

РАЗДЕЛ 4.
ГЕОМОРФОЛОГИЯ И ЭВОЛЮЦИОННАЯ ГЕОГРАФИЯ

УДК 551.44

**ОЦЕНКА КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ДОРОЖНОМ
СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СЕВАСТОПОЛЕ**

Амеличев Г. Н.

*Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского, Институт спелеологии и
карстологии, Симферополь, Российская Федерация
E-mail: lks0324@yandex.ru*

Приведена методика и выполненная на ее основе оценка карстовой опасности территории, отведенной под реконструкцию и строительство региональной автодороги в г. Севастополе. Установлен генезис и характер поверхностной и подземной закарстованности. Выявлены участки со средней, высокой и очень высокой степенью карстовой опасности, что определило регламент мероприятий по противокарстовой защите территории.

Ключевые слова: карст, методика, карстовая опасность, балльная оценка, антропогенная активизация, устойчивость территории.

ВВЕДЕНИЕ

При геоэкологической и инженерно-геологической оценке территорий карст и связанные с ним карстово-суффозионные явления рассматриваются в качестве опасных геолого-геоморфологических процессов, вызывающих провально-просадочные деформации поверхности и хозяйственных объектов, утечки из гидротехнических сооружений, аварийные притоки карстовых вод в горные выработки, слабую защищенность водоносных горизонтов и водозаборов от загрязнений и другие неблагоприятные последствия, которые могут носить катастрофический характер и часто приводят к возникновению чрезвычайных ситуаций. Для ликвидации последствий негативного воздействия карста на хозяйственную деятельность ежегодно затрачиваются миллионы рублей. Поэтому на всех стадиях предпроектных, проектных, строительных и эксплуатационных работ необходимо проведение плановых и внеплановых инженерно-карстологических исследований, целью которых является обеспечение безопасного функционирования хозяйственных объектов, минимизация угроз и рисков, связанных с карстом.

Проблема связанных с карстом и суффозией угроз и опасностей является весьма актуальной для г. Севастополя в связи с широким распространением здесь водорастворимых пород — известняков. Хотя степень закарстованности растворимых пород в Севастополе варьирует в широких пределах, само их наличие на поверхности и в части геологического разреза, охваченного инженерным освоением и воздействием, следует считать индикатором потенциальной карстоопасности. В связи с широким дорожно-строительным освоением и реконструкцией городских территорий был проведен комплекс инженерно-карстологических исследований в Гагаринском районе Севастополя, у основания бухт Казачья и Камышковая. Объектом изучения явилась

ОЦЕНКА КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СЕВАСТОПОЛЕ

территория площадью около 9 км², в пределах которой располагается Казачинское шоссе и улицы Правды, Дорическая и Казачья. *Цель работы* — определение степени карстовой опасности территории на основе балльной оценки естественноисторических и техногенных условий развития карста. Для достижения поставленной цели решались задачи, связанные с рассмотрением основных положений методики балльной оценки, исследованием характера поверхностной и подземной закарстованности территории, изучением скорости растворения и собственно реализацией оценки карстоопасности.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время для региональной и локальной оценки карстовой опасности в Республике Крым широко применяется балльный метод [1], учитывающий естественноисторические условия развития и техногенную активизацию карста. Его методологической основой являются представления Д. С. Соколова [2] о четырех основных условиях развития карста (наличие: I — растворимых пород; II — водопроницаемости; III — движущихся вод; IV — агрессивных свойств у вод) и группе, поддерживающих и регулирующих эти условия, ведущих факторов [3]. Выделено 20 ведущих факторов (табл. 1), четко соотносящихся с соответствующими основными условиями и в большинстве случаев, значимо коррелирующих с интегральной оценкой карстоопасности. Они были ранжированы в рамках пределов их распространенности (выраженности) или экстремальных параметров, после чего применена балльная оценка выделенных рангов [1]. Все выделенные факторы характеризуют природный фон карстообразования.

Таблица 1

Основные условия и ведущие факторы развития карста [4]

1-е условие (наличие растворимых пород)	3-е условие (наличие движущихся вод)
1. Развитие карстующихся пород в плане 2. Развитие карстующихся пород в разрезе 3. Мощность карстующихся пород 4. Степень относительной карстуетности в плане 5. Степень относительной карстуетности в разрезе 6. Тип карста по характеру покрова	12. Количество эффективных осадков 13. Количество конденсационных вод 14. Поверхностный сток 15. Подземный сток 16. Уклон подземного потока
2-е условие (наличие водопроницаемости пород)	4 условие (наличие агрессивности вод)
7. Структурно-тектонические условия 8. Залегание пород 9. Близость разломов и зон трещиноватости 10. Характер коллекторов 11. Неотектонический режим	17. Минерализация воды 18. pH воды 19. Температура воды 20. Увеличение агрессивности вод

Первое условие развития карста реализуется через шесть, второе — через пять, третье — через пять и четвертое — через четыре ведущих фактора. Рассмотрим принцип построения и структуру оценочных шкал [1].

I. Наличие растворимых пород:

1. Развитие карстующихся пород (по площади) оценивается по карте распространения растворимых пород (личные исследования, [5, 6]) в долях единицы по шкале: 1,0–0,8 — 5; 0,8–0,6 — 4; 0,6–0,4 — 3; 0,4–0,2 — 2; менее 0,2 — 1 балл.

