

РАЗДЕЛ 3. ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ

*Посвящается светлой памяти известного
пермского карстолога, профессора В. Н. Катаева*

УДК 551.44

КАРСТОЛОГО-СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАРСТА ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЯ (КРЫМ)

Амеличев Г. Н.¹, Вахрушев Б. А.², Токарев С. В.³

*^{1,2,3}ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского,
Симферополь, Российская Федерация
E-mail: ¹lks0324@yandex.ru*

Статья посвящена изучению карста г. Симферополя и длится уже более 130 лет. Оно было инициировано крымскими гидрогеологами и обуславливалось растущими потребностями города в питьевой воде. Интерес к карстовым объектам на первых этапах также проявлялся со стороны геологов, минералогов и археологов. В настоящее время установлено, что более 90% площади города — это толщи меловых, палеогеновых и неогеновых карбонатных пород разной степени закарстованности. На территории города развито три водоносных горизонта (нижнемеловой, среднеэоценовый и четвертичный), которые разгружаются через 25 карстовых источников с суммарным расходом более 380 л/с. Широко отмечаются связанные с карстом участки подтопления, площадь которых достигает 30% территории города. Интегральным показателем интенсивности карстового процесса является величина химической денудации, которая в городе колеблется от 5–10 до 30–50 мкм/год (среднее значение 27 мкм/год) и до 50% обеспечивается антропогенной активизацией карста. В пределах г. Симферополя наблюдается высокое морфологическое и эволюционно-генетическое разнообразие карста, насчитывается более 20 типов поверхностных и подземных карстопроявлений. Среди них выявлено более 20 карстовых полостей. Образованные в ходе гипогенного спелеогенеза, активного в плиоцене — начале плейстоцена, сегодня они развиваются по эпигенной схеме в парагенезисе с гравитационными и суффозионными процессами. В периоды аномальных атмосферных осадков активизируются провальное-просадочные явления, часто приводящие к аварийным ситуациям на объектах хозяйствования. Карст в Симферополе выступает в основном как негативный процесс, требующий тщательного изучения, учета и инженерно-геологической оценки со стороны хозяйствующих субъектов.

Ключевые слова: карстопроявление, Симферополь, гипогенный карст, эпигенный карст, карстовая полость, карстовый источник, водоносный горизонт, карстоопасность, антропогенная активизация.

ВВЕДЕНИЕ

Исторический обзор изучения карстопроявлений любой территории, независимо от уровня освоения, является важнейшим этапом ее инженерно-карстологических исследований, направленных на выявление устойчивости и степени карстовой опасности. В нормативных документах по освоению закарстованных территорий данные характеристики опираются на материалы многолетних мониторинговых исследований, которые в большинстве карстовых районов и столице Крыма ведутся нерегулярно либо вовсе отсутствуют. В последнем случае решить проблему в какой-то степени помогает сбор и систематизация разновременных литературных,

архивных и фондовых сведений о проявлении карстовых процессов и обнаружении карстовых форм. Поэтому целью данного сообщения является подготовка фактологической основы формируемой инженерно-карстологической базы данных по городу Симферополю. В качестве решаемых задач выступают изучение исторического опыта карстологических и спелеологических исследований, анализ современных и древних карстопроявлений столицы Крыма.

ИСТОРИЧЕСКИЙ ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ КАРСТА СИМФЕРОПОЛЯ

Изучение карстовых явлений в пределах Симферополя было начато в конце XIX в. и закладывалось как исследование водоносных пород для целей питьевого водоснабжения растущей столицы Крыма. Наиболее полные сводки о начальном этапе изучения растворимых водовмещающих пород находим в работах Н.А. Головкинского [1] и П.А. Двойченко [2]. В этих трудах приведены первые сведения о распространении карстующихся пород в Симферополе и их обводнении, выявленные по результатам бурения артезианских скважин. Впервые были установлены нижнемеловой и среднеэоценовый водоносные горизонты, с которыми в настоящее время связываются карстовые процессы и явления. А.П. Двойченко (1927) описаны наиболее известные на тот период карстовые источники в пределах городской черты. Даже после выхода в свет работы А.А. Крубера «Карстовая область Горного Крыма» [3], многие родники и напорные скважины не рассматривались как явления, связанные с карстом.

Первые сведения о пещерах Симферополя можно найти в газетах XIX–XX в., где, например, указывалось о преследовании властями известного разбойника Алима Азамата, который скрылся от полиции в глубокой пещере на окраине Симферополя (ныне Алимова пещера). Известна история о том, как гимназисты в учебных целях расчистили одну из пещер на западном склоне Петровской балки, после чего ее занял крестьянин Пашковский, который «приделал к ней двери и, сделав кое-какие приспособления, поселился в ней и там живет» [4]. При описании минералов Крыма А.П. Двойченко [5] характеризует мелкие натечные образования из небольшой пещеры в склоне Битакской куэсты, обращенном к парку Салгирка.

В 1927 г. А.П. Двойченко и С.И. Забниным были выполнены археологические раскопки и открыта палеолитическая стоянка в пещере Чокурча на берегу М. Салгира. Позднее местным краеведом А. Столбуновым здесь найдена еще одна пещера с археологическим материалом.

В 1957 г. А.А. Щепинский описывает открытую при рытье колодца небольшую пещеру в столичном микрорайоне Заводское [6].

В 60–70-х гг. В.П. Душевский изучает ряд пещер на Внутренней гряде. Часть из них находится в пределах Симферополя. Так появляются первые планы и разрезы карстовых полостей, которые в своем большинстве были вскрыты при строительстве хозяйственных объектов города. Некоторые из этих пещер получили имя по названию улиц (Русская, Сельвинского, Херсонская, Залеская). В.Н. Дублянским и А.А. Ломаевым эти полости включены в состав Предгорно-Крымской карстовой области и описаны в монографии «Карстовые пещеры Украины» [7].

КАРСТОЛОГО-СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАРСТА ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЯ (КРЫМ)

В начале 80-х гг. В.П. Душевский описывает генезис и условия заложения пещер, вскрытых при строительстве жилых многоэтажных домов, в пределах Симферополя [8]. Он указывает, что активизация карста происходит при вмешательстве человека в естественный ход карстовых процессов и связана с перепланировкой территории, перераспределением нагрузки на карстующиеся породы, нарушением условий дренирования подземных вод. В качестве примера он приводит произошедший в феврале 1981 г. провал на улице Сельвинского с образованием вертикальной полости глубиной более 10 м [9].

В середине 80-х гг. Ю.И. Шутов и К.В. Аверкиев исследуют небольшую реликтовую пещеру Богурча в окрестностях с. Каменка (ныне микрорайон Каменка). Она располагается рядом с хорошо обводненной Каменской балкой, где поверхностный сток полностью уходит в недра. Здесь же позднее обнаружено несколько полузасыпанных гротов с признаками глубинного происхождения [10].

В 90-х гг. крымскими карстологами активно разрабатывается учение о парагенезисе карст-подтопление, обосновываются подходы, связанные с оценкой карстовой опасности, включая урбанизированные территории [11, 12]. Исследования, выполненные в этот период, легли в основу первых карт карстопораженности и потенциальной карстоопасности Симферополя и Крыма [13]. Они учтены при корректировке генплана города.

