



Фото В.С.Королева

ОСОБЕННОСТИ ЭКОЛОГО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ МАССИВОВ **СКАЛЬНЫХ ГРУНТОВ**

Оригинальная статья

Поступила в редакцию 06.03.2023. Принята к публикации 10.04.2023

© Независимый электронный журнал «ГеоИнфо», 2023

КОРОЛЕВ В.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, va-korolev@bk.ru
Адрес: Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия

ТРОФИМОВ В.Т.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, trofimov@rector.msu.ru
Адрес: Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия

ХАРЬКИНА М.А.

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, г. Москва, Россия, kharkina@mail.ru
Адрес: Ленинские горы, д. 1, г. Москва, 119991, Россия

АННОТАЦИЯ

Определены общие особенности эколого-геологических систем (ЭГС) массивов скальных грунтов, как объектов геоэкологических исследований и инженерно-экологических изысканий. Эколого-геологические системы включают абиотические (литотоп, эдафотоп) и биотические (микробиоценоз, фитоценоз, зооценоз) компоненты. Выявлены характерные особенности эколого-геологических систем природных скальных массивов на примере ЭГС сцементированных карбонатных и меловых грунтов и зон их выветривания Южного Урала, Крыма, Белгородской области, Алтая и Сихоте-Алиня. На примере карстовых пещер Южного Урала дана характеристика геологических процессов массивов карбонатных грунтов и их микробных сообществ. Описаны геологические особенности развития почвенных покровов на массивах скальных сцементированных карбонатных грунтов Крыма. Выявлены особенности обитания членистоногих на меловых скальных массивах Белгородской области. На примере Сихотэ-Алинского вулканического пояса (туфы риолитового состава) и Телецкой разломной зоны (илисто-глинистые образования выветрелых гнейсов и сланцев) показано значение биоминеральных комплексов в жизни копытных животных.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

эколого-геологическая система, литотоп, эдафотоп, микробиоценоз, фитоценоз, зооценоз, карбонатные сцементированные грунты, меловые грунты, микробные сообщества, лишайники, биоминеральные комплексы

ССЫЛКА ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Королёв В.А., Трофимов В.Т., Харькина М.А. Особенности эколого-геологических систем массивов скальных грунтов // Геоинфо. 2023. № 2 С. 6-17, doi:10.58339/2949-0677-2023-5-2-6-17

FEATURES OF ECOLOGICAL AND GEOLOGICAL SYSTEMS OF ROCK SOIL MASSIFS

Original paper

Received 06.03.2023. Accepted for publication 10.04.2023

© Independent electronic magazine "GeoInfo", 2023

VLADIMIR A. KOROLEV

Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia, va-korolev@bk.ru
Address: Leninskiye Gory, 1, Moscow,
119991, Russia

VIKTOR T. TROFIMOV

Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia, trofimov@rector.msu.ru
Address: Leninskiye Gory, 1, Moscow,
119991, Russia

MARINA A. KHARKINA

Lomonosov Moscow State University,
Moscow, Russia, kharkina@mail.ru
Address: Leninskiye Gory, 1, Moscow,
119991, Russia

ABSTRACT

The general features of ecological-geological systems (EGS) of rock massifs are determined as objects of geocological research and engineering and environmental surveys. Ecological and geological systems include abiotic (lithotope, edaphotope) and biotic (microbocenosis, phytocenosis, zoocenosis) components. The characteristic features of the ecological and geological systems of natural rock masses are revealed on the example of the EGS of cemented carbonate and chalk soils and their weathering zones in the Southern Urals, Crimea, Belgorod region, Altai and Sikhote-Alin. On the example of karst caves in the Southern Urals, a characteristic is given of the geological processes of carbonate soil massifs and their microbial communities. The geological features of the development of soil covers on massifs of rocky cemented carbonate soils of the Crimea are described. The features of arthropod habitation on the Cretaceous rock massifs of the Belgorod region are revealed. Using the example of the Sikhote-Alin volcanic belt (rhyolitic tuffs) and the Teletskaya fault zone (silty-argillaceous formations of weathered gneisses and shales), the importance of biomineral complexes in the life of ungulates is shown.

KEYWORDS:

ecological and geological system, lithotope, edaphotope, microbiocenosis, phytocenosis, zoocenosis, carbonate cemented soils, chalk soils, microbial communities, lichens, biomineral complexes

FOR CITATION:

Korolev V.A., Trofimov V.T., Kharkina M.A. Peculiarities of ecological and geological systems of rock masses // GeoInfo. 2023. No. 2. S. 6-17, doi:10.58339/2949-0677-2023-5-2-6-17

Введение ▶

Структура эколого-геологической системы (ЭГС) с учетом геологической составляющей, включая состав, состояние и рельеф геологического массива, подземные воды, геохимические поля, геофизические поля, современные эндо- и экзогенные процессы, была разработана В.Т.Трофимовым [34] и явилась логичным развитием представлений ученых об экосистемах [1,18,25], и в частности - представлений В.Н.Сукачева о биогеоценозах [31]. Именно выделение эколого-геологических систем позволяет в полной мере выявить взаимосвязь «неживого» (массива грунтов, литотопа) и «живого» (микроорганизмов, растений, животных). Другими словами, *эколого-геологическая система – это определенный объем литосферы с находящейся в ней и на ней биотой, включая человека и социум, на которые воздействуют природные и техногенные факторы,*

под влиянием которых развиваются современные геологические процессы в названной системе, влияющие на условия жизни биоты.

