

*Естественные науки: передовые технологии, прорывные исследования,
междисциплинарные результаты*

УДК 550.8

<https://doi.org/10.36906/KSP-2021/77>

Амеличев Г.Н.

ORCID: 0000-0001-7166-7070, канд. геогр. наук

Стренадо А.Д.

*Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского
г. Симферополь, Россия*

**ОЦЕНКА КАРСТОВОЙ ОПАСНОСТИ НА ЗУЙСКОМ УЧАСТКЕ
СТРОИТЕЛЬСТВА ТРАССЫ «ТАВРИДА» (РЕСПУБЛИКА КРЫМ)**

Аннотация. Работа посвящена изучению условий карстообразования и оценке потенциальной карстовой опасности на участке строительства федеральной трассы «Таврида» между населенными пунктами Зуя и Донское, в связи с открытием крупнейшей в Предгорном Крыму карстовой полости, угрожающей безопасной эксплуатации транспортного объекта.

Ключевые слова: условия развития карста; карстоопасность; пещера Таврида; Предгорный Крым.

Amelichev G.N.

ORCID: 0000-0001-7166-7070, Ph.D.

Strenado A.D.

*V.I. Vernadsky Crimean Federal University
Simferopol, Russia*

**ASSESSMENT OF KARST DANGER AT THE ZUYA SECTION
OF THE CONSTRUCTION OF THE TAVRIDA HIGHWAY (REPUBLIC OF CRIMEA)**

Abstract. The work is devoted to studying the conditions of karst formation and assessing the potential karst hazard at the construction site of the Tavrida federal highway between the settlements of Zuya and Donskoye in connection with the opening of the largest karst cavity in Piedmont Crimea, which threatens the safe operation of a transport facility

Key words: conditions of karst development; karst danger; Tavrida cave; Piedmont Crimea.

Проблема изучения современных и древних условий развития карста и оценки карстовой опасности стоит в Крыму очень остро в связи с развернувшимся на полуострове промышленным, жилищным и транспортным строительством, реконструкцией хозяйственных объектов, разработкой территориальных строительных норм, учитывающих высокую (более 80%) долю пораженности территории карстовым процессом. Отличительной чертой участка, по которому проходило строительство федеральной трассы Таврида, явилось наличие гипогенного карста, диагностика которого традиционными методами не дает результатов или приводит к ошибочным выводам, т. к. он развивался в кардинально отличающейся от современной гидрогеологической обстановке и сейчас находится в реликтовом состоянии, будучи местами значительно переработан процессами комплексной денудации. Длительно развиваясь в недрах растворимых пород на больших глубинах при участии высокотемпературных ювенильных вод и газовой флюидов, а также вод нижних геодинамических зон земной коры, имеющих удаленные на большие расстояния источники питания, гипогенный карст был независим от рельефа, который в современных условиях является концентратором поверхностного стока и контролирует его поступление на верхний контур эпигенно-карстовых систем. В итоге, отсутствие таких характерных для эпигенного карстогенеза форм-индикаторов как воронки, котловины, лога, колодцы делает его незаметным для инженер-геолога, привыкшего диагностировать карстовый морфогенез именно по этим образованиям. Это затрудняет оценку и вуалирует степень карстовой опасности, что, собственно, и произошло на Зуйском участке трассы Таврида в 17 км к востоку от Симферополя.

Целью работы является оценка карстовой опасности, базирующаяся на гипогенно-карстовой индикации 2-километрового участка трассы, который пересекается крупнейшей в Предгорном Крыму пещерой Таврида (1,3 км). Для достижения поставленной цели в работе были рассмотрены современные и древние условия карстообразования на участке, охарактеризованы их морфологические проявления, проведено сравнение оценок карстоопасности, выполненных для эпигенно-карстовой системы с помощью балльного метода, а для гипогенно-карстовой системы с помощью рангового подхода.