В начале 2000-х гг. Н.И. Лысенко и А.А. Башкин публикуют материалы о генезисе Алимовой пещеры на южном склоне Марьинской куэсты. Авторы выдвигают ряд гипотез ее происхождения, анализируют характер и распределение различных видов пещерного заполнителя [14].

С 2006 г. в Симферополе создан Институт спелеологии и карстологии, который ведет карстовый мониторинг пещер и учет всех карстовых деформаций в Симферополе и Крыму в целом, выполняет оценку карстовой опасности на проектируемых хозяйственных объектах, занимается теоретическими и методическими вопросами изучения карста. Первые итоги изучения карста в пределах Симферополя сотрудники Института подвели в работе [15]. Благодаря разработанной в Институте концепции гипогенного карста, за последние 10 лет произошла переоценка генезиса и эволюции карста в Крыму. Для Предгорного Крыма, в пределах которого расположен Симферополь, разработана эволюционно-генетическая модель карста [16, 17].

С 2015 г. большую долю в изучении карста занимают инженерно-карстологические исследования, связанные с массовым строительством хозяйственных объектов на закарстованных территориях крымских городов [18, 19]. В связи с отключением Северо-Крымского канала активизируются исследования карстовых вод, источников и областей их питания. Сотрудниками Института спелеологии применяются новые изотопно-геохимические и традиционные индикаторные методы в карстолого-гидрологическом изучении карстово-водоносных систем на территории Симферополя [20, 21, 22, 23, 24, 25].

В 2020 г. на юго-восточной окраине Симферополя исследуется морфология и устанавливается гипогенно-карстовое происхождение небольшой реликтовой пещеры, получившей имя крымского партизана К.Т. Руева [26]. В 2020–2022 гг. при

строительстве жилых домов по ул. Суходольной и Балаклавской, при прокладке водовода в Петровской балке Симферополя вскрывается ряд карстовых полостей в нуммулитовых известняках. Некоторые из них, несмотря на свою древность, обладают признаками современной обводненности. Выполняется их геофизическое обследование, проводятся противокарстовые мероприятия.

СОВРЕМЕННЫЕ И ДРЕВНИЕ КАРСТОПРОЯВЛЕНИЯ СИМФЕРОПОЛЯ

Карстовые источники. Среди современных карстопроявлений в черте Симферополя самыми распространенными являются конечные части карстово-водоносных систем – карстовые источники. Они приурочены, главным образом к долинам рр. Салгир, Малый Салгир, Абдалка, Славянка и Петровской балке (рис. 1). Источники связаны в основном с приразрывными зонами в падающих к северо-западу среднеэоценовых и нижнемеловых известняках или приурочены к контакту с выходящими на поверхность слабопроницаемыми глинами и мергелями верхнего эоцена, у которых осуществляется частичная безнапорная разгрузка подземных вод. Современное питание среднеэоценового водоносного горизонта автогенное, осуществляется в пределах структурного склона Внутренней гряды. Барремский водоносный горизонт получает воду из области, уходящей на юг от города и, несмотря на небольшую мощность, является слабо напорным. Стекая по моноклинали к северо-западу, карстовые воды обоих горизонтов утыкаются в разрывные нарушения северного простирания, контролирующее развитие Чумакарской, Курцовской и Петровской балок. Здесь происходит концентрация подземного стока, а при вскрытии горизонтов и секущих их разрывов долинно-балочными формами и разгрузка в виде карстовых источников. Источники, как правило, малодобитные, часто с рассеянным из-за разгрузки в пролювиально-аллювиальные отложения стоком, но функционируют круглогодично. Преимущественный химический состав вод характерен для карбонатного карста и относится к гидрокарбонатному кальциевому типу с вариациями.

Современный механизм функционирования карстово-водоносных систем Симферополя с нисходящим свободным стоком является относительно молодым. Морфологический анализ вскрытых карстовых полостей, по которым осуществлялся сток в прошлом, указывает, что они до конца плиоцена — начала плейстоцена формировались как напорные артезианские системы с восходящими потоками через подстилающие горизонты с отдаленными и возвышенными областями питания [16].

В настоящее время в пределах городской черты насчитывается более двух десятков карстовых источников (табл. 1). За частью из них ведется гидрологический мониторинг, с помощью которого оцениваются условия формирования и режим карстовых вод, выполняются водно-балансовые исследования, определяется величина химической денудации.

Так установлено, что в режиме питания источников выделяется два периода восполнения карстовых вод — большой (декабрь-март) и малый (май-июль). Первый играет главную роль в обеспечении водности городских родников (низкий фон

КАРСТОЛОГО-СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАРСТА ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЯ (КРЫМ)

испарения, достаточное количество эффективных осадков, наличие снегового питания).

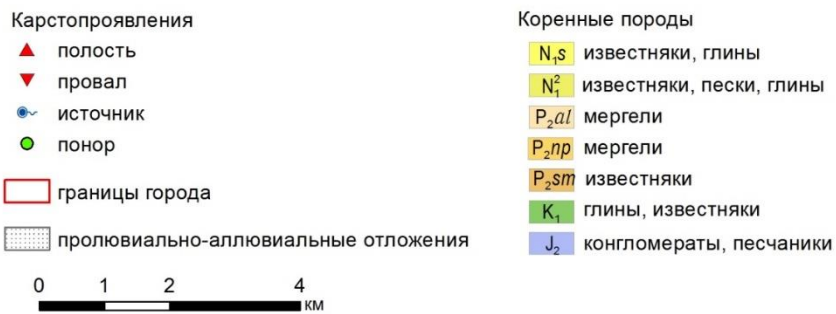
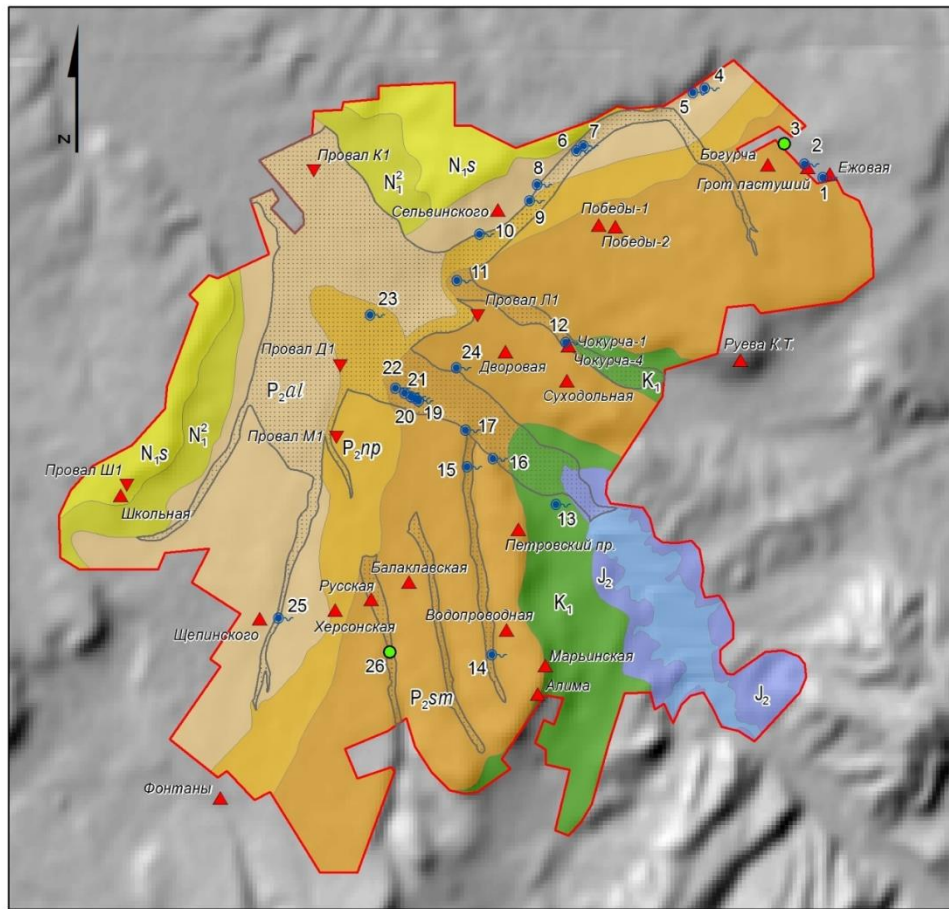