Практическое значение изучения ЭГС связано с современной экологизацией всех отраслей народного хозяйства, в том числе инженерных изысканий для строительства. Достаточно сказать, что в новом СП 502.1325800.2021 «Инженерно-экологические изыскания. Общие правила производства работ» используется экосистемный подход, направленный на изучение абиотических сред (литосферы, педосферы, поверхностной гидросферы и атмосферы) как среды обитания живых организмов, включая человека [9,35,37,39].

К настоящему времени в той, или иной степени уже охарактеризованы систематика природных и техногенных ЭГС [10,11], а также особенности природных ЭГС, формирующихся на мас-

сивах песчаных и лёссовых грунтов [8,15,35,36]. Однако характерные особенности природных континентальных (сухопутных) ЭГС массивов скальных грунтов остаются пока слабо изученными. Поэтому цель настоящей статьи – восполнить этот пробел.

Общие особенности эколого-геологических систем массивов скальных грунтов ▶

Сухопутные природные однородные ЭГС, развитые на массивах скальных грунтов, имеют свои характерные общие особенности, отличающие их от ЭГС массивов дисперсных и иных грунтов и влияющие на развитие и функционирование экосистемы (табл. 1). Эти характерные черты отражаются в особенностях как абиотических, так и биотических компонентов ЭГС – литотопа (включая грунты, рельеф, экзогенные и эндогенные процессы, гидрогеологиче-

Таблица 1. Общие особенности эколого-геологических систем массивов скальных грунтов

Особенности абиотических компонентов ЭГС:	Особенности эдафотопы и биотических компонентов ЭГС:			
	литотопа	эдафотопы	микробоценоза	фитоценоза
1. Низкая пористость и пустотность 2. Возможность наличия крупных пустот и полостей (пещер) 3. Относительно высокая прочность и низкая выветриваемость 4. Возможное наличие геофизических аномалий 5. Многообразие минералов, геохимических полей и место-рождений полезных ископаемых 6. Низкая обводненность 7. Характерный рельеф 8. Специфический парагенез экзогенных геологических процессов	1. Меньшее ¹ разнообразие генетических типов почв 2. Менее четко выраженные генетические горизонты почв 3. Меньшая мощность почв 4. Меньшее видовое разнообразие почвенных микро- и макроорганизмов 5. Меньшая биомасса почвенных организмов 6. Спорадическое распространение 7. Приуроченность к корам выветривания	8. Меньшее видовое разнообразие микробов 9. Меньшая плотность подземных популяций микробов 10. Меньшая биомасса микробов 11. Проникновение микробов на меньшую глубину 12. Наличие микроорганизмов, формирующих скальные биолиты	1. Меньшее видовое разнообразие растений; 2. Проникновение корней на меньшую глубину; 3. Меньшая биомасса растений; 4. Неспособность растений препятствовать развитию ЭГП; 5. Приуроченность облигатных растений (петрофитов) к скальным грунтам; 6. Подчинение фитоценозов широтной и высотной зональности (поясности); 7. Значительная роль лишайников-эпилитов	1. Меньшее видовое разнообразие животных 2. Отсутствие подземных роющих животных, но наличие пещерных 3. Меньшая биомасса животных 4. Неспособность влиять на развитие ЭГП 5. Проявление литофагии в биоминеральных комплексах скальных массивов

¹ «Меньшее» - здесь и далее имеется ввиду по сравнению с ЭГС массивов дисперсных грунтов

ские условия), эдафотопы (почв) и биотопы (микробо-, фито- и зооценоза), а также в реализации ими экологических функций.

Особенности абиотических компонентов ЭГС массивов скальных грунтов ▶

К основным общим **особенностям литотопа** массивов скальных грунтов, влияющим на ЭГС массива в отличие от прочих массивов (дисперсных, мерзлых), относятся такие их специфические черты, которые обеспечивают реализацию экологических функций – ресурсной, геохимической, геодинамической и геофизической в пределах данной ЭГС [33].

Среди этих особенностей нами выделяются следующие (табл.1): 1) относительно низкая пористость и трещинная пустотность, особенно для грунтов невыветрелых массивов, что снижает ресурс геологического пространства самих грунтов для микро- и макроорганизмов; 2) возможность формирования в скальных массивах крупных пустот, пещер (карстовых и т.п.) и полостей, обуславливающих особый ресурс геологического пространства для биоты и развитие специфических подземных экосистем; 3) относительно большая прочность и невысокая способность скальных грунтов к выветриванию, что снижает ресурс геологического пространства и затруд-

няет их освоение биотой; 4) развитие парагенеза специфических геологических процессов, как проявление их геодинамической экологической функции; 5) слабая обводненность, наличие лишь поровых и трещинных вод, что влияет на обеспеченность экосистем водой и проявление геохимической экологической функции; 6) особый тип рельефа, обуславливающий ресурс геологического (геоморфологического) пространства для биоты, а также геодинамическую экологическую функцию; 7) широкий спектр минералов скальных грунтов, обуславливающих питательный и энергетический ресурсы для биоты, а также геохимическую и геофизическую функции; 8) наличие в некоторых скальных массивах геофизических аномалий, влияющих на биоту.