Предгорный Крым и лежащий в его пределах участок трассы Таврида располагаются в зоне сочленения платформенных и горно-складчатых структур, где по меркам геологического времени совсем недавно произошла смена закрытых гидрогеологических условий функционирования карста на открытые, т. е. смена гипогенного карста эпигенным. Под гипогенным карстом понимается особая напорная гидрогеологическая система, структура и особенности которой определяются каналами и полостями, сформированными под действием восходящих потоков, имеющих глубинные или удаленные на большие расстояния источники питания. Эпигенный карст представляет собой систему «растворимая порода – вода», структура и особенности водообмена в которой определяются каналами и полостями, развивающимися под действием безнапорных вод, связанных с местным поверхностным питанием [3].

Для эпигенной обстановки функционирования карста имеется хорошо зарекомендовавшая себя балльная методика оценки карстоопасности, разработанная известными крымскими карстологами В.Н. и Г.Н. Дублянскими [2]. Методика оценки карстоопасности для гипогенной обстановки находится в стадии разработки. При выборе методического подхода пришлось учитывать, что гипогенный карст на участке находится в реликтовом состоянии и в полевых условиях уверенно идентифицируется в естественных и искусственных обнажениях лишь по морфологическому комплексу восходящих потоков (МКВП), который представляет собой совместное нахождение ныне раскрытых полостных мезоформ, в прошлом связанных пространственно и функционально в группы-комплексы, отражающие напорную восходящую организацию формообразующих потоков и струй карстовых вод [3]. Детальней аспекты методики будут раскрыты ниже.

Исходя из приведенного выше определения гипогенного карста, задача его идентификации на Зуйском участке вдоль трассы Таврида сводилась к выявлению свидетельств таких карстопроявлений, которые указывали бы на восходящий вектор сформировавших их потоков, и отсутствия прямых парагенетических связей с рельефом и местным нисходящим питанием от поверхности. Эта задача была решена с использованием комплексного подхода, включающего применение следующих групп критериев: 1) гидростратиграфических, палеогидрогеологических, палеогеографических и геоморфологических; 2) спелеоморфогенетических (структура и мезоморфология пещерных систем); 3) минералого-геохимических и спелеоседиментологических.

В ходе изучения региональных и локальных геологических и геоморфологических условий было установлено, что объект исследования находится на стыке платформенных структур Равнинного Крыма и складчато-надвигового сооружения Крымских гор, в области сочленения восточной части симферопольского поднятия и западной периферии Восточно-Крымского синклинория. Здесь на участке между населенными пунктами Донское и Зуя трасса пересекает моноклиальный склон Внутренней куэстовой гряды предгорья в субширотном направлении. Бровка куэсты и примыкающие участки склонов и плато сложены известняками эоцена (бахчисарайский и симферопольский ярусы), падающими к северо-западу под углами 5–10°. Мощность толщи растворимых пород здесь составляет около 40 м. На глубине 8–15 м от поверхности известняков заложена пещера Таврида. В подошве известняков залегает фрагментарный слой вязких красных глин на зеленых глауконитовых песках (1 м), ниже которого развита мощная (до 200 м) толща песков и галечников мазанской свиты нижнего мела (готеривский ярус). Такой переход от мела к палеогену здесь является уникальным. Поскольку отложения мазанской свиты являются водоносными, воды в них напорными, а разделяющая на соседних участках эоцен и мел региональная водоупорная глинистая толща апт-альба здесь отсутствует, в прошлом до расчленения территории консеквентными реками существовали благоприятные условия для длительного напорного перелива вод, погружающегося к северу мазанского водоносного горизонта в перекрывающие известняки и вышележащие толщи. Просуществовавшая длительное время такая закрытая

гидрогеологическая обстановка и стала основной причиной активной спелеогенной проработки ослабленного высокой плотностью трещин участка в эоценовых известняках, которая в итоге привела к формированию пещеры Таврида.