Рис. 1. Размещение карстопроявлений на геологической карте Симферополя (нумерацию и индексацию см. в табл. 1 и тексте).

Составлено авторами.

Таблица 1.

Статистические характеристики показателей гидрохимии, температуры и расхода карстовых вод, наблюдаемых источников Симферополя [10, 22, 23, 27 и др.]

Источник (№ на рис. 1)	Электропроводность, мСм/см		Минерализация, г/л		Температура, °С		Расход, л/с	
	средняя	Cv*	средняя	Cv	средняя	Cv	средний	Cv
Исток (1)	0,850	0,05	0,551	0,05	12,2	0,07	0,13	0,49
Каптаж (2)	0,949	0,03	0,618	0,03	12,5	0,06	0,17	0,04
Верхний ключ (4)	1,137	0,02	0,739	0,03	12,5	0,08	2,90	0,83
Белый ключ (5)	1,275	0,18	0,827	0,18	12,4	0,01	26,60	0,48
Белый-1 (6)	1,270	0,09	0,832	0,03	13,2	0,06	10,81	0,59
Белый-2 (7)	1,237	0,04	0,804	0,03	12,8	0,03	11,00	1,00
Сергеевский (8)	1,083	0,08	0,705	0,08	13,2	0,14	1,30	1,08
Малый (9)	0,984	0,10	0,639	0,10	13,5	0,07	7,00	0,99
Поворотный	0,964	0,16	0,627	0,16	12,2	0,14	2,30	0,61
Ковчег (10)	1,164	0,12	0,760	0,12	13,0	0,12	9,50	0,68
Титова (11)	1,032	0,04	0,671	0,04	14,1	0,04	21,20	0,41
Чокурча (12)	0,944	0,17	0,643	0,15	13,0	0,04	0,57	0,46
Салгирка (13)	0,480	0,20	0,313	0,20	12,5	0,34	18,81	0,49
Петровский верх. (14)	0,515	0,05	0,336	0,05	12,0	0,08	0,10	0,47
Петровский ср. (15)	1,149	0,1	0,751	0,1	11,6	0,1	0,83	0,3
Петровские скалы (16)	0,761	0,04	0,494	0,04	11,7	0,03	9,06	0,64
Петровский фонт. (17)	1,760	0,04	1,148	0,04	12,9	0,01	2,53	0,62
Савопуло-1 (корт) (18)	0,909	0,06	0,591	0,06	13,5	0,15	0,47	1,14
Савопуло-2 (верх.) (19)	0,902	0,08	0,588	0,08	13,1	0,10	0,17	0,73
Савопуло-3 (глав.) (20)	0,971	0,04	0,630	0,04	13,5	0,06	0,61	1,81
Савопуло-4 (ниж.) (21)	0,926	0,07	0,600	0,06	13,4	0,08	0,30	0,85
Феодосийский мост (22)	0,693	0,13	0,448	0,16	12,8	0,16	245,17	0,86
Гагаринский пруд (23)	0,675	0,16	0,441	0,17	15,5	0,51	7,59	0,84
Семашко (24)	0,664	0,10	0,432	0,10	13,3	0,13	0,19	0,82
Бор-Чокрак (25)	0,820	-	0,533	-	13,6	-	10,00	-

*Примечание: Cv- коэффициент вариации.

Он также может оказывать существенное влияние на водность второго периода, если в феврале-марте наблюдался снеговой покров. Такая ситуация обеспечивает высокое заполнение карстово-водоносных систем, которые не успевают срабатываться за апрель-начало мая до начала летнего максимума осадков. Поэтому в июне системы имеют относительно высокую степень обводненности и быстро откликаются изменением расходов на летние дожди. Наоборот, при отсутствии снегового покрова в феврале-марте к началу летних осадков системы подходят слабо заполненными, и значительная часть июньских дождей уходит на восполнение статических запасов вод прежде, чем расходы карстовых источников начнут реагировать на свежее дождевое питание. Максимальная сработка статических запасов карстовых вод происходит во второй половине лета — первой половине осени. Отсутствие осадков и высокое испарение приводят к пересыханию отдельных источников, вариациям их химического состава и минерализации.

В ходе водно-балансовых исследований установлено, что всё большую роль в питании родников начинает играть антропогенный сток (растущие утечки водопроводно-канализационных сетей, несанкционированный сброс стоков, полив). Это проявляется в относительно высокой зимней температуре вод, временных экстремальных аномалиях химического состава и минерализации на фоне нормированных месячных показателей и др.

Выяснено, что величина химической (карстовой) денудации в Симферополе колеблется от 5–10 мкм/год на малоосвоенных преимущественно периферийных территориях города до 30–50 мкм/год на плотно заселенных и промышленных участках. Примерно 50% от второго диапазона дает антропогенная активизация карста.

Карстовая морфоскульптура. Карстопроявлений на территории Симферополя сравнительно немного. В основном они приурочены к обнаженным поверхностям вершинной и склоновой части Внутренней гряды. Из поверхностных форм встречаются единичные просадки, поноры, рвы, а также ниши, гроты и навесы, заложенные в основном на пересечениях субвертикальными трещинами межпластовых контактов и отдельных слоев. Здесь же на поверхности нуммулитовых известняков местами сформированы зоны дезинтеграции пород мощностью до 2 м, состоящие из выветрелых, сильно корродированных плиток и остроугольных обломков известняка [12]. Эти участки входят в состав эпикарстовой зоны, выполняющей функцию перераспределения рассеянных атмосферных осадков в концентрированный подземный сток [28]. Итовыми формами длительно и активно функционирующей эпикарстовой системы являются воронки. Однако в пределах всей Внутренней гряды они почти не фиксируются. Это говорит о молодости эпикарстовой зоны и ее эволюционной морфологической незрелости, связанной с недавним по геологическим меркам экспонированием.