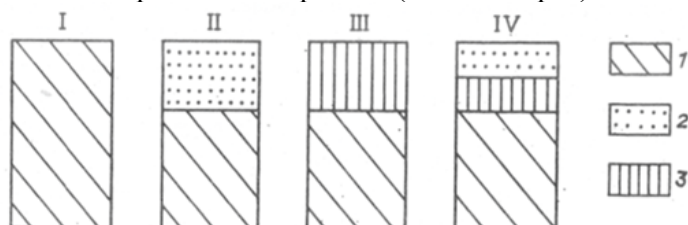
2. Развитие карстующихся пород (в разрезе) оценивается по геологическим разрезам и стратиграфическим колонкам (данные бурения, личных исследований, [7, 8]) в долях единицы по той же шкале.

3. Мощность карстующихся пород, залегающих первыми от поверхности, оценивается по геологическим картам [4, 6, 9], разрезам и стратиграфическим колонкам, предоставленным заказчиком, отдельно для карбонатных (цифры вне скобок), сульфатных и галоидных пород (цифры в скобках) в метрах по шкале: более 500 (50) — 5; 500–100 (50–30) — 4; 100–50 (30–10) — 3; 50–10 (10–5) — 2; менее 10 (5) — 1 балл.

4. Степень относительной карстуемости (по площади) оценивается по следующей шкале: галоидные породы — 5; сульфатные породы, чередование их с галоидными — 4; карбонатные породы (известняки, мел, доломиты), их переслаивание между собой, с галоидными и сульфатными породами — 3; глинистые, песчаные карбонатные породы, их переслаивание между собой и с некарстующимися породами — 2; прослои карстующихся пород среди некарстующихся — 1 балл.

5. Степень относительной карстуемости (в разрезе) оценивается по геологическим разрезам и стратиграфическим колонкам по той же шкале (при этом баллы, начисленные по каждому горизонту карстующихся пород, суммируются и делятся на число горизонтов).

6. Тип карста (по характеру покровных отложений) оценивается, исходя из рисунка 1, по шкале: открытый — 5; покрытый — 4; перекрытый - 3; перекрыто-покрытый - 2; участки открытого и покрытого (в долинах рек) – 5 баллов.



I — открытый, II — покрытый, III — перекрытый, IV — перекрыто-покрытый. Породы: 1 — карстующиеся, 2–3 — некарстующиеся: 2 — осадочные нецементированные, 3 — осадочные цементированные, магматические, метаморфические.

Рис. 1. Типы карста по характеру покровных отложений [8].

ОЦЕНКА КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СЕВАСТОПОЛЕ

II. Наличие водопроницаемости пород:

7. Структурные условия оцениваются по тектонической карте [10, 11] по шкале: горно-складчатые сооружения — 5; предгорные моноклиальные гряды — 4; предгорные впадины и прогибы — 3; платформенные антиклинальные структуры — 2; платформенные синклинальные структуры — 1 балл.

8. Залегание (падение) пород определяется в ходе прямых наблюдений, снимается с карт [5, 9, 6] и на основании накопленного опыта [12, 13] оценивается отдельно для геосинклинальных и платформенных (в скобках) условий в градусах по шкале: 0–5 — 3 (5); 6–10 — 4 (5); 11–30 — 5 (4); 31–50 — 5 (4); 51–70 — 4 (3); более 70 — 2 (2) балла.

9. Расстояние от крупных тектонических нарушений оценивается по материалам тектонических исследований [10, 11, 14] в долях радиуса вписанной в ОТЕ окружности по шкале: менее 0,2 — 5; 0,2–0,4 — 4; 0,5–0,6 — 3; 0,7–0,8 — 2; 0,8–1,0 — 1; более 1,0 — 0 баллов.

10. Характер коллекторов оценивается согласно [12, 13, 15] по шкале: поровый (П) — 1; трещинный (Т) — 2; каверновый (К) — 3, смешанный двойной (ПТ, ПК, ТК) — 4; смешанный тройной (ПТК) — 5 баллов. Принимается, что поровые коллекторы характерны для мела и толщ переслаивания карстующихся и некарстующихся пород; трещинные — для неслоистых массивных известняков, гипсов, соли; каверновые — для ракушечниковых известняков, смешанные — для районов, где имеются крупные обводненные полости.

11. Неотектонический режим оценивается по карте неотектоники [16] отдельно для геосинклинальных и платформенных (в скобках) условий в метрах по шкале: более +1000 (+200) — 5; +1000... +500 (+200... +100) — 4; +500... -500 (+100... -100) — 3; -500... -1000 (-100... -200) — 2; более -1000 (-200) — 1 балл.

III. Наличие движущихся вод:

12. Количество эффективных осадков (осадки минус испарение, мм), оценивается по климатическим картам [17] по шкале: 500–400 — 5; 400–300 — 4; 300–200 — 3; 200–100 — 2; менее 100 — 1 балл.

13. Количество конденсационных вод оценивается по данным, приведенным в работах [12, 13], в процентах от количества осадков, по шкале: 15–11 — 3; 10–6 — 2; 5–1 — 1 балл.

14. Поверхностный сток (л/с·км²) оценивается согласно [10] отдельно для геосинклинальных и платформенных (в скобках) условий по шкале: более 20 (4) — 5; 20–16 (4,0–3,1) — 4; 15–11 (3,0–2,1) — 3; 10–6 (2,0–1,1) — 2; менее 6 (1,1) — 1 балл.

15. Подземный сток (л/с·км²) оценивается согласно [10] отдельно для геосинклинальных и платформенных (в скобках) условий по шкале: более 8 (3,5) — 5; 8–7 (3,5–2,6) — 4; 6–5 (2,5–1,6) — 3; 4–3 (1,5–0,6) — 2; менее 3 (0,6) — 1 балл.