В ходе анализа рисунка пещерной сети установлен его лабиринтовый характер [1]. Такая структура пустотности характерна для гипогенных систем, обеспечивающих эффективную гидродинамическую связь между региональными водоносными горизонтами с напорными условиями циркуляции и обладающих неравномерной в плане трещиноватостью. Спелеоморфогенетическое картирование в пещере Таврида выявило многочисленные участки с МКВП, включающие питающее, транзитное и разгрузочное функциональные звенья. К первому из них относятся такие полостные мезоформы как точечные и линейные фидеры, рифты. Они переводили потоки напорных вод из подстилающего водоносного горизонта мазанской свиты в толщу эоценовых известняков. В галереях пещеры они тяготеют к днищу и нижним частям стен. Транзитное звено представлено стенными желобами, полу-каналами, нишами, карманами, арками и подвесками. Их функция заключалась в передаче восходящих потоков и конвективных струй от питающих мезоформ к потолочным разгрузочным. Последнее звено – это напорные купола, камины и полуарки в своде пещеры, замыкающиеся тупиком или переходящие в кавернозную кайму, ореолом охватывающую все участки полости на расстоянии до 10 м от ее стенок вглубь породы. Формирование кавернозной каймы, представляющей собой ореол мелко-полостных структур из ячеек и каналов в порово-трещинном матриксе вокруг растущих пещерных камер, связывается с высоким растворительным потенциалом вод, который возникает на пересечении вертикальными трещинами водоносного пласта. Вследствие взаимодействия латеральных порово-пластовых вод и восходящих трещинно-жильных потоков возникает эффект коррозии смешивания. Давление, сопровождающее растворение, и высокая проницаемость слоя карстующихся пород способствуют расширению растворительного фронта в латеральном направлении и вверх до подошвы перекрывающего слоя с меньшей проницаемостью [4]. Поскольку растворительный потенциал убывает от места смешивания, размеры каверн и каналов в зоне обрамления пещерных камер также концентрически убывают. Эта особенность является важным критерием диагностики участков повышенной реликтовой закарстованности, который следует использовать при полевых инженерно-карстологических изысканиях, связанных с оценкой карстоопасности.

Спелеоседиментологические исследования выявили широкое распространение в пещере полигенетических глинистых отложений. Основные объемы глинистого заполнителя имеют аллохтонную природу и попали в пещеру суффозионным путем на поздних стадиях развития полости [5]. Тем не менее, удалось обнаружить автохтонные остаточные глины, характерные для низко-динамичной среды напорных водоносных горизонтов. Существование гипогенных условий карстообразования подтверждается характерной кварц-гётитовой ассоциацией минералов, заполняющих многие карстовые каналы Тавриды. Специальными исследованиями показано, что эти скопления образовались из гидротермальных флюидов, поднимавшихся из

глубинного источника и вторгавшихся в окислительную среду эоценового водоносного горизонта, где гетит осаждался на границе зоны восстановления/окисления железа [6]. К концу плиоцена условия водонапорной системы были разрушены, пещера осушилась, вскрылась на поверхности и заселилась животными доледниковой эпохи. Этап активной денудации Крымских гор на стыке неогена и антропогена привел к ее погребению. Хорошая сохранность эоплейстоценового тафоценоза, отсутствие натечных образований, следов средне- и позднеплейстоценовых животных, и древнего человека в пещере указывают на длительную и надежную изоляцию полости от влияния внешних условий, по крайней мере, с середины раннего плейстоцена.

Таким образом, комплексный подход с применением всех групп диагностических критериев выявил широкое развитие на Зуйском участке трассы Таврида реликтового гипогенного карста. Соответственно, оценивая степень карстовой опасности, необходимо учитывать этот аспект.

Выполнявшаяся ранее до открытия пещеры Таврида оценка карстоопасности, опирающаяся на эпигенно-карстовые критерии, не выявила на Зуйском участке серьезных карстовых аномалий. Суммы баллов, полученные по 20 ведущим факторам и распределенные по операционным квадратам (0,5×0,5 км), лежат в пределах категории, обозначенной авторами методики [2, с. 119], как слабо благоприятные условия развития карста (40–50 баллов). На рисунке эти значения показаны цифрами в центре операционных квадратов. Учитывая, что на участке ведется хозяйственная деятельность, связанная с распашкой земель и коммуникационным (автодорожным) строительством, суммарная техногенная активизация составит более 16 баллов, т. е., соответствующая категории средняя. Таким образом, согласно таблице итоговая степень карстоопасности на основании этой методики расценивается как средняя.