Относительно высокая прочность скальных грунтов и избирательная способность таких грунтов к выветриванию обуславливают развитие в пределах этих массивов таких специфических парагенезов *экзогенных геологических процессов* (ЭГП) как выветривание (рис. 1), обвалы, осыпи, каменные лавины и др., влияющих на экосистемы и обуславливающих проявление геодинамической экологической функции [29]. В зависимости от динамики ЭГП в экосистемах скальных массивов развиваются те или иные сукцессии, формируется тот или иной набор популяций растений и животных.

В массивах карбонатных грунтов широко развит карст, как его открытые, так и закрытые формы. Закрытые формы карста – карстовые пещеры представляют собой уникальные подземные экосистемы, характерными чертами которых являются отсутствие света, незначительные колебания температуры, высокая влажность, низкое содержание питательных веществ. Пещеры различаются морфологией и размером, уровнем антропогенной нагрузки. Основные характеристики крупных пещер Южного Урала представлены в табл. 2.

Важной особенностью литотопов ЭГС скальных массивов является то, что в результате денудации на поверхности скальных массивов формируются коры выветривания (элювий), степень и площадь развития которых может быть весьма различной и определяется избирательностью грунтов к выветриванию и иными факторами. Кроме того, на склонах и подножии скальных массивов почти всегда формируются и присутствуют склоновые отложения в виде коллювия, делювия, каменных развалов и т.п., дисперсных образований, как следствие соответствующих экзогенных процессов, площадь развития которых на склонах также может быть весьма различной. Именно на этих участках в первую очередь формируются локальные почвы и соответствующие им локальные фитоценозы. Развитие этих процессов

будет отличаться на горных и равнинных территориях. При этом, образующиеся коры выветривания скальных массивов и коллювиальные отложения в их пределах, как и эдафотопы на них, должны рассматриваться как компоненты данной ЭГС скального массива, хотя сами они и сложены дисперсными грунтами. Основанием этому является взаимосвязь и взаимозависимость химико-минерального состава и структуры дисперсных отложений и почв с материнскими грунтами скального массива.

Общей особенностью для развития экзогенных геологических процессов в/на скальных массивах является их обусловленность геологическим возрастом массивов и неотектоническими условиями: молодые массивы скальных грунтов менее изменены выветриванием, склоновыми процессами и т.п., тогда как более древние массивы в наибольшей степени изменены экзогенными процессами. При этом для разных типов скальных массивов характерны свои парагенезы экзогенных процессов.

Скальные массивы характеризуются специфическим *гидротопом* как компонентом ЭГС, обычно они слабо обводнены, в них формируются в основном трещинные, поровые и смешанные – трещинно-поровые воды. В объеме массива подземные воды распространены как правило неравномерно. В особый тип выделяют карстовые воды, характеризующиеся гидродинамической зональностью.

Так, например, А.Б. Климчуком составлена схема гидродинамической зо-



Рис. 1. Формы выветривания массивов меловых грунтов, Дивногорье, Успенский монастырь в меловых горах (Воронежская область) (фото: <https://cattur.ru/russia/divnogore.html>)

нальности карстовых вод Горного Крыма (рис. 2). 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 л/с·км² (2,46 – на Ай-Петринском массиве).

Трещинно-карстовые и грунтовые воды холодные с температурой 7-11°C, пре-

имущественно гидрокарбонатно-кальциевые с минерализацией 0,4-0,5 г/л [29].

От особенностей гидротопы зависит развитие биоты в пределах данных ЭГС. Для водообеспечения фитоценозов карбонатных массивов наибольшее значение имеют эпикарстовая гидродинамическая зона и зона аэрации, как зоны, располагающиеся в корнеобитаемом слое. Именно здесь происходит свободное движение воды по трещинам и каналам и корни растения способны всасывать эту воду.

Таблица 2. Характеристики пещер массивов карбонатных грунтов Южного Урала (по А.С.Рябовой [26])

Характеристика пещеры		Пещера:		
		Аскинская (Аскинская Ледяная)	Киндерлинская (им. 30-летия Победы)	Шульган-Таш (Капова)
Геологический возраст карбонатных массива		Франский век позднего девона	Франский век позднего девона	Визейско-намюрский век раннего карбона
Размеры	протяженность, м	230	9113	3323
	амплитуда, м	34	-215	165
	объем, м ³	46 400	254 000	180 510
Морфология		Ледяной мешок	Наклонногоризонтальная, многоярусная система ходов и галерей / Наледь на входе 1500 м ²	Горизонтальновертикальная слабоветвистая, трехэтажная система полостей с интенсивно развитой зоной фреатической циркуляции
Протяженность пещеры с антропогенными изменениями, м		230 (2013 г.)	10 000 (2010 г.)	27 000 (2011 г.)

