

УДК 624.131; 504

doi: 10.55959/MSU0579-9406-4-2025-64-4-94-102

ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ МАССИВОВ ИЗВЕСТНЯКОВ ГОРНОГО КРЫМА

Марина Анатольевна Харьковина¹✉, Виктор Титович Трофимов²,
Татьяна Васильевна Андреева³

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; kharkina@mail.ru ✉

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; trofimov@rector.msu.ru

³ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия; andreeva.msu@yandex.ru

Аннотация. Эколого-геологические системы — основной объект исследований нового научного направления — экологической геологии, изучающей экологические функции литосферы. Эти функции охарактеризованы для карбонатных биолитов Горного Крыма. Описаны основные характеристики абиотических (литотоп, эдафотоп) и биотических (микробиоценоз, фитоценоз и зооценоз) компонентов эколого-геологических систем, развитых на массивах известняков Горного Крыма. Экспериментально показано, что особенности литотопа связаны с их высокой пористостью и относительно высокой прочностью, позволяющей использовать известняки как строительный камень. Специфика эдафотопа массивов известняков состоит в возможности формирования на склонах короткопрофильных почв со слабо развитым гумусовым горизонтом, а в основании склонов на дресве известняков — карбонатных черноземов. Показано, что особенности литотопа и эдафотопа массивов известняков во многом определяют характерные особенности фито- и зооценозов. Среди флоры доминирует кальцефитная растительность. Зооценозы, распространенные на поверхности массивов известняков, характеризуются относительным многообразием животного мира в отличие от пещерных фаунистических комплексов.

Ключевые слова: эколого-геологическая система, литотоп, эдафотоп, микробиоценоз, фитоценоз, зооценоз, карбонатные грунты, известняки, Горный Крым

Для цитирования: Харьковина М.А., Трофимов В.Т., Андреева Т.В. Эколого-геологические системы массивов известняков Горного Крыма // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2025. № 4. С. 94–102.

ECOLOGICAL-GEOLOGICAL SYSTEMS OF LIMESTONE MASSIFS OF MOUNTAINOUS CRIMEA

Marina A. Kharkina¹✉, Viktor T. Trofimov², Tatyana V. Andreeva³

¹ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; kharkina@mail.ru ✉

² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia, trofimov@rector.msu.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia; andreeva.msu@yandex.ru

Abstract. Ecological-geological systems are the main object of research in a new scientific field — ecological geology, which studies ecological functions of the lithosphere. Those functions of carbonate bioliths of the Crimean Mountains are characteristic. The main characteristics of abiotic (lithotope, edaphotope) and biotic (microbiocenosis, phytocenosis and zoocenosis) components of ecological-geological systems developed on limestone massifs of the Crimean Mountains are described. It has been demonstrated that the features of the lithotope are related to their high porosity and relatively high strength, which allows using limestones as a building stone. The specificity of the edaphotope of limestone massifs consists in the possibility of forming short-profile soils with a poorly developed humus horizon on slopes, and carbonate chernozems at the base of slopes on limestone wood. It is shown that the features of the lithotope and edaphotope of limestone massifs determine in whole the characteristics of phyto- and zoocenoses. The flora is dominated by calciphyte vegetation. Zoocenoses on the surface of limestone massifs are characterized by a relative diversity of fauna, in contrast to cave faunal complexes.

Keywords: Ecological-geological system, lithotope, edaphotope, microbiocenosis, phytocenosis, zoocenosis, carbonate rocks, limestone, Crimean Mountains

For citation: Kharkina M.A., Trofimov V.T., Andreeva T.V. Ecological-geological systems of limestone massifs of Mountainous Crimea. *Moscow University Geol. Bull.* 2025; 4: 94–102. (In Russ.).

Введение. Эколого-геологические системы (ЭГС) — основной объект исследований нового научного направления — экологической геологии [Трофимов, 2024], изучающей экологические функции литосферы, закономерности их формирования и пространственно-временного изменения под

влиянием природных и техногенных причин в связи с жизнью и деятельностью биоты и, прежде всего, человека. Понятие «эколого-геологической системы» введено В.Т. Трофимовым [2009], эта система включена как литотоп в структуру биогеоценоза академика В.Н. Сукачева (1880–1967) и представляет

Таблица 1

**Состав, возраст и эколого-геологическая характеристика массивов карбонатных грунтов Крыма
([Королев и др., 2019] с сокращениями и изменениями М.А. Харьковской)**

Карбонатные биолиты		Экологические функции карбонатных биолитов			
Породы		Геологический индекс	Ресурсная	Геодинамическая	Геохимическая
Известняки	Мшанко-серопулокриноидные	P ₁ d-sl	Сырье для разных сфер химической промышленности, строительный ресурс, субстрат для различных растений, среда обитания микро- и макроорганизмов, являются водовмещающими породами	Образуют различные формы рельефа за счет воздействия процессов выветривания, карстового и др.	Карбонатный геохимический барьер, выполняющий защитные функции при действии различных загрязнителей
	Флюсовые	J ₃			
	Нуммулитовые	P ₂ i ₂ -l			
	Ракушечники	N ₁ s			
	Рифовые	J ₃ km, K ₁ v-h	Формируют богатые жизнью эколого-геологические системы и строительный ресурс	Образование рифовых барьеров, биостромов и биогерм	Природные фильтры

ее часть. Параметрами литотопа являются: состав, строение и рельеф геологического массива, его подземные воды, геохимические и геофизические поля, современные эндо- и экзо- и техногенные процессы.