16. Уклон подземного потока косвенно характеризуется через превышение водоразделов над тальвегами (м) по шкале: более 100 — 5; 100–80 — 4; 80–60 — 3; 60–40 — 2; 40–20 — 1; менее 20 — 0 баллов.

IV. Наличие агрессивных свойств воды:

17. Минерализация воды (г/л) оценивается по данным, приведенным в [10, 18] по шкале: менее 0,2 — 5; 0,2–0,5 — 4; 0,6–1,0 — 3; 1,1–1,5 — 2; 1,6–2,0 — 1; более 2,0 — 0 баллов.

18. рН воды (единицы) оценивается по данным, приведенным в [13, 15] по шкале: 5–6,9 — 4; 7 — 3; 7,1–9 — 2 балла.

19. Температура воды оценивается по среднегодовой температуре воздуха (градусы) на поверхности [17] отдельно для карбонатных, сульфатных и галоидных (в скобках) пород по шкале: 5,0–6,0 — 5 (1); 6,1–7,0 — 4 (2); 7,1–8,0 — 3 (3); 8,1–9,0 — 2 (4); 9,1–10,0 — 1 (5) баллов.

20. Увеличение растворяющей способности оценивается исходя из накопленного опыта исследований [1, 13, 19 и др.] дополнительным баллом (или их суммой) при формировании CO₂ почвой (учитывается в открытом и покрытом карсте), наличии органических кислот (на заболоченных землях), наличии в растворе одноименных ионов (на участках переслаивания известняков и доломитов), подтоке сухих струй CO₂ (близ разрывных нарушений), окислении сульфидов (в горно-рудных районах), наличии коррозии смешивания (при подпитке напорными или морскими водами и пр.). Для определения участков, где необходимо вводить дополнительные баллы, использованы материалы полевых наблюдений.

Для визуализации распределения итоговых оценочных показателей карстовой опасности, полученных балльным методом, исследуемая территория покрывается сеткой квадратов (ОТЕ – операционно-территориальных единиц) со стороной 0,5 км. Внутри каждого квадрата (ОТЕ) собирается информация по каждому из 20 ведущих факторов. Полученные характеристики переводятся в баллы и суммируются. Затем используется метод «скользящего окна», в которое входит 4 смежных (по краям сетки 2) квадрата. На перекрестии четырех смежных квадратов в кружке выставляется средний итоговый балл, совокупность которых в пределах контура сетки и оцениваемого объекта позволяет методом интерполяции проводить изобаллы, и таким образом, осуществлять дифференциальную оценку природных (естественноисторических) условий карстообразования.

Авторами методики [1] выделяется пять градаций природных условий развития карста: неблагоприятные (до 40 баллов), слабоблагоприятные (41–50), среднеблагоприятные (51–60), благоприятные (61–70) и весьма благоприятные (более 70 баллов). Кроме природных условий необходимо учитывать техногенную активизацию карста, происходящую под влиянием хозяйственной деятельности, ведущейся на территории. Поэтому еще в ходе разработки методики был выполнен анализ влияния отдельных хозяйственных комплексов на весь спектр ведущих факторов и рассчитаны поправочные коэффициенты (табл. 2), что в итоге позволило рассчитать баллы техногенной активизации. В дальнейшем они были ранжированы (табл. 3) и в комплексе с градациями естественноисторических (природных) условий развития карста позволяют выйти на определение степени карстоопасности территории (I–V).

ОЦЕНКА КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
В СЕВАСТОПОЛЕ

ФАКТИЧЕСКИЙ МАТЕРИАЛ

В ходе проведения полевых инженерно-карстологических изысканий в пределах земельного отвода под строительство объекта удалось выявить около десятка типов поверхностных карстопроявлений, характерных для территорий, развивающихся преимущественно в слабо- и средне-благоприятных условиях для карстообразования. Среди них встречены разнообразные карры, покрывающие поверхности отдельных глыб известняка, и выходы скальных обнажений на южном берегу Камышовой бухты, с обилием мелких ниш, ячей и закарстованных трещин.

Таблица 3

Степень карстоопасности территории [1]

Условия развития природного карста, баллы	Техногенная активизация карста, баллы			
	Слабая (<15)	Средняя (15-20)	Сильная (21-25)	Очень сильная (> 25)
Неблагоприятные (<40)	I	I	II	II
Слабоблагоприятные (40-50)	II	II	III	III
Среднеблагоприятные (51-60)	II	III	III	IV
Благоприятные (61-70)	III	III	IV	IV
Весьма благоприятные (>70)	III	IV	IV	V

*Примечание. Степень карстовой опасности: I — низкая, II — средняя, III — высокая, IV — очень высокая, V — катастрофическая.

Маловыразительные формы карров указывают на малоблагоприятные для их развития современные условия карстообразования. Многие из этих форм несут следы разрушения под действием физического выветривания. Несмотря на относительную молодость карров, их активная фаза формирования проходила ранее и сопровождалась более гумидной климатической обстановкой. Современная угнетенность этих форм связана с недостаточностью осадков и поверхностных вод. Ниши и ячей растворения также подвержены процессам комплексной денудации. В соответствии с последними научными разработками [20] их возраст считается более древним, а происхождение до раскрытия на поверхности — спелеогенным. Карстовые воронки на участке отсутствуют.