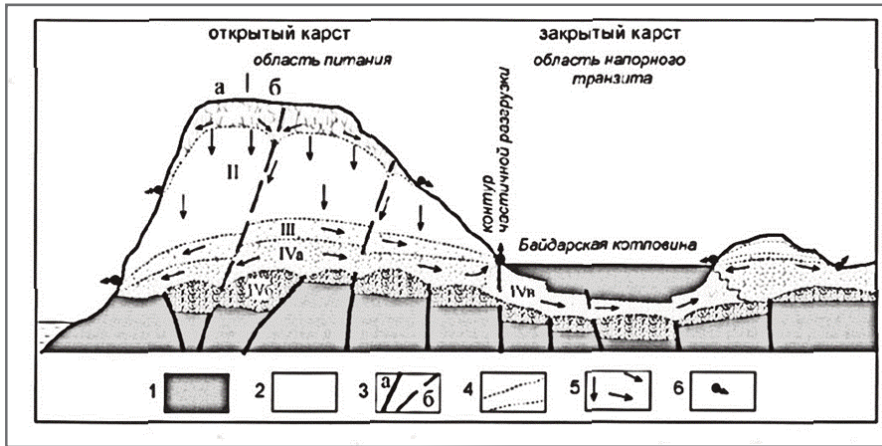


Рис. 2. Схема гидродинамической зональности карстовых вод Горного Крыма (по А.Б.Климчуку [29]): 1 – слабопроницаемые породы, 2 – карстующиеся породы, 3 – тектонические нарушения: 3а – в цоколе, 3б – в карстующихся породах, 4 – границы гидрогеодинамических зон, 5 – направления движения подземных вод, 6 – карстовые источники. Карстовые массивы: а – цокольные приморские, б – склоновые континентальные. Гидрогеодинамические зоны I – эпикарстовая (преимущественно рассеянное питание; безнапорные воды, образующие подвешенный горизонт), II – аэрации (вадозная – преимущественно нисходящее свободное движение вод по трещинам и каналам); III – сезонных колебаний уровня; IV – зона полного насыщения: подзоны IVa – преимущественно безнапорных водоткрытого карста с интенсивным водообменом, с локальным напором в каналах (фреатическая); IVб – напорных вод с интенсивным водообменом; IVв – напорных вод (артезианского напора) закрытого карста с замедленным водообменом.



Рис. 3. Неполноразвитые черноземовидные почвы с выходами рифовых известняков на вершине Ай-Петри, Крым (фото М.А.Харькиной)

Не менее важной особенностью литотопов ЭГС массивов скальных грунтов является специфический *рельеф территории*. Основными факторами рельефа, влияющими на ЭГС массивов скальных грунтов, является высота склонов, расчленённость и экспозиция склонов. Склоны южной и близких к ней экспозиций получают больше тепла, они более сухие, снежный покров на них держится

меньше, а снеготаяние более бурное. На южных склонах сильнее проявляются процессы денудации. От особенностей рельефа зависит развитие соответствующих эдафотопов, а также микробио-, фито- и зооценозов. Рельеф территории во многом определяет её биоразнообразие и выступает как важнейший фактор ресурса геологического пространства [2]. Кроме того, рельеф территории со скаль-

ными массивами, особенно при сильной разности высот, обуславливает на этой территории проявление вертикальной поясности в тепло-влажностности и соответственно – вертикальной поясности почв и биотопов ЭГС.

Другой характерной особенностью литотопов ЭГС массивов скальных грунтов является возможное наличие в них различных *месторождений полезных ископаемых*, геохимических потоков элементов и формирование ореолов рассеяния.

Общие *особенности эдафотона* ЭГС массивов скальных грунтов состоят в том, что почвы, формирующиеся на скальных массивах: 1) обладают меньшим разнообразием генетических типов; 2) у них менее четко выражены генетические горизонты; 3) они характеризуются меньшей мощностью; 4) у них меньше видовое разнообразие почвенных микро- и макроорганизмов; 5) у них намного меньшая биомасса почвенных организмов; 6) для них характерно не сплошное, а спорадическое (локальное, фрагментарное) распространение и приуроченность к корам выветривания (см. табл. 1). При этом необходимо иметь в виду, что распространение тех, или иных типов почв и их тепло-влажностность в пределах рассматриваемых ЭГС подчиняются широтной и вертикальной зональности.

На скальных массивах эдафотопы либо отсутствуют совсем, либо слабо и спорадически (фрагментарно) развиты в виде литозёмов, петрозёмов и примитивных почв-литосолой. Это обусловлено тем, что на скальных массивах почвы постоянно смываются и состав почв обновляется за счет обломочного материала коренных скальных грунтов и кор выветривания. При наличии в генетическом горизонте почвы более 40% обломков крупнее 1 мм к названию таких горизонтов добавляется определение «фрагментарные» [5].

Так, например, в Крыму на массивах *карбонатных грунтов* и продуктах их выветривания формируются *черноземы карбонатные*. В местах близкого залегания к поверхности плотных карбонатных пород мощность почв зависит от геоморфологического фактора. На участках самых высоких элементов мезорельефа формируются короткопрофильные и маломощные виды черноземов, гумусированная часть профиля которых не превышает 25 и 40 см соответственно. Им нередко сопутствуют примитивные и неполноразвитые почвы, а также выходы карбонатных грунтов

(рис. 3). Своеобразие материнских пород придает развивающимся на них почвах специфические черты, прежде всего скелетность, гравелистость, щебнистость, каменистость и т.д. [6].