Эколого-геологические системы состоят из двух частей: абиотической (экотоп) и биотической (биоценоз). В состав первой входят литотоп (литосфера) и эдафотоп (почвы). В состав второй — фитоценоз (растительность), зооценоз (животные), микробиоценоз (бактерии) и человеческое сообщество. На эти две части ЭГС оказывают воздействие и природные, и техногенные факторы. Особенности ЭГС, сформировавшиеся на различных литотопах, изучены недостаточно. Цель настоящей работы — охарактеризовать особенности ЭГС массивов известняков Горного Крыма для дальнейших инженерно-экологических исследований и инженерно-экологических изысканий, как это сделано для ЭГС, формирующихся на массивах песчаных, лёссовых, меловых и скальных и многолетнемерзлых грунтов [Королев и др., 2023а, Королев и др., 2023б; Королев и др., 2022; Харьковская, Андреева, 2024; Трофимов, Королев, 2018, Харьковская, 2024].

Характеристика абиотических компонентов эколого-геологических систем массивов известняков. Особенности литотопа. Массивы известняков широко распространены в пределах Горного Крыма. Они сложены породами разного состава, строения и возраста. Часто известняки почти полностью сложены из преобразованных остатков животных и растений, а также продуктов их жизнедеятельности. Их подразделение по этим показателям с указанием экологических функций биолитов приведено в табл. 1.

Мшанковые известняки представляют собой колонии водорослей-мшанок, сцементированных известковым цементом с примесью глинистого вещества. В Крыму эти отложения датируются датским веком, они широко представлены в предгорьях Крымских гор и на полуострове Казантип. Отложения датского яруса часто в рельефе образуют отвесный уступ (рис. 1), а в ряде случаев — шаровид-

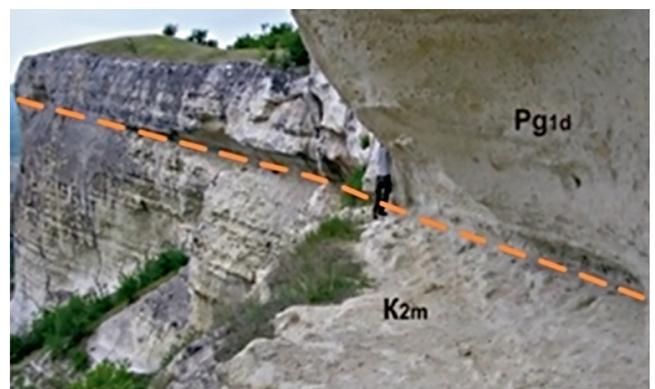


Рис. 1. Обнажение маастрихт-датских отложений в правом борту оврага Такма у южного окончания с.Скалистое (фото Е.А. Лыгиной): Pg_{1d} — мшанковые известняки дания, K_{2m} — маастрихтские карбонатные песчаники

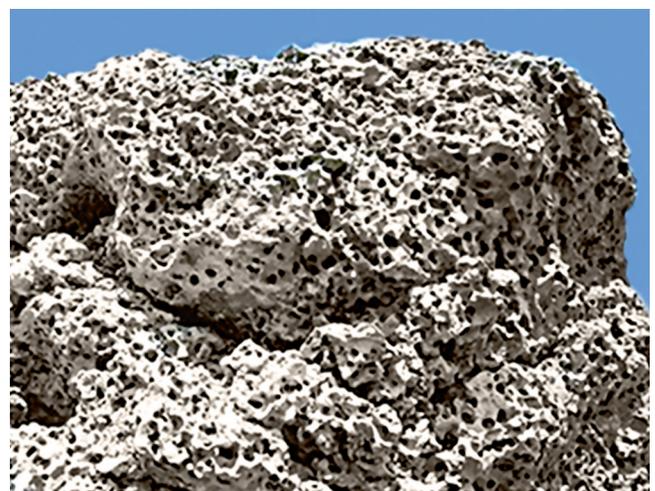


Рис. 2. Мшанковые известняки Азовского побережья Крыма [Клюкин, Корженевский, 2008]

ные тела (рис. 2) с признаками внутреннего концентрического строения, обусловленного нарастанием колоний мшанок [Клюкин, Корженевский, 2008]. Выявлено, что коэффициент пористости мшанковых известняков района села Скалистое колеблется в пределах 15–30 % проницаемость 0,06–13 мД (низко- и непроницаемые) [Лыгина, 2010].



Рис. 3. Многочисленные раковины нуммулитов в нуммулитовом известняке в Крыму. Диаметр самой крупной раковины — около 3 см [Ульяхин, 2019]

Особенностью состава мшанковых известняков — минерализованные биопленки, свидетельствующие о наличии карбонат-отлагающих метанотрофных бактерий, укрепляющих хрупкие мшанковые скелеты. Существование полостей в мшанковых известняках связано также с влиянием придонных локальных газофлюидных высачиваний, о чем свидетельствуют наличие битума, пирита, стронцианита, барита, кутногорита и следов жизнедеятельности карбонат-отлагающих метанотрофных бактерий в составе карбонатных корок, выстилающих полости [Антошкина и др., 2020].