Таблица 2.
Оценка влияния хозяйственной деятельности на ведущие факторы развития карста [1]

Группы и виды деятельности	Факторы										Количество изменяющихся факторов	Поправочный коэффициент	Техногенная активизация, балл							
	1	2	3	6	10	12	14	15	16	17				18	19					
	20																			
	Сельскохозяйственная																			
Распашка	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+	+	?	-	-	7	1,3	9,1		
Выпас	-	-	-	-	-	-	+	+	+	-	-	-	-	-	-	5	1,2	6,0		
Орошение	-	-	-	-	?	?	+	+	+	+	+	+	+	-	-	8	1,3	10,4		
Осушение	-	-	-	-	?	?	+	+	+	+	+	+	+	-	-	6	1,2	7,2		
	Лесохозяйственная																			
Вырубка	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	6	1,2	7,2		
Лесопосадки	-	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	+	6	1,2	7,2		
	Строительная																			
Промышленное	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	?	+	-	-	+	+	+	13	1,5	19,5
Гражданское	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	?	+	-	-	+	+	+	12	1,4	16,8
Гидротехническое	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	12	1,4	16,8
Коммуникационное	+	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	6	1,2	7,2
	Горнодобывающая																			
Открытые работы	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	?	?	-	+	+	+	14	1,5	21,0
Подземные работы	-	+	+	+	+	-	-	-	-	-	-	?	?	-	-	+	+	10	1,4	14,0
Подземная вылавка	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	?	+	-	-	-	?	3	1,1	3,3
	Водохозяйственная																			
Местное водоснабжение	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	2	1,1	2,2
Централизованное	-	-	-	-	-	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	3	1,1	3,3

Примечание: 1 — развитие карстующихся пород (по площади), 2 — развитие карстующихся пород (в разрезе), 3 — мощность карстующихся пород, 6 — тип карста, 10 — характер коллекторов, 12 — количество эффективных осадков, 14 — поверхностный сток, 15 — подземный сток, 16 — уклон подземного потока, 17 — минерализация воды, 18 — pH, 19 — температура, 20 — увеличение растворяющей способности: а — CO₂, б — органические кислоты, в — однокислотные ионы, г — окисление сульфидов, д — коррозия смешивания; (+) — влияет, (-) — не влияет, (?) — характер влияния не установлен.

ОЦЕНКА КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СЕВАСТОПОЛЕ

Формы переходные от поверхностных к подземным представлены в береговом уступе Камышовой бухты в 800 м к северу от Казачинского шоссе. К ним относятся коррозионно-абразионные гроты и ниши, заложенные в отдельных прослоях сарматских выветрелых известняков. Анализ морфологии гротов и ниш указывает на их первичный гипогенно-карстовый генезис в закрытых гидрогеологических условиях. Максимальные размеры этих реликтовых форм до раскрытия не превышали 3 м в диаметре. Однако последующее абразионное раскрытие на поверхности привело к увеличению размеров до 4–7 м.

Среди подземных форм карста на участке выявлены открытые и заполненные в разной степени глинистым и кальцитовым материалом латеральные каналы и изометричные ниши и карманы, раскрытые обрывами зоны полостной кавернозности. На обнажениях, в разрезах и кернах фрагменты этих полостей демонстрируют как правило стратиформность — приуроченность к отдельным прослоям внутри известняков. Полостной заполнитель чаще всего представлен красноцветной плотной глиной (нерастворимый остаток при химической денудации известняков). В отдельных случаях полостное пространство может быть выполнено вторичным холодноводным кальцитом или даже предположительно его гидротермальной разновидностью. Также встречены несколько мелких карстовых полостей, среди которых выделяются горизонтальный и вертикальный типы. Выявленный на участке фрагмент вертикального колодца имеет вход в виде замочной скважины с максимальным диаметром 0,5 м и видимой глубиной 1 м. Стены колодца гладкие, дно заполнено глинисто-щебнистым материалом. Горизонтальная полость имеет небольшие размеры (диаметр входа 0,7 м, длина около 3–4 м, ширина 0,8 м). Заложена в сильно выветрелом сарматском известняке.

По инженерно-геологическим изысканиям прошлых лет в районе ул. Казачья при строительстве школы и бассейна бурением выявлен кластер небольших карстовых полостей. Провалы инструмента зафиксированы в скважинах № 1 (на глубине 3,9–4,0 м), №5 (на глубине 8,5–8,7 м) и №9 (на глубине 6,0–6,15 м и 6,8–7,0 м). Кровля карстовых полостей по данным бурения находится в интервале абсолютных отметок 14,0–17,0 м. На соседнем участке (80–150 м от первого объекта) были выявлены две карстовые полости, мощностью 70 и 40 см. Кровля карстовых полостей находится на абсолютной отметке 11,0 м.

В целом по распределению поверхностной и подземной закарстованности можно заключить, что карстовый процесс тяготеет к морскому побережью и связан с современным уровнем Черного моря (активные коррозионно-абразионные формы) и древними положениями галоклина в толще известняков (реликтовые формы). Непосредственно в зоне планируемого строительства крупные и активные формы отсутствуют, остальные находятся в угнетенном состоянии.

БАЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ

Для оценки карстовой опасности была выбрана территория, включающая объекты всех трех этапов строительства и реконструкции, а именно Камышовое

шоссе, ул. Правды, Казачинское шоссе (1 этап), ул. Дорическая (2 этап) и ул. Казачья (3 этап). Бальный метод, используемый для оценки карстовой опасности, позволяет несмотря на то, что объекты линейные, использовать площадной подход, учитывающий характер закарстованности не только в пределах дорожного полотна, но и на прилегающих к нему участках на расстоянии до 500 м и более по обе стороны от проектируемых линий.

