВЫЙ - порода, состоящая из карбоната кальция (CaCO_3), отлагающегося у выходов холодных карстовых источников при изменениях содержания растворенного CO_2 , деятельности мхов и водорослей.

ШКАЛА СТРАТИГРАФИЧЕСКАЯ показывает последовательность и соподчиненность образований, слагающих земную кору, и отражает пройденные ею этапы развития. Состоит из эратем, систем, отделов, подотделов и ярусов (см. таблицу).

ЭВТРОФИЗАЦИЯ - загрязнение вод вследствие повышения их биологической производительности под воздействием увеличения температуры, содержания азота и фосфора.

ЭЛИМИНИРОВАНИЕ - избирательное поглощение породой тех или иных химических элементов или соединений.

ЭЛЮВИЙ - продукт выветривания горных пород, оставшийся на месте своего образования.

Т а б л и ц а

Взаимное расположение стратиграфических подразделений,
упомянутых в тексте книги

Эпоха	Эра	Система	Отдел (подотдел)	Ярус
Ф а н е р о з о й	Кайнозой (Kz)	Четвертичная (Q)		
		Неогеновая (N)	Плиоцен (N ₂)	Понтический (N ₂ p)
			Миоцен (N ₁)	[Мэотический (N ₁ m)
			Средний (N ₁ ²)	\ Сарматский (N ₁ s)
			Нижний (N ₁ ¹)	
		Палеогеновая (P)	Эоцен (P ₂)	Симферопольский (P ₂ s)
			Палеоцен (P ₁)	
	Мезозой (Mz)	Меловая (K)	Верхний (K ₂)	Кампанский (K ₂ km)
				Сантонский (K ₂ st)
				Коньякский (K ₂ k)
				Туронский (K ₂ t)
				Сеноманский (K ₂ s)
		Нижний (K ₁)		Апт-альбский (K ₁ a+al)
				Готерив-барремский (K ₁ g+br)
				Берриасский (K ₁ b)
		Юрская (J)	Верхний (J ₃)	Титонский (J ₃ tt)
				Кимериджский (J ₃ km)
				Оксфордский (J ₃ o)
			Средний (J ₂)	
			Нижний (J ¹)	
	Палеозой (Pz) 1	Триасовая (T)	Верхний (T ₃)	Таврическая серия (T ₃ +J ₁)

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ.....	3
ПРИНЦИПЫ ВЫДЕЛЕНИЯ ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	5
Картографирование карстующихся пород.....	5
Картографирование типов карста.....	6
Картографирование карстопоявлений.....	6
Карстологическое районирование.....	7
Оценка естественных условий развития карста и его антропогенной активизации ...	7
Оценка карстоопасности территорий.....	8
КАРСТ КРЫМА.....	9
Общая характеристика.....	9
Карст Горного Крыма.....	10
Карст Равнинного Крыма.....	17
ХОЗЯЙСТВЕННОЕ ОСВОЕНИЕ И ЭКОЛОГИЯ	
ЗАКАРСТОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ.....	20
Водохозяйственное освоение закарстованных территорий.....	20
Сельскохозяйственное освоение закарстованных территорий.....	23
Лесохозяйственное освоение закарстованных территорий.....	25
Промышленное освоение закарстованных территорий.....	26
Инженерно-строительное освоение закарстованных терри.....	27
Горнодобывающая деятельность на закарстованных территориях.....	28
Рекреационная деятельность на закарстованных территориях.....	37
Освоение подземных пространств Крыма.....	39
НЕКОТОРЫЕ НАУЧНО-ТОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ,	
СВЯЗАННЫЕ С КАРСТОМ КРЫМА.....	46
Карст и проблемы гидрогеологии.....	46
Карст и проблемы инженерной геологии.....	54
Карст и проблемы палеогеографии.....	61
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	66
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	68
Приложение 1. Крупнейшие, крупные и значительные	
карстовые полости Крыма.....	70
Приложение 2. Подземный мир Крыма (справочные данные).....	75
Приложение 3. Словарь специальных терминов.....	80

Приложение к журналу «Полуостров природы»
Регистрационное свидетельство КМ №212
Издатель — Крымская Академия гуманитарных наук

Подписано в печать 05.04.96г. Формат 60x84/16.
Гарнитура Бодони. Печать офсетная. Усл. печ. л. 5,12.
Тираж 1000 экз. Заказ
Отпечатано в Евпаторийской гортипографии.