Нуммулитовые известняки эоцена — один из наиболее выдержанных горизонтов палеогеновых отложений в Крыму. Они образуют квестовые поверхности, часто сопровождающиеся истуканами выветривания в виде столбов и башен. Мощность отложений незначительно меняется с юго-запада на восток от 40–45 м у г. Инкерман до 15–30 м в долинах рек Бештерек и Зуя. В Белогорском районе отложения имеют мощность 10 м [Лыгина, 2010].

Эти скальные грунты состоят из раковин простейших организмов эоцена — нуммулитов. Нуммулиты — одноклеточные раковинные организмы, размер раковин которых может достигать 16 см в диаметре. На рис. 3 отображены многочисленные раковины нуммулитов. Диаметр самой крупной раковины — около 3 см. Раковина нуммулитов служила внешним скелетом, необходимым в первую очередь для защиты; она была, как правило, дисковидная, сильно уплощенная и свернутая в плоскостную спираль с большим числом оборотов. Внутри раковина состояла из множества камерок, разделенных между собой особыми перегородками — септами. При жизни организма общее пустотное пространство сообщающихся между собой камерок занимала цитоплазма, которая секретировала саму раковину, состоящую из карбоната кальция.

В настоящее время нуммулитовые известняки используются как минеральные ресурсы, необ-

Таблица 2

Физико-механические свойства мшанковых и нуммулитовых датских известняков из Инкерманского карьера, предгорья Крымских гор

Показатели	Мшанковые известняки	Нуммулитовые известняки
Плотность, г/см ³	1,76	1,81–2,47
Плотность твердой компоненты, г/см ³	2,75	2,72–2,74
Пористость, %	43	11–44
Прочность на одноосное сжатие, МПа		
воздушно-сухое состояние	7,6	9,8–40,1
водонасыщенное состояние	5,1	7,0–34,0
Прочность на сдвиг в воздушно-сухом состоянии		
φ, град.	33	31–44
С, МПа	2,2	2,4–11,8

ходимые для жизнедеятельности человека. Это строительный камень, обладающий относительно высокой прочностью (табл. 2) и хорошей теплоизоляцией за счет высокой пористости. Добыча нуммулитовых известняков Крыма сосредоточена в районе Белогорска и Симферополя. Нуммулитовые известняки являются сырьем для стеновых блоков, имеют наивысшую, среди кристаллических горных пород, биологическую совместимость с человеком и являются наиболее экологически чистым строительным материалом.

Флюсовые известняки позднеюрского возраста занимают значительные площади, прослеживаясь в виде крупных выходов в пределах Главной гряды Крымских гор. Большая часть верхнеюрских известняков обладает незначительной пористостью и низким коэффициентом размягчения. Они содержат не менее 50 % окиси кальция, а нерастворимого остатка не более 4 % а также небольшого (3–4 %) количества окиси магния. С эколого-ресурсных позиций флюсовые известняки используются в черной металлургии как флюсовая добавка при выплавке рудного материала, а также применяются для мартеновского, электросталеплавильного, ферросплавного производства. В Крыму флюсовые известняки разрабатывают в районе г. Балаклава (Балаклавское рудоуправление). Месторождение разрабатывается двумя карьерами и представлено карбонатными отложениями верхнеюрских слоев мощностью до 1200 м (рис. 4). Общие запасы известняка около 650 млн. т (кондиционные известняки — 85,1 %, в том числе по флюсу — 68,1 %).

Ракушечные известняки (или так называемые известняки-ракушечники) — пористая порода, состоящая в отличие от нуммулитовых известняков из раковин моллюсков разных видов (преимущественно остатков раковин двустворчатых и меньше брюхоногих моллюсков) или их обломков различной крупности, соединенных известковым или



Рис. 4. Разработка Псилерахского месторождения флюсовых известняков Балаклавского рудоуправления (фото М.А. Харькиной)



Рис. 5. Рифовые известняки Ай-Петри (фото М.А. Харькиной)

известково-глинистым цементом. Порода сложена из кальцита от скрыто- до крупнокристаллической структуры с содержанием посторонних минералов (кварца, плагиоклаза и др. от 1 до 10 %).

Традиционная область использования ракушечников — производство стеновых материалов. В соответствии с ГОСТ 9479-2011 предел прочности в сухом состоянии не менее 10 МПа, снижение прочности этого параметра водонасыщенной породы не более 35 %. По опыту производителей потеря прочности после 25 циклов замораживания / оттаивания составляет до 20 %. [Камень ..., 2019].

Рифовые известняки — это механогенные карбонатные грунты, возникающие при расчленении и перемывании известковых осадков и пород как биогенного, так и хемогенного генезиса с последующей их цементацией различными типами цемента. Чаще всего это плотные грунты с низкой пористостью (1,5–1,2%) [Грунтоведение, 2005]. В Горном Крыму они сложены постройками кораллов и мшанок, к которым примешивается небольшое количество раковин пелеципод, гастропод, остатки морских ежей и др. Часто они слагают массивы с крутыми склонами. Гора Ай-Петри представляет собой ископаемый риф юрского возраста (рис. 5). Мощность отложений составляет 600 м. На обнаженных масси-



Рис. 6. Линейно ориентированные формы рельефа в верхнеюрских органогенно-обломочных известняках, Крым (фото М.А. Харькиной)



Рис. 7. Уступ квесты г. Ак-Кая, Белогорский район, бронирующая поверхность — нуммулитовые известняки (фото А.М. Никишина)

вах рифовых известняков широко развиты линейно ориентированные формы рельефа (рис. 6).