В межрядовых котловинах и других понижениях рельефа на карбонатных массивах гумусированная часть почвенного профиля, благодаря намытости, превышает 100 см [6]. Карбонатные почвы характеризуются значительным содержанием свободной извести (иногда до 30%), количество которой вниз по профилю увеличивается. Содержание гумуса в пахотном слое колеблется от 2,8 до 4,6% при среднем 3,4–3,8%; в смывных почвах его количество не превышает 2,5%. Сверху вниз по профилю количество

Лишь при наличии кор выветривания и в случае субгоризонтальной или слабо наклонной поверхности скального массива на нём могут формироваться более-менее развитые почвы, как, например, на поверхности карбонатных массивов квест в Крыму. Как правило такие почвы представлены горными примитивными разностями или высокогорными дерново-гольцовыми почвами. Их свойства и химико-минеральный состав определяются материнской горной породой. Они характеризуются небольшой мощностью (10-25 см) и прерывистым распространением, чередуются с выходами на поверхность скальных грунтов, отличаются большой щебнистостью и плохой сортированностью материала, слагающего почвы.

Особенности биотических компонентов ЭГС массивов скальных грунтов ►

К биотическим компонентам природных ЭГС относятся микробценозы, фитоценозы и зооценозы.

Исследованием роли микроорганизмов в формировании компонентов ЭГС, в почвообразовании, выветривании и т.п. занимались М.А.Глазковская [3], Г.А.Заварзин, Н.А.Красильников [12], Б.Б.Полынов [21,22], А.С.Рябова [26], Н.Н.Сушкина [32], Е.А.Ярилова [41] и многие др. Общими особенностями микробценоза ЭГС массивов скальных грунтов являются (табл. 1): 1) относительно небольшое видовое разнообразие микроорганизмов; 2) их невысокая плотность популяций, за исключением ЭГС массивов пористых и трещиноватых, выветрелых грунтов, а также подземных пещер (карстовых, тектонических и др.);

3) меньшая биомасса микроорганизмов в единице объема грунта; 4) возможность проникновения микроорганизмов на меньшую глубину массива по сравнению с массивами дисперсных грунтов. В массивах скальных грунтов возможно формирование поверхностных (наземных) и подземных микробценозов, которые существенно отличаются друг от друга.

Для поверхностных микробценозов скальных массивов характерно наличие микроорганизмов-петрофилов и эпицитов, 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, силикатного, железистого, сульфатного и иного состава, а также руды, выступая как агент формирования биолитов [43].

Подземные микробценозы формируются в пещерах (карстовых и др.) и прочих крупных пустотах массивов скальных грунтов, достигая значительной глубины. Микробценозы подземных полостей и пещер характеризуются существенными отличиями от поверхностных, обусловленными отсутствием солнечного света, почти постоянной температурой и влажностью воздуха и т.п. В пещерном микробном комплексе доминируют бактерии и протисты¹. К пещерной микрофлоре, особенно, бактериальной, в последние десятилетия проявляется значительный научный интерес. При этом микробиология пещер до настоящего времени в полной степени не разработана [28,40].

В карстовых пещерах (табл. 2) существуют сообщества микроорганизмов, хорошо приспособленные к этим специфическим условиям. Они зачастую выполняют роль первичных продуцентов при отсутствии растений. Характеристики микробных сообществ карстовых пещер Южного Урала изучены А.С.Рябовой [26]. Микробные сообщества на поверхности массива скальных карбонатных грунтов представлены актинобактериями, спорообразующими, литотрофными бактериями и микроскопическими грибами, с доминированием представителей родов *Penicillium*, *Aspergillus*, *Geotrichum*. Установлено, что в пещерах карбонатных массивов галерейного типа (пещеры Киндерлинская, Шульган-Таш) содержание микроорганизмов в грунте убывает по

мере продвижения вглубь полости – бактерий до 106 -104 КОЕ/г, микроскопических грибов до 103 -102 КОЕ/г. Причем удаление от дневной поверхности приводит к снижению видового богатства микромицетов. Антропогенная нагрузка приводит к возрастанию количества микроорганизмов в грунте от 4 до 40 раз и увеличению видового богатства микромицетов в 2-10 раз по сравнению с ненарушенными участками. Другим фактором, оказывающим существенное влияние на численность культивируемых форм микроорганизмов, является проникновение поверхностных вод. Для ледяной пещеры мешкообразной формы (Аскинская пещера) установлено, что поступление поверхностных вод в виде капелек, стекающей в полость талой и дождевой воды оказывает большее воздействие на численность микроорганизмов в грунте, чем рекреационная нагрузка [26].

Основными особенностями фитоценоза ЭГС массивов скальных грунтов являются (см. табл. 1): 1) меньшее видовое разнообразие растений; 2) проникновение корней на меньшую глубину; 3) меньшая биомасса растений; 4) неспособность растений препятствовать развитию ЭГП; 5) приуроченность облигатных растений (петрофитов) к скальным грунтам; 6) подчинение фитоценозов широтной и высотной зональности (поясности); 7) значительная роль лишайников-эпилитов.