Максимальная концентрация карстовых морфоскульптур (многочисленные карры, тафони, зоны кавернозности, выходы каналовых структур разной сложности, гроты, навесы, бастионные формы) наблюдается на аструктурном склоне Марьинской, Битакской и Свободской куэст. Эти образования трактуются как реликтовые гипогенно-карстовые формы, которые ранее развивались в закрытых

гидрогеологических обстановках, связанных с напорным восходящим движением карстовых вод, а позднее были выведены в приповерхностное положение и раскрыты блоковыми отседаниями и обвалами на склоне в ходе формирования структурно-денудационного, гравитационного и флювиального рельефа куэсты. Подземные формы представлены многочисленными закарстованными трещинами, реликтовыми гипогенно-карстовыми полостями и небольшими эпигенными пещерами.

За последние 5 лет в микрорайоне Каменка стали известны несколько случаев обнаружения карстовых полостей при бурении скважин для воды. Размеры пустот, оцененные с помощью спущенной видеокамеры с подсветкой, не превышают 2 м в поперечнике.

В 2005 г. при строительстве многоквартирного жилого дома по проспекту Победы 211 на глубинах до 10 м от поверхности с помощью сейсмо- и георадарного профилирования было выявлено несколько относительно крупных карстовых полостей, положение которых было подтверждено бурением и котлованным вскрытием. Размеры полостей: ширина 2–5 м, длина 10–12 м, высота от пола до свода 1,2–1,5 м [29]. В том же году на ул. Кубанской 11 в ходе инженерно-геологических изысканий 11-метровой скважиной выявлена мощная зона закарстованных известняков, в которой полости располагались этажно. Высота отдельных пустот достигала 1,5 м, а общая доля пустот в разрезе составила почти 50%. Пустота была слабо обводнена. Уровень воды в ней реагировал на выпадающие осадки.

В декабре 2020 г. при рытье котлована под жилой дом на ул. Суходольной была вскрыта карстовая полость, уходящая на 3,5 м ниже проектного дна котлована и на 2 м вверх по его стене. Почти вся полость кроме двух куполов была заполнена глиной. После расчистки в полости выявлен морфологический комплекс восходящих потоков (МКВП) [30], включающий в себя стенные желоба, карманы и ниши, зоны повышенной кавернозности, потолочные купола и другие формы, указывающие на гипогенно-карстовое происхождение. Наличие красной мелкодисперсной глины также является диагностическим признаком гипогенеза.

В марте 2022 г. строители многоквартирного жилого дома по ул. Батурина 17 вскрыли линейно вытянутую полость-трещину шириной 20–40 см, местами закольматированную красноцветной глиной. Глубина полости составила более 5 м. Несмотря на признаки древности, полость с глубины 3 м была обводнена, что связывается с близостью барражной зоны разрывного нарушения, контролирующего Курцовскую балку.

Полости небольших размеров периодически фиксируются в пределах частных домовладений (ул. 51 армии), при прокладке водовода в Петровской балке.

Всего же по данным Кадастра карстовых полостей Крыма (на 01.09.2022) в пределах Симферополя насчитывается 22 пещеры. Морфометрические характеристики 17 пещер приведены в таблице 2.

Провально-просадочная опасность. Техногенная деятельность на закарстованных территориях является одной из важнейших причин активизации карста и современного роста карстоопасности во многих промышленных и сельскохозяйственных регионах мира. В последние годы карстовая провально-просадочная опасность стала активно проявляться в пределах городских агломераций

**КАРСТОЛОГО-СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ И СОВРЕМЕННОЕ
СОСТОЯНИЕ КАРСТА ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЯ (КРЫМ)**

Крыма, в том числе Симферополя. Главная причина роста карстоопасности в городских агломерациях Крыма – техногенная деятельность, связанная с промышленным, жилищным, дорожным и гидротехническим строительством, прокладкой и эксплуатацией подземных сооружений, систем ЛЭП.

Таблица 2.

Морфометрические характеристики карстовых полостей Симферополя [10, 15, 26]

Кадастровый номер	Название	Протяженность, м	Амплитуда, м	Объем, м ³
347-1	Сельвинского	27	15	60
349-1	Богурча	18	6	10
349-2	Чокурча-1	45	7	110
354-1	Чокурча-4	16	2	10
356-1	Щепинского	17	7	10
356-2	Фонтаны	7	5	20
356-3	Залесская	27	16	190
356-4	Херсонская	17	11	20
357-1	Петровская	10	3	10
363-1	Марьинская	30	11	30
368-1	Алимова	125	6	670
351-1	Школьная	17	7	40
350-1	Ежовая	10	2	30
350-2	Пастуший грот	6	3	30
359-1	Руева	29	5	50
349-3	Победы-1	12	1	20
349-4	Победы-2	11	2	40
354-2	Суходольная	8	6	10

Осуществление таких видов деятельности без учета генетических особенностей и эволюционного состояния карста может привести к возникновению аварий, повреждению или выводу из эксплуатации, как самих объектов воздействия, так и хозяйственных систем, находящихся в сфере их влияния. Карст провоцирует развитие естественных парагенетических процессов, связанных с гравитацией (оползни, провалы, обвалы), эрозией и суффозией (просадки). В итоге это ведет к нарушению экологической ситуации, формирует напряженное состояние в регионе и на объектах хозяйствования.

Среди современных карстопроявлений Симферополя следует отметить периодически происходящие небольшие просадки и провалы суффозионно-карстовой природы. Так, 10.05.2012 на ул. Лермонтова 7 образовался провал (Л1, рис. 1) глубиной 8 м и диаметром 1,5 м на месте засыпанного 32 года назад колодца. После засыпки колодца грунтовые воды в нем продолжали менять свои уровни в зависимости от малой или высокой обводненности водоносного горизонта. Это стимулировало развитие суффозионных и карстовых процессов в зоне колебания

засыпных грунтов. Вынос материала из нижней части засыпки колодца на фоне вибрационного эффекта от проезжающих у дома автомобилей сопровождался проседанием всей тампонажной колонны со скоростью 1 м за 4 года [21]. Мелкие (в среднем до 3 м) карстовые просадки и провалы происходили на проспектах Кирова и Победы (П1, рис. 1), на улицах Балаклавской, Киевской (К1, у Ашана), Маяковского (М1), у мемориала «Дубки» (Ш1, рис. 1) и др. Так в мае 2018 г. на ул. Маяковского возник провал, связанный с высокими паводковыми колебаниями уровня сточных вод р. Казанка, протекающих по старым полуразрушенным подземным коллекторам. В карстоопасной зоне влияния реки находятся несколько зданий по ул. Долгорукова (Д1, рис. 1), включая Художественный музей.