Рассматривая *рельеф* как составную часть литотопа следует упомянуть, что массивы известняков в ряде случаев являются рельефообразующим фактором. Нуммулитовые и мшанковые известняки за счет относительно высокой прочности (см. табл. 2) часто являются бронирующими поверхностями и образуют квестовые формы рельефа с крутизной склонов 8–32° (рис. 7), на которых развита плоскостная и линейная эрозия. Активность эрозионных процессов оценивается с помощью биотического индикатора, представляющего собой соотношение фактической и потенциальной плотности проективного покрытия растений. Так, в Горном Крыму при расчлененности оврагами свыше 2,4 км/км² фактическая плотность проективного покрытия наименьшая и составляет менее 50 % [Березкин, 2007].

Особенности гидротона. Массивы карбонатных отложений, как правило, являются хорошо проницаемыми, в которых циркулируют трещинные и трещинно-карстовые воды. Следует упомянуть, что известняки хорошо проницаемы по трещинам, и корни растений питаются в основном дождевой водой при ее инфильтрации вниз по разрезу.



Рис. 8. Неполноразвитые черноземовидные почвы с выходами рифовых известняков на вершине Ай-Петри, Крым (фото М.А. Харьковской)

К трещиноватым известнякам, расположенным в глубине массива зачастую приурочены водоносные горизонты. Рассматривая гидрогеологические условия Горного Крыма следует сказать, что они сформировались в период альпийской складчатости и по типу гидрогеологического массива относятся к адартезанскому бассейну [Кириухин и др., 1987]. Роль подземных вод для водообеспечения ЭГС в целом и человека в частности огромна, так как они непрерывно питают водоносные горизонты артезианских бассейнов Равнинного Крыма. В Горном Крыму ведется водоотбор подземных вод, которые в силу активного водообмена имеют хорошие питьевые качества.

А.Б. Климчуком составлена схема гидродинамической зональности карстовых вод Горного Крыма. Питание трещинно-карстовых вод осуществляется в основном за счет атмосферных осадков (600–1200 мм). Однако эти осадки не полностью идут на питание подземных вод: 46 % тратится на испарение и транспирацию, 3,8–7 % в теплый период года тратится на конденсацию, а модуль конденсационного стока в среднем составляет $1,7 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ (2,46 — на Ай-Петринском массиве). Для водообеспечения фитоценозов карбонатных массивов наибольшее значение имеют верхние эпикарстовая гидродинамическая зона и зона аэрации, так как эти зоны располагаются в корнеобитаемом слое. Именно здесь происходит свободное движение воды по трещинам и каналам и корни растения способны всасывать эту воду.

Особенности геологических процессов. Изучая геологические процессы массивов известняков как составную часть литотопа ЭГС, следует упомянуть выветривание, карст и эрозию, оползни. Выветривание имеет существенное значение для почвообразования, так как за счет этого процесса идет подготовка грунтов для формирования почв. В процессе выветривания известняки приобретают ряд свойств, нехарактерных для исходных

невыветрелых: они становятся из относительно плотных рыхлыми несвязными; приобретают воздухоемкость, большую воздухо- и влагопроницаемость; в их составе наряду с первичными породообразующими минералами появляются вторичные глинистые минералы, обладающие высокой поглотительной способностью.

В массивах карбонатных грунтов широко развит карст, как его открытые, так и закрытые формы. Достаточно сказать, что в Горном Крыму выделено 124 карстовых полости, имеющих значимость для спелеотуризма и являющихся средой обитания некоторых млекопитающих, например, летучих мышей. Наибольшее количество редких и уникальных пещер сосредоточено в Горном Крыму на Айпетринском (41), Карабийском (26), Долгоруковском (14) и Чатырдагском (14) массивах [Амеличев и др., 2018].

На территории Горного Крыма известно проявление катастрофических оползней, которые с эколого-геологических позиций осложняют транспортное сообщение между населенными пунктами. О.В. Парубец [2014] доказала, что активизация катастрофических оползней хорошо коррелирует с максимальными суммами атмосферных осадков по пунктам Ай-Петри, Ялта и Феодосия. Оползни активизируются либо в год с максимальными значениями осадков, либо спустя год или два.

Особенности эдафотона. В.В. Докучаев [1948] считал, что одним из основных факторов почвообразования являются материнские горные породы. Почвообразующая порода обеспечивает минеральную часть почвы, на долю которой приходится более 90 % всей почвенной массы. Почва наследует минеральный и химический состав, а также физические и химические свойства, которые постепенно изменяются под влиянием выветривания и почвообразовательного процесса. Биоклиматические факторы определяют зональность почв, которая существенно осложняется геолого-геоморфологическими особенностями территорий.

На массивах известняков эдафотопы либо отсутствуют совсем, либо слабо и спорадически (фрагментарно) развиты в виде литозёмов (рис. 8). При наличии в генетическом горизонте почвы более 40 % обломков крупнее 1 мм к названию таких горизонтов добавляется определение «фрагментарные» [Добровольский, 1989].