Для таких фитоценозов характерно наличие растений-петрофитов, литофагофитов и эпицитов (собственно литофитов). Растения-эпилиты в основном представлены низшими формами – лишайниками (*Lichenes*), мхами (*Bryophyta*) и водорослями (*Algae*).

В ЭГС скальных массивов особенно высока роль лишайников-эпилитов (рис.4-6). Обладая широким диапазоном устойчивости, они способны осваивать трудно используемые многими другими организмами скальные местообитания, быть первопоселенцами на вновь формирующихся скальных субстратах - застывших лавовых потоках, прибрежных скалах, массивах карбонатных грунтов и пр. [13,30]. Исследованием лишайников-эпилитов и их роли в ЭГС скальных массивов занимались З.Джураева [4], К.Н.Игошина [7], М.А.Магомедова [16], А.А.Ниценко [17], Б.Б.Полынов [21,22], Н.В.Седельникова [27], А.В.Сонина [30], Н.Н.Сушкина [32], И.Н.Урбанавичене, Е.А.Ярилова [41] и др.

¹ Протисты – одноклеточные организмы, эукариоты.

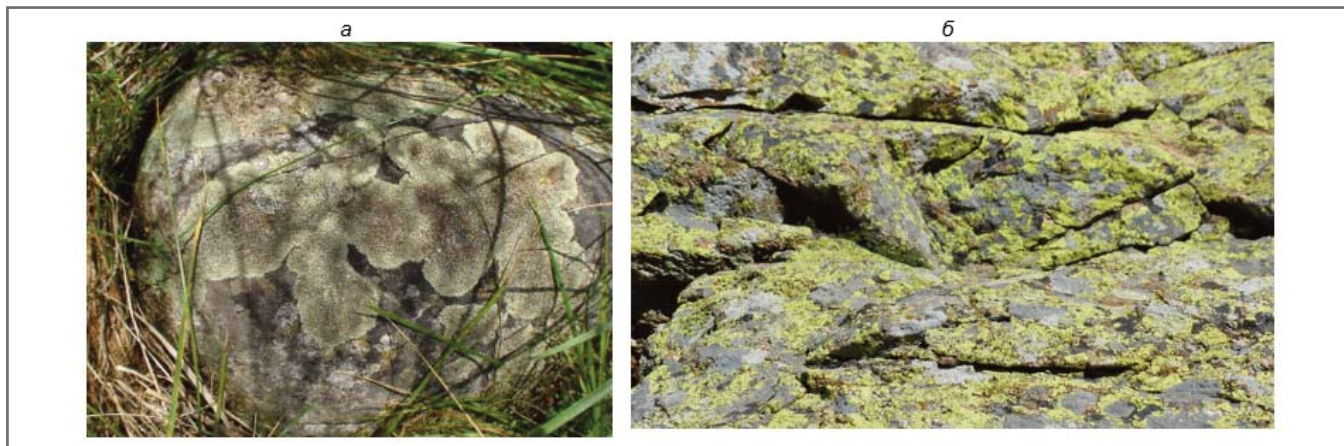


Рис. 4. Эпилитные лишайники: а – *Lecanora (Protoparmeliopsis) muralis* на валунах Соловецкого архипелага; накипные лишайники на скальных выступах [14]



Рис. 5. Сообщества лишайников (*Cetraria* sp., *Cladonia* sp. и др.) на скальных выступах в Хибинах (а, б) (фото С.Д.Балыковой)



Рис. 6. Лишайники: а – арктопормелия (*Arctoparmelia* sp.) на скалах, Карелия; б – кладония оленья (*Cladonia cf. rangiferina*), Карелия (фото С.Д.Балыковой)

Не менее интересна роль водорослей, селящихся на скальных выступах в прибрежной зоне литорали и sublиторали. В ряде мест сообщества на скальных водорослей выходят на поверхность, как например, в пляжной, приливной и прибойной зоне морских побережий (рис. 7).

Литофагофиты в основном представлены высшими растениями – папоротниками (*Polypodiophyta*), камнеломками (*Saxifragaceae*), очитками (*Sedum*), овсяницами (*Festuca*), сеслериями (*Sesleria*), колокольчиками (*Campanula*) и др. Среди кустарниковой и древесной растительности к ним относятся можжевельники

(*Juniperus*) и сосны (*Pinus*). При этом доминантами являются лишайники-эпилиты: именно они обуславливают начальные сукцессии при формировании на скалах фитоценозов и являются их важнейшим компонентом (рис. 4-6). Доминирующим фактором в развитии лишайникового покрова на скалах высту-