В соответствии с представленной выше методикой исследуемая территория была покрыта сеткой ОТЕ (квадратов) со стороной 0,5 км. Площадь покрытия составила 8,75 км² (2,5×3,5 км). Для идентификации каждого квадрата было введено кодирование (5 строк сетки имеют нумерацию от 1 до 5, каждая из 7 колонок обозначена буквой от а до ж). В пределах каждого квадрата собиралась информация по 20 ведущим факторам, всесторонне характеризующим карст, обусловленный природными факторами. Часть информации снималась с опубликованных и фондовых источников (карт, научных статей, отчетов, материалов заказчика), часть – получена в ходе инженерно-карстологических полевых и лабораторных исследований. Полученные значения для унификации итоговых данных переводились в баллы согласно разработанных оценочных шкал.

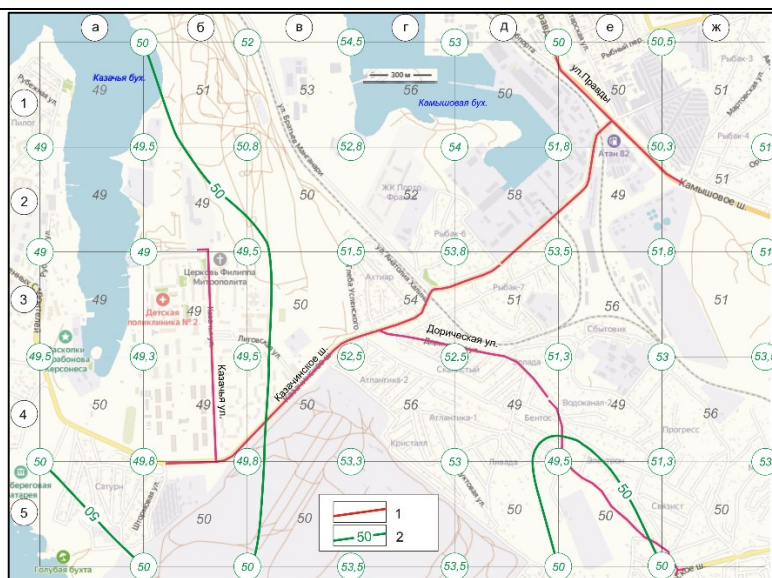
Интегральная средняя оценка для всей исследуемой площади составила 51 балл, что согласно таблице 3, соответствует градации средне благоприятные условия развития природного карста. Дифференциальная оценка и ее территориальное распределение представлено на рисунке 1. Из него следует, что западный участок Казачинского шоссе, ул. Казачья и юго-восточный участок ул. Дорической располагаются в пределах категории территорий со слабо благоприятными условиями развития природного карста. Остальным участкам строительства соответствуют средне благоприятные условия.

Для оценки техногенной активизации карста на площади изыскания был выполнен анализ хозяйственной деятельности и ее влияния на активизацию карста и формирование карстоопасности. Для этого были использованы материалы таблицы 2, на основании которых выполнена балльная оценка техногенной активизации карста в каждом квадрате сетки ОТЕ (рис. 2). В результате оценивания в пределах территории были выделены все градации техногенной активизации. Ареал максимальных значений (очень сильная техногенная активизация) выделился вдоль южного берега Камышовой бухты, куда вошел участок Казачинского шоссе и участок ул. Правды. Большая часть дороги по Казачинскому шоссе и примыкающим Камышовому шоссе и ул. Правды, а также ул. Казачья лежат в ареалах развития средней и сильной активизации карста. Остальные участки приурочены к зонам слабой активизации.

Среднее значение активизации карста для всей площади изыскания составило 13 баллов, что соответствует категории слабая активизация.

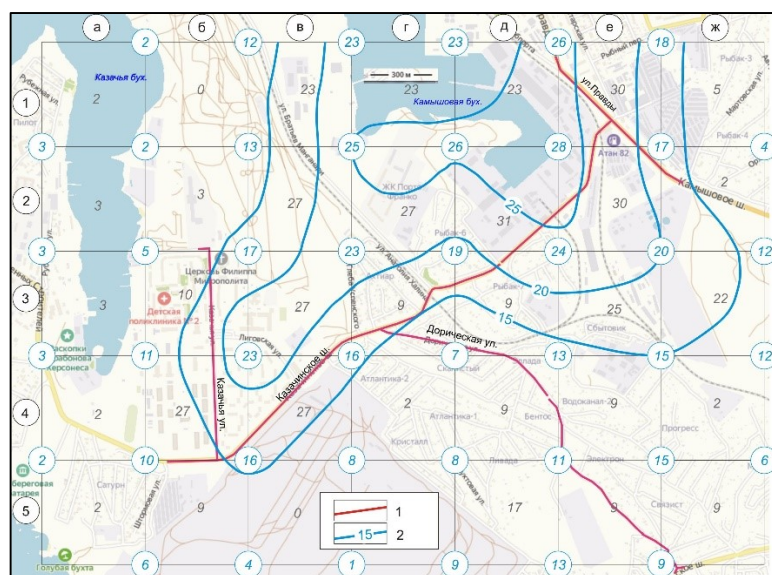
Итоговая карта дифференциальной оценки карстоопасности была создана путем наложения оценочных карт условий развития природного карста и его техногенной активизации. Категории пересекающихся при наложении выделов, соответствующие степени карстоопасности, определялись в соответствии с правилами таблицы 3.

ОЦЕНКА КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СЕВАСТОПОЛЕ



Условные обозначения: 1 — объект строительства, 2 — граница (50 баллов) между территориями со слабо- и средне-благоприятными условиями карстообразования

Рис. 1. Карта оценки условий развития природного карста на участке Севастополя.