В Крыму на массивах *карбонатных грунтов* и продуктах их выветривания формируются *черноземы карбонатные*. В местах близкого залегания к поверхности плотных пород мощность почв зависит от геоморфологического фактора. На участках самых высоких элементов мезорельефа формируются короткопрофильные и маломощные виды черноземов. Своеобразие материнских пород придает развивающимся на них почвам специфические черты, прежде всего скелетность, гравелистость, щебнистость, каменистость и т. д. [Драган, 2004]. Так, по данным В.Ю. Березкина [2007], в Горном Крыму содержание

Таблица 3

Особенности поверхностных фитоценозов ЭГС массивов известняков

Растения фитоценоза	Распространение	Условия произрастания и приспособленность к жизни	Примеры растений
Хазмофиты	Коллювий массивов известняков, крупные трещины	Жесткий водно-температурный режим, недостаток влаги	Можжевельник, «скальные» формы сосны, дуба
Псаммопелитофиты	Элювий массивов известняков	Корневые системы относительно мощные, заглубленные, с хорошо развитыми механическими тканями	Полынь белоземельная (<i>Artemisia ter-rae-albae</i>), бьюргун (<i>Anabasis salsa</i>)
Петрофиты	Пологие обнажения выветрелых известняков	Приспособленные к жизни в условиях быстрого просачивания воды по трещинам и малого количества мелкозема, содержащего минеральные вещества в доступной форме	Камнеломка орошенная (<i>Saxifraga irrigua</i> M. Bieb.)
Лишайники-эпилиты	Крутые склоны обнажений известняков	Развивают слоевище на неровной поверхности субстрата	Ризокарпон (<i>Rhizocarpon geographicum</i> L.), ксантория постенная (<i>Xanthoria parietina</i>)

гумуса в почвах на территории бассейна р. Бодрак не превышает 4–6 %, а наибольшее количество гумуса отмечено для черноземов и дерново-карбонатных почв (8–10 %), приуроченных к северным склонам квест, наименьшее содержание гумуса установлено в литоземах (1 % и менее) на крутых южных склонах квест.

Плодородие почв во многом определяется ферментативной активностью почв. Работами А.Р. Никифорова и И.В. Костенко с соавторами [Никифоров, Костенко, 2019] определена ферментативная активность горно-луговых почв Главной гряды Горного Крыма, образующихся на закарстованных массивах известняков. Установлено, что повышенная активность ферментов характерна для верхних горизонтов исследуемых горно-луговых почв, а в минеральных горизонтах ниже по профилю активность ферментов снижается. Ферментативная активность почв зависит не только от содержания органического углерода и гидролитической кислотности, но и от абиотических параметров: сильное влияние на активность ферментов оказывает реакция среды (рН) и сумма поглощенных оснований.

Характеристика биотических компонентов эколого-геологических систем массивов известняков. К биотическим компонентам природных ЭГС относятся микробоценозы, фитоценозы и зооценозы. Для *поверхностных микробоценозов* скальных массивов характерно наличие микроорганизмов-петрофилов и эпилитов, которые, как правило, являются аэробными и селятся либо непосредственно на поверхности скал, либо в их трещинах и открытых порах. Основная роль микроорганизмов в массивах скальных грунтов состоит в их биологическом выветривании. Но наряду с разрушением, микроорганизмы способны и создавать биогенные скальные грунты карбонатного состава, выступая как агент формирования биолитов.

Для *подземных* сообществ живых организмов, включая микробоценозы, характерны особые ус-

ловия существования. Пещеры, как среда обитания живых организмов, характеризуется постоянной температурой, высокой относительной влажностью и недостатком или полным отсутствием естественного освещения. Поэтому пещеры признаны экстремальными средами обитания живого. В карстовых пещерах существуют сообщества микроорганизмов, хорошо приспособленные к этим специфическим условиям. Они зачастую выполняют роль первичных продуцентов при отсутствии растений. В новостных изданиях были опубликованы статьи о том, что микробные сообщества обнаружены в пещере Таврида (Белогорский район), открытой в 2018 г. при строительстве одноименной автомобильной трассы [Ученые..., 2019].

Основными особенностями *поверхностных фитоценозов* ЭГС массивов скальных сцементированных карбонатных грунтов являются: 1) меньшее видовое разнообразие растений по сравнению с фитоценозами массивов дисперсных грунтов; 2) приспособленность к жесткому водно-температурному режиму в условиях быстрой фильтрации воды по трещинам; 3) меньшая биомасса растений; 4) приуроченность облигатных растений (кальцефитов) к обнажениям карбонатов. Основные особенности массивов известняков представлены в табл. 3.

При выходе известняков на поверхность высокое содержание карбоната кальция обуславливает развитие на них кальцефитной растительности. На территории второй гряды Крымских гор выделено десять видов кальцефитов [Абдыкадырова, Королев, 2019], три относятся к *облигатным* (обязательным) формам, семь — к *факультативным* (необязательным). Большинство облигатных кальцефитов приурочено к органогенно-обломочным отложениям — известнякам, а большинство факультативных форм кальцефитов связано с осадочными отложениями глинисто-карбонатного состава (мергелям). Все они обильно встречаются на территории Крыма и охарактеризованы в отношении к водному и световому

режимам, а также к засолению. К облигатным видам относятся полынь кавказская (*Artemisia alpina* Pall. ex Willd) — стелющийся полукустарничек, ламира ежеголовая (*Lamyra echinocephala* Willd.) — полукустарничек, очиток испанский (*Sedum hispanicum* L.) — многолетнее травянистое растение.