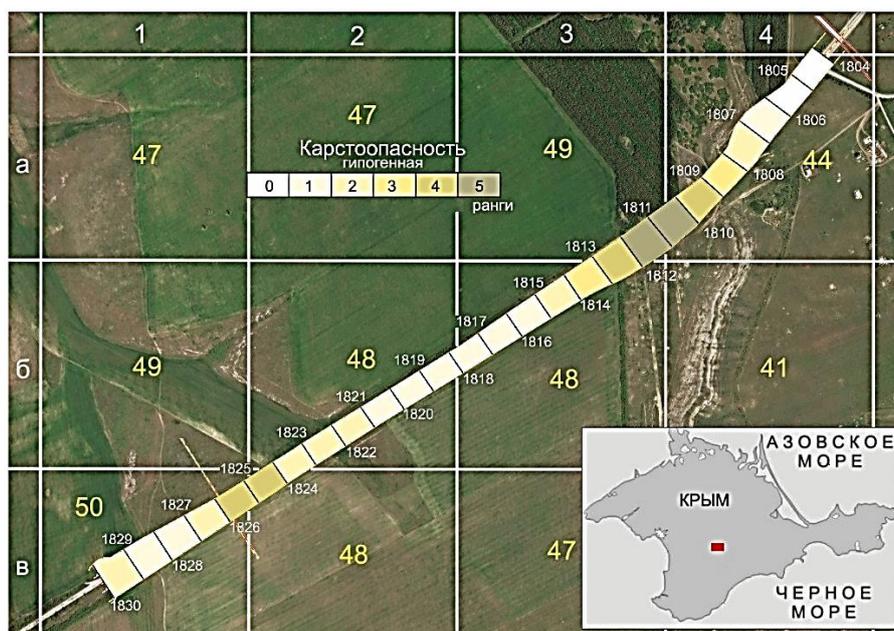


Рис. Карстоопасность Зуйского участка трассы Таврида

Отсутствие маркирующих карст карстовых депрессий на поверхности, по диаметру и частоте образования которых определяется устойчивость территории, и небольшое количество разведочных скважин с провалами бурового инструмента в карстовые полости (ниже, чем требуется для постановки детальных карстологических работ) привели к недоучету степени реальной карстоопасности на Зуйском участке и пропуску проходящей под трассой такой крупной карстовой пещеры как Таврида. В результате после вскрытия дорожной выемкой свода пещеры строительство пришлось приостановить и провести дорогостоящие и времязатратные противокарстовые мероприятия. Этого можно было избежать, если бы сразу применялись методики генетической идентификации карста.

Таблица

Степень карстоопасности территории [2]

Условия развития 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: I – низкая, II – средняя, III – высокая, IV – очень высокая, V – катастрофическая.

В ходе инженерно-карстологических исследований, выполненных по факту вскрытия реликтовой пещеры и установления ее гипогенного происхождения, была предпринята попытка оценить гипогенную составляющую карстоопасности. Согласно отмеченным выше теоретическим представлениям карстоопасность участка трассы Таврида, проложенного в пределах пещерного поля одноименной гипогенной пещеры, определялась по следующей методике. Передвигаясь в пределах дорожного отвода, на открытых обнажениях или по керну буровых скважин определялось присутствие эоценовых известняков как под дорожным полотном, так и в откосах, а также признаки и параметры каналово-полостных структур обрамления пещеры. Оценка карстоопасности осуществлялась в рангах на каждые 100 погонных метров трассы (ПК 1805-1830).

Оценочная шкала выглядит так:

- Отсутствие карстующихся пород (известняков, мергелей) в разрезе – 0-ой ранг
- Присутствие карстующихся пород и их выветрелых разностей – 1-ый ранг
- Наличие зон мелко-кавернозной (диаметр каверн менее 10 мм) каймы – 2-ой ранг
- Наличие зон крупно-кавернозной (диаметр каверн более 10 мм) каймы – 3-ий ранг
- Наличие сообщающихся каналов разной степени заполнения – 4-ый ранг
- Наличие пещерных галерей – 5-ый ранг.