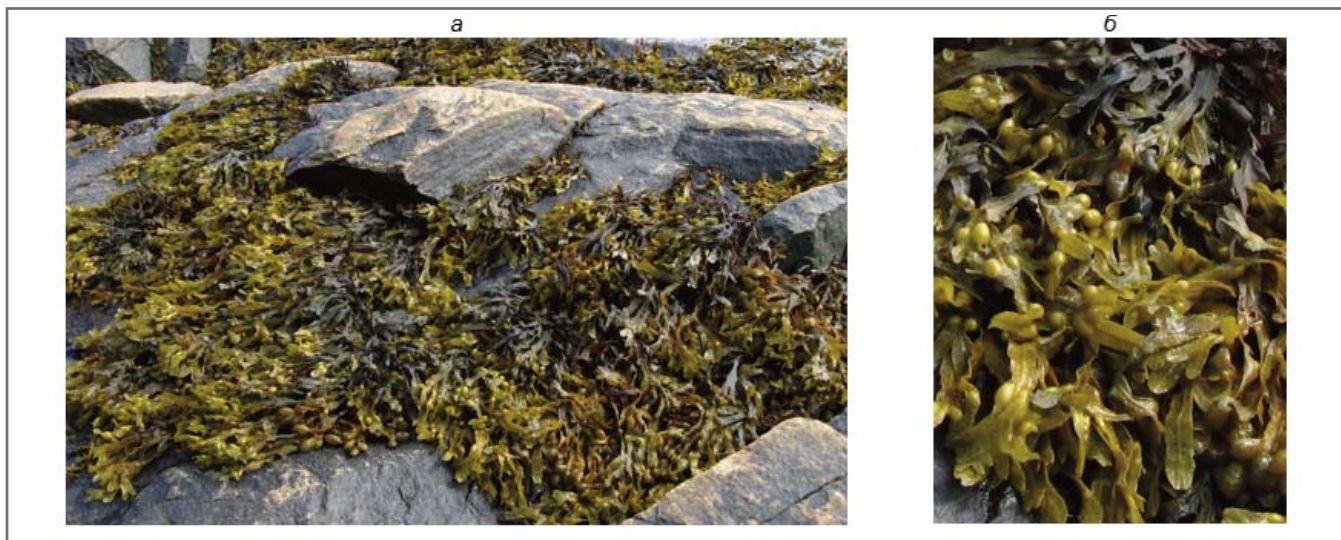


Рис. 7. Наскальные водоросли – фукус пузырчатый (*Fucus vesiculosus*), Карелия, а, б (фото С.Д.Балыковой)

пает световой, который связан с углом наклона скальной поверхности, что подтверждается исследованиями А.В.Сониной [30] на скальных массивах Северо-Запада России.

Что касается корневой системы, то произрастание растений на крутых склонах с развитыми процессами эрозии и выветривания приводит к оголению корня. В научной литературе [19] имеется описание эндемика меловых массивов, произрастающего на крутых склонах бедренца скального (*Pimpinella tragium*), распространенного в долинах Волги и Дона на меловых обнажениях (рис. 8). Это облигатный кальцефит меловых обнажений, произрастающий на склонах крутизной до 45-50 градусов. Проективное покрытие обнажений не превышает 55%, а в отдельных случаях составляет всего 5-20%. Это обусловлено произрастанием бедренца на меловом субстрате, верхний слой которого из-за сезонных смен температуры и влажности постепенно разрыхляется и вымывается при таянии снега и осадках. Небольшие по размерам особи этих растений либо вымываются, либо у более сильных особей происходит достаточно сильное – до 10 см – оголение корня, что существенно снижает срок жизни растения.

На массивах скальных грунтов разного минерального состава формируются фитоценозы, адаптированные к соответствующему субстрату. Так, например, на карбонатных скальных грунтах образуются фитоценозы с преобладанием кальцефитов (рис. 9).

Общими особенностями зооценозов ЭГС массивов скальных грунтов также является (см. табл. 1): 1) относительно небольшое разнообразие животных по сравнению с массивами дисперсных



Рис. 8. Бедренец скальный (*Pimpinella tragium*) на крутом склоне скального массива [38]

грунтов; 2) отсутствие подземных роющих животных, но наличие подземных пещерных комплексов; 3) меньшая биомасса животных; 4) неспособность влиять на развитие ЭГП; 5) проявление литофагии в биоминеральном комплексе скальных массивов. Зооценозы скальных массивов подчиняются широтной и высотной зональности [42].

Относительно небольшое разнообразие животного мира на скальных массивах меловых грунтов связано с экстремальными условиями существования. Например, особенностью отложений мела является слабая доступность для живых

организмов воды, содержащейся в микропорах, и особой тепловой режим обитаемого горизонта в связи с низкой теплопроводностью мела. Обитаемые горизонты меловых отложений в приповерхностной части массива (например, в Белгородской области) характеризуются более низкой температурой в летние месяцы и незначительной разницей дневных и ночных температур. Суточные вариации температуры на развитых почвах в Белгородской области на 4-20 °С превышают таковые на меловых массивах [23, 24].

В отличие от иных грунтов, скальные массивы представляют собой не очень



Рис. 9. Фитоценоз кальцефитов на массиве карбонатных грунтов, Крым (фото В.С.Королева)

благоприятный ресурс геологического пространства и среду обитания животных, т.к. они «трудно разрабатываются» роящими формами [2]. Лишь трещины, крупные поры и пустоты (включая пещерные) скальных массивов могут заселяться животными.