К факультативным видам, произрастающим на карбонатных массивах, относятся венечник ветвистый (*Anthericum ramosum* L.) — поликарпическая трава, молочай хрящеватый (*Euphorbia glareosa* Pall. ex M. Bieb.) — поликарпическая трава, герань рассеченная (*Geranium dissectum* L.) — однолетник, лен австрийский (*Linum austriacum* L.) — поликарпическая трава, люцерна серповидная (*Medicago falcata* L.) — поликарпическая трава, подорожник ланцетовидный (*Plantago lanceolata*) — поликарпическая трава, дубровник обыкновенный (*Teucrium chamaedrys* L.) — полукустарничек.

Рассматривая в целом растительный мир Ай-Петри, сложенного рифовыми известняками, отметим, что лесами занято только 12,6 % поверхности массива (бук, сосна, ясень, клен, изредка встречается тис ягодный). Остальная часть яйлинского ландшафта занята горно-лугово-степной растительностью.

Карстовый процесс оказывает существенное влияние на поверхностную растительность Ай-Петри. В днищах крупных карстовых воронок, диаметр которых достигает 200–300 и более метров, растительность по составу и структуре контрастирует с окружающим фитоценозами [Никифоров, Костенко, 2019], что показано на примере карстовой воронки на западном отроге плато Ай-Петри, расположенной на высоте 580–590 м н.у.м. на границе поясов лиственного леса и петрофитной степи. Склоны воронки покрыты лесом из типичных для пояса листопадных древесных пород южного макросклона Горного Крыма, однако в днище воронки древесная растительность практически не проникает. Здесь преобладает травянистая луговая растительность. Основной причиной безлесья днища воронки является близкий уровень грунтовых вод, что создает неблагоприятные условия для роста деревьев, формирующих глубокую корневую систему, и способствует развитию луговой растительности, корневищные элементы которой более конкурентноспособны, по сравнению с таковыми древесно-кустарниковых видов растений.

Особенности **подземных фитоценозов** ЭГС массивов известняков. В пещерах распространены водоросли хорошо адаптированные к подземной среде карстовых пещер. В освещенной зоне входной части пещер или вокруг источников искусственного освещения в экскурсионных пещерах развиваются сообщества обрастаний, в основном, состоящие из водорослей, цианобактерий, мхов, папоротников и иногда покрытосемянных. Фотосинтез водорослей возможен при интенсивности 0,04–0,1 % от уровня солнечного освещения. Среди

водорослей преобладают на плотных известняках в пещерах Ch-жизненной формы — колониальные зеленые и желто-зеленые водоросли, легко переносящие экстремальные условия, а также водоросли C-формы — одноклеточные, колониальные или нитчатые водоросли, образующие обильную слизь, они требовательны к воде и теневыносливы. Все водоросли в пещерах отличаются мелкими размерами, что особенно заметно при оценке размеров клеток в популяциях [Мазина, Попкова, 2017].

Общими особенностями **зооценозов** ЭГС массивов карбонатных грунтов является: 1) относительно небольшое разнообразие животных по сравнению с массивами дисперсных грунтов; 2) отсутствие крупных подземных фаунистических комплексов, в том числе отсутствие подземных роющих животных; 3) меньшая биомасса животных; 4) неспособность влиять на развитие экзогенных геологических процессов. Зооценозы массивов известняков подчиняются широтной и высотной зональности.

Однако отдельные карбонатные массивы отличаются относительным многообразием животного мира. Так, карбонатный массив Ай-Петри — уникальный по биоразнообразию район. Важным аспектом биоразнообразия Ай-Петри является наличие различных видов птиц. В горных лесах и на карбонатных массивах можно встретить сокола, горного орла, сапсана и многих других видов. Соколы — это хищные птицы, которые приспособились к скальным массивам. Они используют возвышенности для охоты на других животных. Небольшие размеры позволяют им маневрировать среди скал и ловить добычу.

Среди млекопитающих, встречающихся на Ай-Петри, можно увидеть зайцев, лисиц, косуль. Среди копытных имеются животные, отлично приспособленные к массивам известняков. Муфлон Крымский способен передвигаться по крутым склонам без особых проблем, так как обладает прочными копытами и сильными ногами, что позволяет легко передвигаться по скальным осыпям и крутым склонам.

На горе Ай-Петри обнаружены горные козы. Они имеют специальные копыта с прорезями, которые помогают им лучше держаться на скальном массиве. Кроме того, горные козы обладают отличным равновесием и гибкостью, что позволяет им передвигаться по опасным участкам без особых проблем.

Территория Ай-Петри также славится насекомыми и другими беспозвоночными животными. Здесь обитает множество видов пауков, скорпионов, жуков и прочих насекомых, которые приспособились к скальной среде. Пауки способны ползать по каменным россыпям и обнажениям известняков, используя свои липкие нити, чтобы удерживаться на вертикальных поверхностях. Это позволяет им защищать свои территории.