Утечки и поглощение стока. О существующей карстовой опасности, связанной с потерей поверхностного стока, свидетельствуют гидрологические исследования, проведенные на реках северного макросклона Крымских гор. В частности, наблюдениями, выполненными Ю.И. Шутовым [31] и В.Г. Ткачуком с соавторами [32], установлено, что при прохождении Внутренней гряды по долинам прорыва, подстилаемым песчаниками, мергелями и известняками, реки Бельбек, Кача и Альма частично или полностью теряют свой сток. Не являются исключением и реки, протекающие через Внутреннюю гряду в пределах Симферополя. Например, рр. Абдалка и Казанка, стекая по структурному склону куэсты, полностью теряют свой поверхностный сток (поноры 3 и 26 на рис. 1) и продолжают подземными потоками до выхода в днище Северной продольной депрессии в виде родников. На подземных отрезках своего пути они активно растворяют среднеэоценовые известняки, внося существенный вклад в формирование величины химической денудации. Если на р. Казанка выполненные эксперименты по трассированию поглощенных вод пока не дали окончательного результата [25], то для р. Абдалка с помощью солевого индикатора установлено, что скорость подземного потока в период невысокой обводненности системы составляет от 0,45 до 0,65 км/сут. [33]. Постоянство температуры и напора вод на выходе подземного потока в источнике Белый ключ, указывают на прохождение термического буфера в толще среднеэоценового водоносного горизонта и формирование восходящей циркуляции вследствие погружения известняков и существования фильтрационного порога у их контакта с перекрывающими верхнеэоценовыми мергелями и глинами. Находки закарстованных мергелей новопавловского и альминского ярусов на южном склоне Внешней гряды указывают, что величина напора вод в прошлом была намного больше.

Подтопление. Одним из негативных явлений, связанных с утечками из водонесущих объектов и коммуникаций, является подтопление закарстованных территорий. Это ведет к возникновению и развитию парагенезиса карст-подтопление [12].

Симферополь располагается в пределах Южной и Северной продольных депрессий, разделяющей их Внутренней куэстовой гряды и ограничивающей город с севера Внешней гряды. Основными природными причинами подтопления города являются наличие слабопроницаемых грунтов, близкое к поверхности залегание грунтовых вод. Среди техногенных причин — изменение условий поверхностного

КАРСТОЛОГО-СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАРСТА ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЯ (КРЫМ)

стока, засыпка естественных дрен, растущая инфильтрация из-за утечек водонесущих сетей (изношенность 30% городских трубопроводов достигает 90%), уменьшение испарений и рост конденсационного питания под зданиями и асфальтно-бетонными покрытиями; полив зеленых насаждений [12].

Вследствие хорошей дренируемости, Внутренняя и участок Внешней гряды (Плато) характеризуются как неподтопляемые. К периодически подтопляемым относятся участки Петровской, Курцовской, Каменской и Чумакарской балок, где развиты делювиально-пролювиальные отложения (рис. 1). Потенциально подтопляемые территории тяготеют к юго-восточному склону Внутренней гряды (Марьино), сложенному нижнемеловыми породами, перекрытыми коллювиальными и элювиально-делювиальными отложениями, а также к северным и северо-западным склонам Внутренней гряды (Фонтаны, Ц. Рынок, пл. Ленина, Красная горка, Загороднее).

В пределах Северной продольной депрессии подтопленные площади тяготеют к долинам рр. Славянка, М. Салгир, Салгир, Абдалка. Здесь они приурочены к пойме и первой надпойменной террасе (Гагаринский парк, железнодорожный вокзал, промзона Западного района, набережная у городского парка и др.). Именно на подтопленных, периодически подтопляемых и потенциально подтопляемых территориях чаще всего происходит образование внезапных провалов и вскрытий карстовых полостей во время инженерно-технических работ [9]. При этом под покровом верхнеэоценовых глин и мергелей часто обнаруживаются реликтовые гипогенные полости, выведенные вертикальными тектоническими движениями в приповерхностное положение, ныне развивающиеся по эпигенной схеме карстообразования. Такие участки характеризуются условиями взрезанного карста (пещеры Сельвинского, Русская, Херсонская, Щепинского).

Водопритоки в горные выработки. В 90-х гг. XX в. при строительстве Симферопольского дренажного коллектора глубокого заложения наблюдались значительные водопритоки. Наиболее активное поступление вод фиксировалось на участках ул. Ленина — площадь Советская, в районе перекрестка ул. Павленко и К. Либкнехта и у железнодорожного вокзала. Все отмеченные участки связаны с зонами вскрытия среднеэоценового или четвертичного водоносных горизонтов, а также с подтопленными территориями. При проходке коллектора через четвертичные отложения в районе железнодорожного вокзала объемы водопритоков настолько увеличились, а инженерно-геологические условия настолько ухудшились, что строительство объекта пришлось заморозить. В настоящее время ведется новое строительство дренажного коллектора, которое учитывает инженерно-геологические опасности, связанные с карстовой спецификой территории города.

ВЫВОДЫ

Таким образом, изучение карста г. Симферополя длится более 130 лет. Оно было инициировано крымскими гидрогеологами и обуславливалось растущими потребностями города в питьевой воде. Интерес к карстовым объектам на первых этапах также проявлялся со стороны геологов, минералогов и археологов. После становления карстоведения в ранге официальной науки и оформления общественного

спелеологического движения и до настоящего времени карстовые процессы и явления подвергаются комплексным исследованиям.

За последние десятилетия сотрудниками созданного в Симферополе Института спелеологии и карстологии установлены границы развития растворимых пород разного возраста и литологии, выявлено, что более 90% площади города — это толщи меловых, палеогеновых и неогеновых карбонатных пород разной степени закарстованности. На территории города развито три водоносных горизонта (нижнемеловой, среднеэоценовый и четвертичный), которые разгружаются через 25 карстовых источников с суммарным расходом более 380 л/с. Широко отмечаются связанные с карстом участки подтопления, площадь которых достигает 30% территории города. Именно на таких участках наблюдается высокая концентрация карстовых источников. Среди гидрографических объектов города выявлено две типично карстовых реки Абдалка и Казанка, имеющие в истоке карстовые источники, в среднем течении — поноры с полным перехватом поверхностного стока и обратным выведением его на поверхность. Доля карстового питания в них может достигать 80%.

Интегральным показателем интенсивности карстового процесса является величина химической денудации, которая в городе колеблется от 5–10 до 30–50 мкм/год (среднее значение 27 мкм/год) и до 50% обеспечивается антропогенной активизацией карста.

В пределах Симферополя наблюдается высокое морфологическое и эволюционно-генетическое разнообразие карста, насчитывается более 20 типов поверхностных и подземных карстопроявлений. Среди них выявлено более 20 карстовых полостей, большая часть из которых имеет реликтовый характер. Образованные в ходе гипогенного спелеогенеза, активного в плиоцене — начале плейстоцена, сегодня они развиваются по эпигенной схеме в парагенезисе с гравитационными и суффозионными процессами. В периоды аномальной активизации атмосферных осадков они провоцируют провально-просадочные явления, часто приводящие к аварийным ситуациям на объектах хозяйствования.