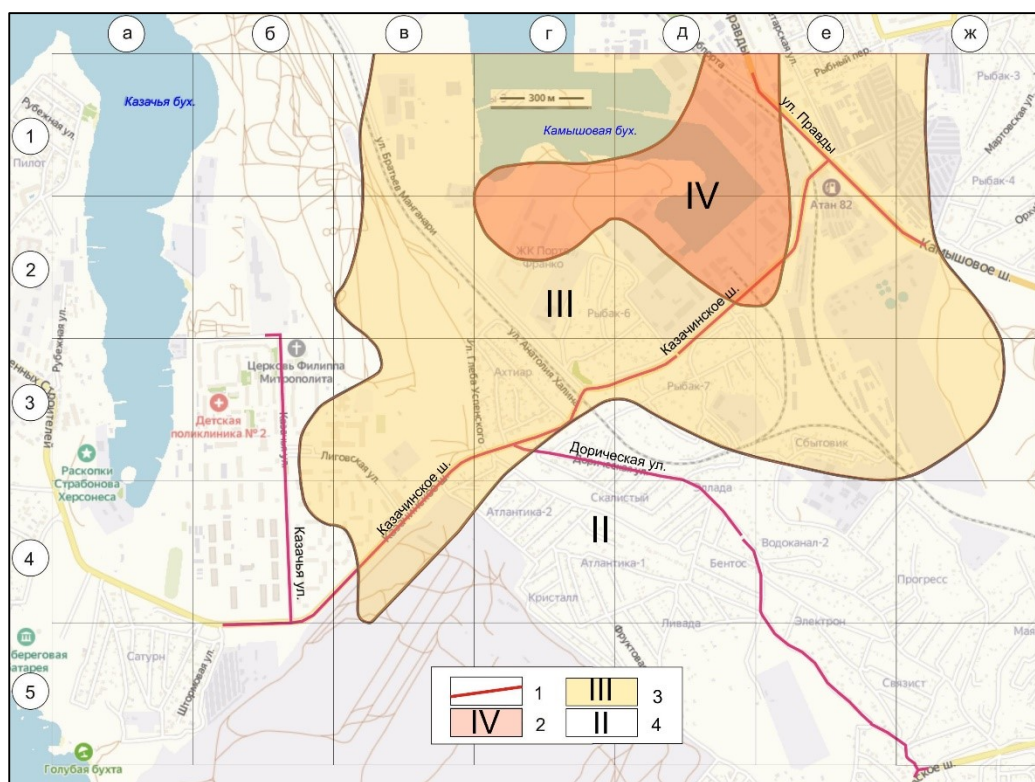


Условные обозначения: 1 — объект строительства, 2 — изобаллы техногенной активизации, разделяющие участки со слабой, средней, сильной и очень сильной активизацией

Рис. 2. Карта оценки техногенной активизации карста на участке Севастополя.

На итоговой карте выделены территории со средней, высокой и очень высокой степенью карстовой опасности (рис. 3). К участку с очень высокой степенью карстоопасности относится фрагмент Казачинского шоссе, пересекаемый Юхариной балкой и северный конец ул. Правды. К участку с высокой степенью карстоопасности относится северо-восточный отрезок Казачинского шоссе с примыкающим Камышовым шоссе и ул. Правды и центральная часть Казачинского шоссе. Юго-западный конец Казачинского шоссе, а также полностью улицы второго и третьего этапов строительства (Дорическая и Казачья) располагаются на участках со средней степенью карстовой опасности. С учетом средних значений оценок условий развития природного карста и его техногенной активизации исследуемая территория обладает средней степенью карстоопасности.

Верификация полученных данных проводилась с привлечением данных о величине химической денудации. Согласно полевым исследованиям и опубликованным материалам [8, 21] ее значение лежит в пределах фона (5–15 мкм/год) и соответствует полученной степени карстоопасности.



Условные обозначения: 1 — объект строительства; участки с разной степенью карстоопасности: 2 — очень высокой, 3 — высокой, 4 — средней.

Рис. 3. Карта районирования карстоопасности на участке Севастополя.

ВЫВОДЫ

Карстологические исследования являются неотъемлемой частью инженерно-геологических изысканий при хозяйственном освоении закарстованных территорий, к числу которых относится и Севастополь. В связи с отсутствием мониторинговых данных, на основе которых обычно проводится оценка карстовой опасности, была рассмотрена часто применяющаяся в Крыму методика балльной оценки. Благодаря обоснованному подбору оценочных критериев она успешно работает для карбонатного, сульфатного и соляного карста, учитывает его современные особенности естественноисторического развития и антропогенной активизации. Результаты промежуточной и итоговой оценки поддаются картографированию.

В ходе сбора, обработки и анализа информации для оценивания и картографирования установлено, что поверхностный карст на участке исследования представлен относительно молодым эпигенным типом (карры, ячеи, ниши, мелкие коррозионно-абразионные гроты), а подземный — фрагментами реликтового гипогенного спелеогенеза. Все карстопроявления, удаленные от берега, крайне угнетены вследствие недостатка влаги.

Балльная оценка показала, что в целом участок дорожного строительства относится к территории со средне-благоприятными условиями развития природного карста (51 балл) и площади со слабой активизацией техногенного карста (13 баллов). Однако с учётом дифференциальных значений обеих оценок на итоговой карте выделились территории со средней, высокой и очень высокой степенью карстовой опасности. Полученные данные позволят проектировщикам и строителям более обоснованно подойти к выбору мероприятий по противокарстовой защите дорожного полотна на разных участках.