Некоторые виды беспозвоночных используют **карстовые полости** для пережидания неблагоприятных

ятных периодов. К ним относятся чешуекрылые — *Triphosa dubitata* L., *Operophtera brumata* L., либо пережидающие дневную жару, как представители двукрылых *Limonia nubeculosa* Meig., *Trichocera maculipennis* Meig. Все эти виды используют карстовые полости пассивно. Есть группы беспозвоночных, активных в пещерах. Из крымских видов это жуелица *Laemostenus tauricus* (Dej.), пауки *Meta bourneti* Sim., *M. merianae* (Scop.), *Tegenaria taurica* Char. и др. К этой же группе, вероятно, относятся сверчки *Discoptila fragosoi* (Bol.) и *Gryllomorpha dalmatina* Ocsk., появляющиеся в пещерах преимущественно в зимнее время и ведущие там активный образ жизни [Прокопов, Турбанов, 2017].

В пещерах карбонатных массивов на дневную «ночевку» собираются рукокрылые — летучие мыши. Летучие мыши — млекопитающие, насчитывающие 300 видов. В конце прошлого века в пещерах Крыма обитало 16 видов (четыре вида ночниц, длиннокрыл, ушан, широкоушка европейская, три вида вечерниц, шесть видов вожанов и нетопырей [Дублянский, 1977].

Летучие мыши — это гетеротермные животные, хорошо приспособленные к дневному пребыванию в пещерах. В период активности температура их тела относительно высокая и не зависит от температуры внешней среды. В состоянии покоя она достигает температуры окружающего воздуха, а число сердцебиений сокращается с 420 до 16. Рукокрылые в Крыму используют для ночевки не только природные пещеры, но и каменоломни по добыче пильного известняка [Иваницкий и др., 2019]. Например, в Ак-Монайских каменоломнях, расположенных на Ак-Монайском перешейке в Восточном Крыму, где добыча известняка осуществлялась на протяжении 150 лет во времена Екатерины II (1762–1796 гг.), зарегистрировано 11 видов: *Rhinolophus hipposideros*, *R. ferrumequinum*, *Myotis davidii* (*M. mystacinus*), *M. blythii*, *Nyctalus noctula*, *Pipistrellus pipistrellus*, *P. kuhlii*, *Eptesicus serotinus*, *Barbastella barbastellus*, *Plecotus austriacus* и *Miniopterus schreibersii*. Наиболее массовым видом Ак-Моная является *M. blythii*, образующий здесь зимовочные и материнские колонии численностью 1000–3000 и более особей.

Оценивая в целом зооценозы крымских карстовых пещер следует сказать, что пещеры не слишком благоприятны для формирования крупных фаунистических комплексов, т.к. в большинстве случаев органических веществ в пещерах мало. В основном трофические цепи здесь базируются на аллохтонной органике¹, по крайней мере, для них пока не описывалось процессов автохтонного образования органического вещества. На рис. 9 показана мокрица



Рис. 9. Пещерная мокрица *Taurologidium stygium*. Крым, западный склон Ай-Петри (Байдарская долина), пещера Скульская [Прокопов, Турбанов, 2017]

Taurologidium stygium Bor., кишечник которой заполнен глиной со стен пещеры. Эта глина — хорошая среда для развития микроорганизмов, которые и являются пищевым ресурсом не только для пещерных мокриц, но и других детритофагов, находящихся у основания пищевой цепи.

Выводы. Многие важнейшие особенности ЭГС массивов известняков обусловлены их литогенной основой. Эколого-ресурсные особенности мшанковых, нуммулитовых, флюсовых и рифтовых известняков влияют не только на условия функционирования природной биоты, но и позволяют использовать их в качестве минерального сырья в хозяйственной деятельности человека. Состав и свойства литотопа во многом определяют свойства эдафотопы и видовой состав фитоценозов.

Характерной особенностью эдафотопы ЭГС массивов известняков является наследование минерального и химического состава материнской породы, непосредственно на массивах известняков формируются фрагментарные, короткопрофильные почвы со слабо развитым гумусовым горизонтом, а на коре выветривания этих массивов — развиты почвы с большим количеством гумуса.

Фитоценозы ЭГС массивов известняков характеризуются специфическими сообществами с преобладанием кальцефитной растительности. Существенное влияние на поверхностные и подземные фитоценозы оказывает карстовый процесс в местах близкого к поверхности расположения уровня грунтовых вод и невозможностью развития глубокой корневой системы у древесной растительности, а также затруднения процессов фотосинтеза за счет низкой освещенности в пещерах. Литотоп оказывает меньшее влияние на зооценозы по сравнению с фитоценозами.