Таким образом, карст в Симферополе выступает в основном как негативный процесс, требующий тщательного изучения, учета и инженерно-геологической оценки со стороны хозяйствующих субъектов. Ожидается, что с учетом нарастающей хозяйственной деятельности проявления карстового генезиса в ближайшем будущем будут фиксироваться всё чаще.

БЛАГОДАРНОСТИ

Исследование выполнено частично за счет гранта Российского научного фонда № 23-27-00236, <https://rscf.ru/project/23-27-00236>.

Список литературы

1. Головкинский Н.А. Артезианские колодцы Таврической губернии // Новороссийский календарь. Одесса, 1890. 39 с.
2. Двойченко П.А. Геологические разрезы артезианских скважин г. Симферополя. Симферополь, 1927. 29 с.

КАРСТОЛОГО-СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ КАРСТА ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЯ (КРЫМ)

3. Крубер А.А. Карстовая область Горного Крыма. М., 1915. 324 с.
4. Балка «Петровская» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tavrika.su/id15895> (дата обращения 21.02.2023).
5. Двойченко П.А. Минералы Крыма // Записки Крымского общ-ва естествоиспытат. Симферополь, 1914. Т. IV. 208 с.
6. Щепинский А.А. Подземная форма карста близ Симферополя // Известия Крымского отдела Географического общества СССР. 1957. № 2. С. 22–23.
7. Дублянский В.Н., Ломаев А.А. Карстовые пещеры Украины. К.: Наук. думка, 1980. 180 с.
8. Душевский В.П. Активизация древнего карста в районе г. Симферополя // Состояние, задачи и методы изучения глубинного карста СССР. М., 1982. С.112–113.
9. Шутов Ю.И. Заключение о происхождении карстового провала на территории спецавтобазы «Укрмясомолтранс» (Симферополь) // Фонды ИМР. Симферополь, 1981. 2с.
10. Амеличев Г.Н., Галкина М.В. Генезис и современное состояние карста в истоке р. Абдалка (Симферополь, Крым) // Сборник трудов IV Научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки крымского федерального университета им. В.И. Вернадского», Симферополь, 10–17 октября 2018 г. Симферополь, 2019. С. 31–37.
11. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск, 1992. 145 с.
12. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Теоретические основы изучения парагенезиса карст-подтопление. Пермь, 1998. 200 с.
13. Атлас. Автономная республика Крым. Киев-Симферополь, 2003. 80 с.
14. Лысенко Н.И., Башкин И.А. Палеогеографические сокровища пещеры Алима в Крыму // Природа. №1. Симферополь, 2000. С. 8–11.
15. Амеличев Г.Н., Дмитриева А.Ю., Самохин Г.В. Гипогенный карст Симферополя (Предгорный Крым) и его эволюция // Спелеология и карстология. № 8. Симферополь, 2012. С. 50–62.
16. Климчук А.Б., Тимохина Е.И., Амеличев Г.Н., Дублянский Ю.В., Шпетль К. Гипогенный карст Предгорного Крыма и его геоморфологическая роль. Симферополь: ДиАйПи, 2013. 204 с.
17. Klimchouk A., Amelichev G., Tymokhina E., Dublyansky Yu. Hypogene Speleogenesis in the Crimean Piedmont, the Crimea Peninsula // Hypogene Karst Regions and Caves of the World / Ed. A. Klimchouk et al. Springer International Publishing AG, 2017. P. 407–430.
18. Амеличев Г.Н., Токарев С.В., Вахрушев Б.А., Науменко В.Г., Амеличев Е.Г. Карстологические исследования участков дорожного строительства с неактивным проявлением карстовых процессов (на примере объездной автодороги г. Симферополя) // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 3 (69). №2. 2017. С. 256–264.
19. Амеличев Г.Н. Оценка карстовой опасности при дорожном строительстве в Севастополе // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 8. №1. 2022. С. 130–144.
20. Амеличев Г.Н., Токарев С.В., Вахрушев Б.А. Химическая денудация как показатель активизации карста в пределах урбанизированных территорий Крыма (на примере восточной части Симферополя) // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 3 (69). №1. 2017. С. 177–191.
21. Амеличев Г.Н. Формирование и режим карстовых вод в междуречье Большого и Малого Салгира (Симферополь, Республика Крым) // Геополитика и экогеодинамика регионов. Том 3(13). Вып. 2. 2017. С. 21–38.
22. Амеличев Г.Н. Подземные карстовые воды в верхнем течении р. Абдалка (Симферополь, Предгорный Крым) // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 4 (70). № 4. 2018. С. 251–267.
23. Амеличев Г.Н., Токарев С.В., Токарев И.В. Формирование и режим карстовых подземных вод в бассейне р. Абдалка (Предгорный Крым) // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 5 (71). №2. 2019. С. 202–233.
24. Токарев С.В., Амеличев Г.Н., Токарев И.В. Гидрохимические и гидродинамические особенности карстовых подземных вод юго-восточной части г. Симферополь в условиях антропогенно-

- нарушенного режима // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 5 (71). №4. 2019. С. 199–218.
25. Амеличев Г.Н., Самохин Г.В., Токарев С.В., Науменко В.Г. Эксперимент по трассированию карстовых вод в Симферополе (Республика Крым) // Теория и практика современной карстологии и спелеологии. Материалы международной научно-практической конференции III Крымские карстологические чтения. Симферополь, 2021. С. 33–40.
 26. Амеличев Г.Н., Вахрушев Б.А., Самохин Г.В., Токарев С.В. Гипогенно-карстовый геоморфогенез центральной части Предгорного Крыма // *American Scientific Journal*, №39, 2, 2020. P. 4–10.
 27. Амеличев Г.Н., Олиферов А.Н., Новикова Ф.Н. Гидрологические особенности реки Абдалка (Симферополь) в области питания артезианского бассейна Равнинного Крыма // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. Том 3 (69). №1. 2017. С. 161–176.
 28. Климчук А.Б. Эпикарст: гидрогеология, морфогенез и эволюция. Симферополь: Сонат, 2009. 112 с.
 29. Провально-просядочная опасность в городах Симферополь и Севастополь в свете гипогенного генезиса карста Предгорья // Отчет «Разработка эволюционно-генетического подхода к прикладным проблемам карста» (итоговый). Симферополь: ТНУ-УИСК, 2014. 218 с.
 30. Климчук А.Б. Гипогенный спелеогенез, его гидрогеологическое значение и роль в эволюции карста. Симферополь, 2013. 180 с.
 31. Шутов Ю.И. Особенности перехода поверхностного стока в подземный в карстовых районах Украины // Метеорология и гидрология. Киев, 1969. С. 300–305.
 32. Ткачук В.Г., Молодых В.П., Сопина В.С. Особенности формирования стока малых рек юга УССР в связи с гидрогеологическими условиями их бассейнов // Водное хозяйство. 1966. Вып. 3. С. 61–69.
 33. Галкина М.В., Амеличев Г.Н. Трассирование карстовых вод на участке подземного течения р. Абдалка (Симферополь, Крым) // Сб. тезисов участников V научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки КФУ им. В.И. Вернадского». Таврическая академия. Секция Землеведение и геоморфология. Симферополь, 2019. С. 13–14.