Оценка каждого участка осуществлялась на основе присвоения максимального ранга, который поглощает меньшие значения. Итоги оценки представлены на карте карстоопасности в виде полосы, захватывающей дорожный отвод (рис. 1).

Согласно карте повышенная карстоопасность наблюдается на двух участках в районах ПК 1808-1814 и ПК 1824-1826. Здесь фиксируются участки вскрытых галерей пещеры Таврида и мощные зоны каналово-полостных структур как заполненных глиной, так и полых. Интенсивные дожди выявили на этих участках изысканий активное поглощение, свидетельствующее о наличии приповерхностного положения карстовых полостей в недрах массива горных пород.

По результатам проведенных исследований можно сформулировать несколько основных выводов.

1. Зуйский участок трассы Таврида расположен в области развития эоценовых известняков, подвергшихся в неогеновое время воздействию гипогенного спелеогенеза, который привел к формированию крупнейшей в Предгорном Крыму карстовой пещеры Таврида. Она значительно осложнила строительство трассы, т. к. на этапе проектирования возможность ее существования здесь не подтвердилась методами традиционной оценки карстоопасности, которые не учитывали новых генетических разработок в карстологии.

2. В ходе выполнения инженерно-карстологических изысканий на участке трассы был применен комплекс критериев (гидростратиграфических, палеогидрогеологических, палеогеографических, геоморфологических, спелеоморфогенетических, минералогическо-геохимических и спелеоседиментологических), который позволил выявить древний эволюционный этап развития территории в закрытой гидрогеологической и спелеогенетической обстановке, диагностировать гипогенное происхождение пещеры Таврида и определить основной оценочный критерий для установления степени карстоопасности на объектах, не имеющих поверхностного морфологического выражения.

3. Сравнение оценок, выполненное с помощью балльного метода и рангового подхода, показало, что на фоне мало изменяющихся региональных показателей (первый метод) возможна более детальная локальная дифференциация карстоопасности (второй метод). В частности, в пределах фоновой категории «средняя степень карстоопасности», базирующейся на эпигенно-карстовых оценочных показателях, выделяются выразительные (4–5 ранг) участки с высокой гипогенной закарстованностью. Несмотря на то, что предложенный подход требует дальнейшей разработки, он уже сейчас может успешно применяться в практике инженерно-карстологических изысканий.

Литература

1. Амеличев Г.Н., Токарев С.В., Самохин Г.В., Вахрушев Б.А., Науменко В.Г., Амеличев Е.Г. Реликтовый карст в бассейне р. Зуя (Республика Крым) // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. Т. 5(71). №2. С. 234-254.

2. Дублянская Г.Н., Дублянский В.Н. Картографирование, районирование и инженерно-геологическая оценка закарстованных территорий. Новосибирск, 1992. 144 с.

3. Климчук А.Б. Гипогенный спелеогенез, его гидрогеологическое значение и роль в эволюции карста. Симферополь, 2013. 180 с.

4. Климчук А.Б., Тимохина Е.И., Амеличев Г.Н., Дублянский Ю.В., Шпётль К. Гипогенный карст Предгорного Крыма и его геоморфологическая роль. Симферополь, 2013. 204 с.

5. Червяцова О.Я., Потапов С.С., Киселева Д.В., Тищенко А.И., Касаткин А.В., Токарев С.В., Амеличев Г.Н., Вахрушев Б.А. Минеральные отложения пещеры Таврида (Предгорный Крым) // Учёные записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. 2019. Т. 5(71). № 3. С. 226-255.

6. Klimchouk A.B., Amelichev G.N., Chervyatsova O.Ya., Tokarev S.V., Kiseleva D.V., Potapov S.S. Ferruginous accumulations in hypogene karst conduits of Crimean Piedmont: Evidence for a deep iron source for the Kerch-Taman iron-ore province, north Black Sea region // Marine and Petroleum Geology. 2021. Vol. 127. 104954. <https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2021.104954>

© Амеличев Г.Н., Стренадо А.Д., 2021