Список литературы

1. Дублянская Г. Н., Дублянский В. Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск, 1992. 145 с.
2. Соколов Д. С. Основные условия развития карста. М.: Гос. науч.-техн. изд-во лит. по геологии и охране недр, 1962. 287 с.
3. Дублянский В. Н., Клименко В. И., Михайлов А. Н. Ведущие факторы развития карста и балльная оценка его интенсивности // Инж. геология. 1989. №2. С. 52–58.
4. Дублянский В.Н., Дублянская Г.Н. Карстоведение. Ч.1. Общее карстоведение. Пермь, 2004. 308 с.
5. Геологическая карта Горного Крыма. Масштаб 1:200000. / Под ред. Н.Е. Деренюк. Киев: ГУГК, 1984.
6. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000. Крымские листы / Белецкий С. В., Фиколина Л. А., Белокрыс О. А., Обшарская Н. Н. Симферополь, 2016.
7. Атлас палеогеографических карт Украинской и Молдавской ССР (с элементами литофаций). Киев: Изд-во АН УССР, 1965. 78 с.
8. Дублянская Г. Н., Дублянский В. Н. Теоретические основы изучения парагенезиса карст-подтопление. Пермь, 1998. 200 с.
9. Ванина М. В., Фиколина Л. А., Комендантова А. Н. Геологическая карта L-36-127 – Б, Г. Масштаб 1:50000. ПГО «Крымгеология», 1988.
10. Атлас. Автономная республика Крым. Киев-Симферополь, 2003. 80 с.
11. Пасынков А. А., Вахрушев Б. А. Активизация карстовых процессов в пределах разрывных структур природных и урбанизированных территорий горного и предгорного Крыма // Ученые записки

- Крымского федерального университета им. В.И. Вернадского. География, геология. 2017. Т.3 (69), № 1. С. 192–204.
12. Дублянский В. Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. Л.: Наука, 1977. 180 с.
 13. Дублянский В. Н., Кикнадзе Т.З. Гидрогеология карста Альпийской складчатой области юга СССР. М.: Наука, 1984. 128 с.
 14. Иванов В. Е., Ломакин И. Э., Тополок А. С., Ефремцева Л. Л., Болдырев С. Н. Особенности тектоники юго-западного Крыма // Геология и полезные ископаемые Мирового океана. 2009. Вып. 4. С. 27–39.
 15. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории города федерального значения Севастополь в 2018 г. Вып.1. Севастополь, 2019. 128 с.
 16. Атлас природных условий и естественных ресурсов УССР. М.: ГУГК, 1978. 184 с.
 17. Ведь И. П. Климатический атлас Крыма (Climate Atlas of Crimea). Симферополь: Таврия-Плюс, 2000. 120 с.
 18. Гидрогеология СССР. Том 8. Крым. М.: Недра, 1971. 364 с.
 19. Якуч Л. Морфогенез карстовых областей. М.: Прогресс, 1979. 388 с.
 20. Климчук А. Б., Тимохина Е. И., Амеличев Г. Н., Дублянский Ю. В., Штаубвассер М. Определение возраста рельефа и скорости денудации юго-западной части Внутренней гряды Горного Крыма по карстолого-спелеологическим данным // Ученые записки ТНУ. Т.24(63), №3. География. Симферополь, 2011. С. 165–184.
 21. Дублянский В. Н., Шутов Ю. И., Амеличев Г. Н. Оценка химической денудации карстовых массивов Горного Крыма // Геологический журнал. 1990. № 4. С. 37–39.

ASSESSMENT OF KARST DANGER IN THE ROAD CONSTRUCTION OF SEVASTOPOL

Amelichev G. N.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Institute of Speleology and Karstology, Simferopol,
Russian Federation
E-mail: lks0324@yandex.ru*

The city of Sevastopol belongs to the territories with a wide distribution of soluble carbonate rocks and associated karst phenomena. In recent years, due to the active construction of infrastructure facilities, including the transport network, designers and builders often face difficulties due to the presence of karst hazard (the possibility of karst failures, subsidence, deformation of building foundations and roadbeds). The purpose of the study is to determine the degree of karst danger in one of the areas of Sevastopol based on a scoring of natural and technogenic conditions for the karst development.

The method of index-rating is considered, which is based on the analysis and ranking of 20 leading natural factors that not only determine the essence of the karst itself, but also control its dynamic characteristics. The character of surface and underground karstification was established by field research methods. About a dozen species of young and old karst forms have been identified. Surface forms include karrens, niches, honeycomb structures, and karstified fissures. Underground forms are represented by grottoes and caves. All karst forms have a depressed appearance due to lack of moisture and competitive processing by weathering and abrasion processes. The average assessment of natural factors for the entire study area was 51 points, which corresponds to the gradation of medium favorable conditions for the development of karst.

ОЦЕНКА КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ ПРИ ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ В СЕВАСТОПОЛЕ

A complex of technogenic factors contributing to the activation of karst is taken into account. Its average score gained 13 points, which corresponds to the category of weak activization.

For natural and technogenic factors, maps of the distribution of territories were produced according to the degree of favorable conditions for the karst development in points. When two maps are superimposed, a final map appears, reflecting changes in the degree of karst hazard in the area. It distinguishes areas with a medium, high and very high degree of karst hazard. The data obtained will allow a more reasonable approach to the choice of measures for anti-karst protection of the roadway in different areas.

Keywords: karst, methodology, karst hazard, score assessment, anthropogenic activation, stability of the territory.