KARSTOLOGICAL AND SPELEOLOGICAL KNOWLEDGE AND THE CURRENT STATE OF THE KARST IN SIMFEROPOL (CRIMEA)

Amelichev G. N.¹, Vakhrushev B. A.², Tokarev S. V.³

*^{1,2,3}V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Simferopol, Russian Federation
E-mail: ¹lks0324@yandex.ru*

The study of the karst in Simferopol has been going on for more than 130 years. It was initiated by the Crimean hydrogeologists and was determined by the growing needs of the city in potable water. Interest in karst objects at the first stages was also shown by geologists, mineralogists and archaeologists. After the establishment of karstology in the rank of official science and the public speleological movement formation, and up to the present, karst processes and phenomena are subjects of comprehensive research.

Over the last decades, specialists of the Institute of Speleology and Karstology, created in Simferopol, have established the boundaries for the occurrence of soluble rocks of different ages and lithologies, it has been revealed that more than 90% of the city's area is strata of Cretaceous, Paleogene and Neogene carbonate rocks with varying degrees of karstification. There are three aquifers (Lower Cretaceous, Middle Eocene and Quaternary) on the territory of the city, which are discharged through 25 karst springs with a total flow of more than 380 l/s. Areas of flooding associated with karst are widely occurred, the area of which reaches 30% of the city's territory. There is a high concentration of karst springs in such areas.

Among the hydrographic objects of the city, two typically karst rivers, Abdalka and Kazanka, were identified, having karst springs at their source, and ponors in the middle reaches with complete interception of surface runoff and its return to the surface. The proportion of karst waters in their recharge can reach 80%.

An integral indicator of the intensity of the karst process is the value of chemical denudation, which in the city ranges from 5–10 to 30–50 microns/year (average value 27 microns/year) and up to 50% is provided by anthropogenic activation of karst.

Within Simferopol, there is a high morphological and evolutionary-genetic diversity of karst, there are more than 20 types of surface and underground karst manifestations. Among them, more than 20 karst cavities have been identified, most of which have a relict state. Formed by hypogene speleogenesis, that was active in the Pliocene - early Pleistocene, today they develop according to the epigene scheme in paragenesis with gravitational and suffusion processes. During periods of abnormal activation of atmospheric precipitation, they provoke failure-subsidence phenomena, often leading to emergency situations at socio-economical facilities.

Thus, karst in Simferopol acts mainly as a negative process that requires careful study, accounting and engineering-geological assessment by economic entities. It is expected that, taking into account the growing economic activity, manifestations of karst in the nearest future will be occurred more often.

Keywords: karst manifestations, Simferopol, hypogene karst, epigene karst, karst cavity, karst spring, aquifer, karst hazard, anthropogenic activation.

References

1. Golovkinskij N.A. Artezianskie kolodcy Tavricheskoj gubernii (Artesian wells of the Tauride province) // Novorossijskij kalendar'. Odessa, 1890, 39 p. (In Russian).
2. Dvojchenko P.A. Geologicheskie razrezy artezianskih skvazhin g. Simferopolja (Geological sections of artesian wells in Simferopol). Simferopol, 1927, 29 p. (In Russian).
3. Kruber A.A. Karstovaja oblast' Gornogo Kryma (Karst region of the Crimean Mountains). Moscow, 1915, 324 p. (In Russian).
4. Balka «Petrovskaja» [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <https://tavrika.su/id15895>. (In Russian).
5. Dvojchenko P.A. Mineraly Kryma (Minerals of Crimea) // Zapiski Krymskogo obshh-va estestvoispytat. Simferopol, 1914, vol. IV, 208 p. (In Russian).
6. Shhepinskiy A.A. Podzemnaja forma karsta bliz Simferopolja (Underground form of karst near Simferopol) // Izvestija Krymskogo otdela Geograficheskogo obshhestva SSSR, 1957, no. 2, pp. 22–23. (In Russian).
7. Dubljanskij V.N., Lomaev A.A. Karstovye peshhery Ukrainy (Karst caves of Ukraine). Kiev: Nauk. dumka, 1980, 180 p. (In Russian).
8. Dushevskij V.P. Aktivizacija drevnego karsta v rajone g. Simferopolja (Activation of the ancient karst near the city of Simferopol) // Sostojanie, zadachi i metody izuchenija glubinnogo karsta SSSR. Moscow, 1982, pp.112–113. (In Russian).
9. Shutov Ju.I. Zakljuchenie o proishozhdenii karstovogo provala na territorii specavtobazy «Ukrmyasomoltrans» (Simferopol') (Conclusion on the origin of the karst failure on the territory of the special motor depot "Ukrmyasomoltrans" (Simferopol)) // Fondy IMR. Simferopol, 1981, 2 p. (In Russian).
10. Amelichev G.N., Galkina M.V. Genezis i sovremennoe sostojanie karsta v istoke r. Abdalka (Simferopol', Krym) (Genesis and current state of karst at the source of the Abdalka river (Simferopol, Crimea)) // The proceedings of IV scientific-practical conference «Dni nauki krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo», Simferopol, 10 – 17 october 2018, Simferopol, 2019, pp. 31–37. (In Russian).