¹ Аллохтонная органика — это природные органические вещества, которые поступают в наш случай в пещеры вследствие вымывания из почв и лесных подстилок водосбора атмосферными осадками. Автохтонное образование органического вещества — это процесс образования органических веществ внутри пещеры вследствие продуктов биохимического распада остатков организмов, ее населяющих.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абдыкадырова С.Б., Королёв В.А.* Кальцефиты в эколого-геологических системах Горного Крыма // V Межд. научно-практич. конф. «Актуальные вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств». Гомель, 28–29 ноября 2019 г. (Беларусь). Т. 2. Гомель: Гомельский гос. ун-т, 2019. С. 7–9.
- Амеличев Г.Н., Токарев С.В.* Спелеоресурсный потенциал карстовых полостей Крыма и перспективы его использования в природоохранной и рекреационной деятельности // Изучение и использование естественных и искусственных подземных пространств и закарстованных территорий. Мат-лы Всероссийской научно-практической конференции «II Крымские карстологические чтения». Симферополь, 25–28 сентября 2018 г. Симферополь, 2018. С. 119–123.
- Антошкина А.И., Леонова Л.В., Симакова Ю.С.* Новый взгляд на формирование миоценовых биогермных известняков мыса Казантип, Крым // Доклады РАН. Науки о Земле. 2020. Т. 491. № 2. С. 10–14.
- Березкин В.Ю.* Эколого-геологическая оценка качества ресурса геологического пространства территории бассейна реки Бодрак: Автореф. дисс. ... канд. г.-м. наук. М., 2007. 24 с.
- Грунтоведение / Трофимов В.Т., Королев В.А., Вознесенский Е.А., Голодковская Г.А., Васильчук Ю.К., Зянгириков Р.С. / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2005. 1024 с.
- Добровольский В.В.* География почв с основами почвоведения. М.: Высшая школа, 1989. 320 с.
- Докучаев В.В.* Учение о зонах природы. М.: ОГИЗ Географгиз, 1948. 63 с.
- Драган Н.А.* Почвенные ресурсы Крыма. Симферополь: Доля, 2004. 208 с.
- Дублянский В.Н.* Пещеры Крыма. Симферополь: Таврия, 1977. 128 с.
- Иваницкий А.Н., Розенберг О.Г., Шоренко К.И.* Ак-Монайские каменоломни — ключевое убежище рукокрылых Восточного Крыма // Экосистемы. № 20. 2019. С. 140–148.
- Камень известняк-ракушечник и его свойства <https://izvestnyak.ru/info/izvestnyak-rakushechnik.html?ysclid=m3h0o437fv163002030> (дата обращения: 14.11.2024).
- Кирюхин В.А., Толстихин Н.И.* Региональная гидрогеология. М.: Недра, 1987. 382 с.
- Клюкин А.А., Корженевский В.В.* Крымское Приазовье. Симферополь: Бизнес-информ, 2008. 162 с.
- Королев В.А., Балыкова С.Д.* Эколого-геологические системы тукуланов // Инженерная геология. 2023а. № 3. С. 22–35.
- Королев В.С., Григорьева И.Ю., Королев В.А.* Эколого-геологическая систематика биолитов Крыма // V Международная научно-практ. конф. «Актуальные вопросы наук о Земле в концепции устойчивого развития Беларуси и сопредельных государств». Гомель, 28–29 ноября 2019 г. (Беларусь). Т. 2. Гомель: Гомельский гос. ун-т, 2019. С. 83–88.
- Королев В.А., Григорьева И.Ю.* Эколого-геологические системы массивов лессовых грунтов // Инженерная геология. Т. XVII, № 2. 2022. С. 42–64.
- Королев В.А., Трофимов В.Т., Харькина М.А.* Особенности эколого-геологических систем массивов скальных грунтов // Геоинфо. 2023б. № 2. С. 6–17.
- Лыгина Е.А.* Датская и эоценовая платформы Крыма: строение и условия формирования: Автореф. дисс. ... канд. геол.-минер. наук. М., 2010. 24 с.
- Мазина С.Е., Попкова А.В.* Адаптации водорослей и цианобактерий к среде карстовых известняковых пещер // Биоспелеологические исследования в России и сопредельных государствах: Мат-лы II Всероссийской молодежной конференции. Ярославль: Филигрань, 2017. С. 74–80.
- Никифоров А.Р., Костенко И.В.* Почва и растительность карстовой воронки западного отрога плато Ай-Петри в Горном Крыму // Экосистемы. 2019. Вып. 49. С. 54–60.
- Парубец О.В.* Природно-антропогенные факторы трансформации физико-географических процессов в Крыму в XX-нач. XXI вв.: Автореф. дисс. ... канд. геогр. наук. Симферополь, 2014. 21 с.
- Прокопов Г.А., Турбанов И.С.* К вопросу о формировании спелеофауны Крымского полуострова пещер / Биоспелеологические исследования в России и сопредельных государствах. Мат-лы II Всероссийской молодежной конференции. Ярославль: Филигрань, 2017. С. 99–106.
- Трофимов В.Т.* Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2009. № 2. С. 48–52.
- Трофимов В.Т.* Экологическая геология: Учебник. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2024. 415 с.
- Трофимов В.Т., Королев В.А.* Массивы песчаных грунтов как объекты эколого-геологических исследований // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2018. № 2. С. 59–65.
- Ульяхин А.В.* Нуммулиты, гигантские одноклеточные. https://elementy.ru/kartinka_dnya/808/Nummulity_gigantskie_odnokletochnye?from=bxblock. Опубликовано 22.01.2019 (дата обращения: 14.11.2024)
- Ученые обнаружили неизвестные микроорганизмы в крымской пещере <https://www.pravda.ru/news/science/1429443-micro/?ysclid=incvpszzab148392338> (дата обращения: 05.10.2023)
- Харькина М.А.* Характеристика эколого-геологических систем континентальных массивов грунтов криолитозоны // Энергия, экономика, техника, экология. 2024. № 6. С. 58–70.
- Харькина М.А., Андреева Т.В.* Эколого-геологические системы массивов меловых грунтов Центральных районов Русской плиты // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 4. Геология. 2024. Т. 63, № 3. С. 65–72.

Статья поступила в редакцию 28.11.2024,
одобрена после рецензирования 12.03.2025,
принята к публикации 28.08.2025