References

1. Dubljanskaja G. N., Dubljanskij V. N. Kartografirovanie, rajonirovanie i inzhenerno-geologicheskaja ocenka zakarstovannyh territorij (Mapping, zoning and engineering-geological assessment of the karst territories). Novosibirsk, 1992. 145 p. (in Russ.)
2. Sokolov D. S. Osnovnye uslovija razvitija karsta (The main conditions for the development of karst). M.: Gos. nauch.-tehn. izd-vo lit. po geologii i ohrane nedr, 1962. 287 p. (in Russ.)
3. Dubljanskij V. N., Klimenko V. I., Mihajlov A. N. Vedushhie faktory razvitija karsta i bal'naja ocenka ego intensivnosti (The leading factors of karst development and the score assessment of its intensity) // Inzh. geologija. 1989. №2. P. 52–58. (in Russ.)
4. Dubljanskij V. N., Dubljanskaja G. N. Karstovedenie. Ch.1. Obshee karstovedenie (Karstology. Part 1. General karstology). Perm', 2004. 308 p. (in Russ.)
5. Geologicheskaja karta Gornogo Kryma. Masshtab 1:200000 (Geological map of the Mountainous Crimea. Scale 1:200000) / Pod red. N. E. Derenjuk. Kiev: GUGK, 1984. (in Russ.)
6. Gosudarstvennaja geologicheskaja karta Rossijskoj federacii. Masshtab 1:1000000. Krymskie listy (State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1000000. Crimean sheets) / Beleckij S. V., Fikolina L. A., Belokrysov O. A., Obsharskaja N. N. Simferopol', 2016. (in Russ.)
7. Atlas paleogeograficheskikh kart Ukrainskoj i Moldavskoj SSR (s jelementami litofacij) (Atlas of paleogeographic maps of the Ukrainian and Moldavian SSR). Kiev: Izd-vo AN USSR, 1965. 78 p. (in Russ.)
8. Dubljanskaja G.N., Dubljanskij V.N. Teoreticheskie osnovy izuchenija paragenezisa karst-podtoplenie (Theoretical foundations of the study of karst-flooding paragenesis). Perm', 1998. 200 p. (in Russ.)
9. Vanina M. V., Fikolina L. A., Komendantova A. N. Geologicheskaja karta L-36-127 – B, G. Masshtab 1:50000 (Geological map L-36-127 – B, G. Scale 1:50000). PGO «Krymgeologija», 1988. (in Russ.)
10. Atlas. Avtonomnaja respublika Krym (Atlas. Autonomous Republic of Crimea). Kiev-Simferopol', 2003. 80 s. (in Russ.)
11. Pasyнков A. A., Vakhrushev B. A. Aktivizacija karstovyh processov v predelakh razryvnyh struktur prirodnyh i urbanizirovannyh territorij gornogo i predgornogo Kryma (Activation of karst processes within the discontinuous structures of natural and urbanized territories of the mountainous and foothill Crimea) // Uchenye zapiski Krymskogo federal'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Geografija, geologija. 2017. T.3 (69), № 1. P. 192–204. (in Russ.)
12. Dubljanskij V. N. Karstovye peshery i shahty Gornogo Kryma (Karst caves and mines of the Mountainous Crimea). L.: Nauka, 1977. 180 p. (in Russ.)
13. Dubljanskij V. N., Kiknadze T. Z. Hidrogeologija karsta Al'pijskoj skladchatoj oblasti juga SSSR (Hydrogeology of the karst of the Alpine folded region of the south of the USSR). M.: Nauka, 1984. 128 p.
14. Ivanov V. E., Lomakin I. Je., Topoljuk A. S., Efremceva L. L., Boldyrev S. N. Osobennosti tektoniki jugo-zapadnogo Kryma (Features of the tectonics of the southwestern Crimea) // Geologija i poleznye iskopaemye Mirovogo okeana. 2009. Vyp. 4. P. 27–39. (in Russ.)

15. Informacionnyj bjulleten' o sostojanii nedr na territorii goroda federal'nogo znachenija Sevastopol' v 2018 g. (Newsletter on the state of the subsoil in the territory of the federal city of Sevastopol in 2018). Vyp.1. Sevastopol', 2019. 128 p. (in Russ.)
16. Atlas prirodnyh uslovij i estestvennyh resursov USSR (Atlas of natural conditions and natural resources of the Ukrainian SSR). M.: GUGK, 1978. 184 p. (in Russ.)
17. Ved' I. P. Klimaticheskij atlas Kryma. Simferopol': Tavrija-Pljus, 2000. 120 p. (in Russ.)
18. Gidrogeologija SSSR (Hydrogeology of the USSR). Tom 8. Krym. M.: Nedra, 1971. 364 p. (in Russ.)
19. Jakuch L. Morfogenez karstovyh oblastej (Morphogenesis of karst areas). M.: Progress, 1979. 388 p.
20. Klimchuk A. B., Timohina E. I., Amelichev G. N., Dubljanskij Ju. V., Shtaubvasser M. Opredelenie vozrasta rel'efa i skorosti denudacii jugo-zapadnoj chasti Vnutrennej grjady Gornogo Kryma po karstologo-speleologicheskim dannym (Determination of the age of relief and denudation rate of the southwestern part of the Inner ridge of the Mountainous Crimea according to karstological and speleological data) // Uchenye zapiski TNU. T.24(63), №3. Geografija. Simferopol', 2011. P.165–184. (in Russ.)
21. Dubljanskij V. N., Shutov Ju. I., Amelichev G. N. Ocenka himicheskoy denudacii karstovyh massivov Gornogo Kryma (Assessment of chemical denudation of karst massifs of the Mountainous Crimea) // Geologicheskij zhurnal. 1990. № 4. P. 37–39. (in Russ.)

Поступила в редакцию 10.01.2022 г.