11. Dubljanskaja G.N., Dubljanskij V.N. Kartografirovanie, rajonirovanie i inzhenerno-geologicheskaja ocenka zakarstovannyh territorij (Mapping, zoning and engineering-geological assessment of karst territories). Novosibirsk, 1992, 145 p. (In Russian).
12. Dubljanskaja G.N., Dubljanskij V.N. Teoreticheskie osnovy izuchenija paragenezisa karst-podtoplenie (Theoretical bases for studying paragenesis karst-flooding). Perm, 1998. 200 s. (In Russian).
13. Atlas. Avtonomna respublika Krym (Atlas. Autonomous Republic of Crimea). Kiev-Simferopol, 2003, 80 p. (In Ukrainian).
14. Lysenko N.I., Bashkin I.A. Paleogeograficheskie sokrovishha peshhery Alima v Krymu (Paleogeographic treasures of the Alima cave in Crimea) // Priroda, no. 1, 2000, pp. 8–11. (In Russian).
15. Amelichev G.N., Dmitrieva A.Ju., Samohin G.V. Gipogennyj karst Simferopolja (Predgornyj Krym) i ego jevoljucija (Hypogenic karst of Simferopol (Crimea Piedmont) and its evolution) // Speleologija i karstologija, no. 8, 2012, pp. 50–62. (In Russian).
16. Klimchouk A.B., Timokhina E.I., Amelichev G.N., Dubljanskij Ju.V., Shpetl' K. Gipogennyj karst Predgornogo Kryma i ego geomorfologicheskaja rol' (Hypogenic karst of the Piedmont Crimea and its geomorphological role). Simferopol: DiAjPi, 2013, 204 p. (In Russian).
17. Klimchouk A., Amelichev G., Tymokhina E., Dublyansky Yu. Hypogene Speleogenesis in the Crimean Piedmont, the Crimea Peninsula // Hypogene Karst Regions and Caves of the World / Ed. A. Klimchouk et al. Springer International Publishing AG, 2017. P. 407–430.
18. Amelichev G.N., Tokarev S.V., Vakhrushev B.A., Naumenko V.G., Amelichev E.G. Karstologicheskie issledovaniya uchastkov dorozhnogo stroitel'stva s neaktivnym projavleniem karstovyh processov (na primere ob'ezdnoj avtodorogi g. Simferopolja) (Karstological studies of road construction sites with inactive manifestation of karst processes (on the example of the Simferopol bypass road)) // Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean federal university. Geography. Geology. Vol. 3 (69), no. 2, 2017, pp. 256–264. (In Russian).
19. Amelichev G.N. Ocenka karstovoj opasnosti pri dorozhnom stroitel'stve v Sevastopole (Assessment of karst hazard during road construction in Sevastopol) // Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean federal university. Geography. Geology. Vol. 8, no. 1, 2022, pp. 130–144. (In Russian).
20. Amelichev G.N., Tokarev S.V., Vakhrushev B.A. Himicheskaja denudacija kak pokazatel' aktivizacii karsta v predelakh urbanizirovannyh territorij Kryma (na primere vostochnoj chasti Simferopolja) (Chemical denudation as an indicator of karst activation within the urbanized territories of Crimea (on the example of the eastern part of Simferopol)) // Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean federal university. Geography. Geology. Vol. 3 (69), no. 1, 2017, pp.177–191. (In Russian).
21. Amelichev G.N. Formirovanie i rezhim karstovyh vod v mezhdurech'e Bol'shogo i Malogo Salgira (Simferopol', Respublika Krym) (Formation and regime of karst waters in the interfluvium of the Bolshoi and Maly Salgir (Simferopol, Republic of Crimea)) // Geopolitics and Ecogeodynamics of regions. Vol. 3(13), no. 2, 2017, pp. 21–38. (In Russian).
22. Amelichev G.N. Podzemnye karstovye vody v verhnem techenii r. Abdalka (Simferopol', Predgornyj Krym) (Underground karst waters in the upper reaches of the Abdalka river (Simferopol, Piedmont Crimea)) // Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean federal university. Geography. Geology. Vol. 4 (70), no. 4, 2018, pp. 251–267. (In Russian).
23. Amelichev G.N., Tokarev S.V., Tokarev I.V. Formirovanie i rezhim karstovyh podzemnyh vod v bassejne r. Abdalka (Predgornyj Krym) (Formation and regime of karst groundwater in the basin of the Abdalka river (Piedmont Crimea)) // Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean federal university. Geography. Geology. Vol. 5 (71), no. 2, 2019, pp. 202–233. (In Russian).
24. Tokarev S.V., Amelichev G.N., Tokarev I.V. Gidrohimicheskie i gidrodinamicheskie osobennosti karstovyh podzemnyh vod jugo-vostochnoj chasti g. Simferopol' v uslovijah antropogennogo narushennogo rezhima (Hydrochemical and hydrodynamic features of karst groundwater in the south-eastern part of Simferopol under conditions of anthropogenic disturbance) // Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean federal university. Geography. Geology. Vol. 5 (71), no. 4, 2019, pp. 199–218. (In Russian).
25. Amelichev G.N., Samokhin G.V., Tokarev S.V., Naumenko V.G. Jeksperiment po trassirovaniju karstovyh vod v Simferopole (Respublika Krym) (Karst water tracing experiment in Simferopol (Republic of Crimea)) // Theory and practice of modern karstology and speleology. The proceedings of international scientific-practical conference «III Krymskie karstologicheskie chtenija». Simferopol, 2021, pp. 33–40. (In Russian).

КАРСТОЛОГО-СПЕЛЕОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ И СОВРЕМЕННОЕ
СОСТОЯНИЕ КАРСТА ГОРОДА СИМФЕРОПОЛЯ (КРЫМ)

26. Amelichev G.N., Vakhrushev B.A., Samokhin G.V., Tokarev S.V. Gipogenno-karstovyy geomorfogenez central'noj chasti Predgornogo Kryma (Hypogene-karst geomorphogenesis of the central part of the Piedmont Crimea) // American Scientific Journal, no. 39, 2, 2020, pp. 4–10. (In Russian).
27. Amelichev G.N., Oliferov A.N., Novikova F.N. Hidrologicheskie osobennosti reki Abdalka (Simferopol') v oblasti pitaniya artezijskogo bassejna Ravninnogo Kryma (Hydrological features of the Abdalka river (Simferopol) in the recharge area of the Plain Crimea artesian basin) // Scientific notes of the V.I. Vernadsky Crimean federal university. Geography. Geology. Vol. 3 (69), no. 1, 2017, pp. 161–176. (In Russian).
28. Klimchouk A.B. Jepikarst: gidrogeologija, morfogenez i jevoljucija (Epikarst: hydrogeology, morphogenesis and evolution). Simferopol: Sonat, 2009, 112 p. (In Russian).
29. Proval'no-prosadochnaja opasnost' v gorodah Simferopol' i Sevastopol' v svete gipogenno-genezisa karsta Predgor'ja (Failure-subsidence danger in the cities of Simferopol and Sevastopol in the light of the hypogene genesis of the foothills karst) // Report "Development of an evolutionary-genetic approach to applied problems of karst" (final). Simferopol: TNU-UISK, 2014, 218 p. (In Russian).
30. Klimchouk A.B. Gipogennyj speleogenez, ego gidrogeologicheskoe znachenie i rol' v jevoljucii karsta (Hypogene speleogenesis, its hydrogeological significance and role in the evolution of karst). Simferopol, 2013, 180 p. (In Russian).
31. Shutov Ju.I. Osobennosti perehoda poverhnostnogo stoka v podzemnyj v karstovyh rajonah Ukrainy (Features of the transition of surface runoff to underground runoff in the karst regions of Ukraine) // Meteorologija i gidrologija. Kiev, 1969, pp. 300–305. (In Russian).
32. Tkachuk V.G., Molodyh V.P., Sopina V.S. Osobennosti formirovanija stoka malyh rek juga USSR v svjazi s gidrogeologicheskimi uslovijami ih bassejnov (Features of runoff formation of small rivers in the south of the Ukrainian SSR in connection with the hydrogeological conditions of their basins) // Vodnoe hozjajstvo, 1966, no. 3, pp. 61–69. (In Russian).
33. Galkina M.V., Amelichev G.N. Trassirovanie karstovyh vod na uchastke podzemnogo techenija r. Abdalka (Simferopol', Krym) (Tracing of karst waters in the section of the underground flow of the Abdalka river (Simferopol, Crimea)) // Sb. tezisov uchastnikov V nauchno-prakticheskoj konferencii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov, studentov i molodyh uchenyh «Dni nauki KFU im. V.I. Vernadskogo». Tavricheskaja akademija. Sekcija Zemlevedenie i geomorfologija. Simferopol, 2019, pp. 13–14.

Поступила в редакцию 21.02.2023 г.