Еще одной особенностью меловых массивов является их высокая освещенность. Обладая высоким альбедо, мел способен обеспечивать дополнительный по отношению к другим источникам тепла нагрев тел, находящихся на его поверхности, что особенно сказывается на членистоногих, если они оказываются на «светлом» фоне. Даже кратковременный их выход на открытую поверхность мела грозит быстрым перегревом и потерей влаги. Поэтому выходы мела на поверхность обладают различной пригодностью для расселения живых организмов, в том числе членистоногих и других беспозвоночных. Скальные субвертикальные обнажения с протяженными узкими трещинами, в которые проникают корни растений и накапливается много органики, заселяются детритоядными мокрицами, хищными многоножками и пауками-засадниками из семейства *Clubionidae* и *Gnaphosidae*, на поверхности обнажений обитают пауки из семейства *Salticidae*. В основании обнажений, где скапливается меловой щебень и имеются обширные полости, в которые проникает дневной свет, попадает крупнодисперсная органика и поддерживается высокий уровень влажности, обитают мезо- и гигрофильные детритоядные членистоногие (мокрицы *Oniscidae*, кивсяки *Blaniulidae*, *Julidae*, чернотелки *Tenebrionidae* и др.), днем находятся сумеречные и избегающие

перегрева дневные хищники (например, жуки из семейств *Carabidae* *Staphylinidae*, *Histeridae*, *Lycosidae*, *Gnaphosidae*, *Lithobiidae*), а также пауки из семейств *Theridiidae*, *Agelenidae*, *Linyphiidae* [23,24].

Другой важной особенностью ЭГС массивов скальных грунтов является то, что отдельные типы скальных грунтов выступают как биоминеральные комплексы². Проявление литофагии в биоминеральных комплексах, развитых на массивах скальных грунтов, изучено Т.А. Подчасовой [20] на примере Сихотэ-Алинского вулканического пояса (туфы риолитового состава) и Телецкой разломной зоны Алтая (илисто-глинистые образования выветрелых гнейсов и сланцев). Биоминеральные комплексы подразделяются на две категории – литоморфные и гидроморфные. Гидроморфные комплексы формируются на основе минерализованных источников подземных вод и структурно приурочены к различным разрывным нарушениям. Литоморфные комплексы могут формироваться массивах скальных грунтов различного генезиса, и чаще всего, структурно приурочены к вулканическим поясам, либо к областям горных складчатостей. В результате процесса выветривания и цеолитизации материнских пород образуется минеральное вещество, привлекающее животных.

Скальные грунты природных биоминеральных комплексов, потребляемые животными, оказывают как сорбционное действие на организм животных, так и обогащать его недостающими химическими элементами. Установлено, что копытные животные на природных биоминеральных комплексах (в пределах различных геологических структур и

условий тепло-/влажнообеспеченности) потребляют полиминеральные смеси, в которых преобладают минералы коры выветривания с высокими сорбционными и ионообменными свойствами (цеолиты, глинистые минералы), кварц; потребляемые минеральные вещества и воды биоминеральных комплексов отличаются повышенным содержанием биодоступных форм редкоземельных элементов, преимущественно из подгруппы легких (La, Ce, Pr, Nd, Sm) [20].

Таким образом, массивы скальных грунтов, являющиеся литогенной основой формирующихся на них ЭГС, определяют специфические черты биотических компонентов этих систем – эдафотопов, микро-, фито- и зооценозов.

Заключение ►

Эколого-геологические системы (ЭГС), формирующиеся на массивах скальных грунтов, представляют собой сложные образования. Важнейшие особенности ЭГС массивов скальных грунтов в основном обусловлены их литогенной основой — скальными грунтами, обладающими специфическим составом, строением и свойствами. Состав и свойства литотопа во многом определяют свойства эдафотопа и видовой состав фитоценозов. Литотоп оказывает меньшее влияние на зооценозы, но в значительной мере определяет состав и свойства биоминеральных комплексов, потребляемых животными.

Характерной особенностью эдафотопа ЭГС массивов скальных грунтов является наследование минерального и химического состава материнской породы. Непосредственно на массивах скальных грунтов формируются фрагментарные, короткопрофильные почвы со слабо-развитым гумусовым горизонтом, а на коре выветривания этих массивов – развитые почвы с большим количеством органического вещества

3. Установлены характерные особенности фитоценозов ЭГС массивов скальных грунтов. Их доминантами являются лишайники-эпилиты, обуславливающие начальные сукцессии при формировании фитоценозов на скалах.

4. Отмеченные обстоятельства необходимо учитывать при анализе экосистем и ЭГС, формирующихся на массивах скальных грунтов, при их систематизации, инженерно-экологических изысканиях и геоэкологических исследованиях. ■

² Природный биоминеральный комплекс (БМ-комплекс) – это элементарная эколого-геологическая система, отличающаяся неполнотой компонентов и особенностями состава литотопа и зооценоза, в пределах которой животные потребляют полиминеральные смеси, представляющие собой продукты выветривания различных горных пород, а также воды смешанного генезиса с примесью взвешенных минеральных частиц [14].

Список литературы ▶

1. Виноградов Б.В. Основы ландшафтной экологии. - М.: ГЕОС, 1998. - 418 с.
2. Геологическое пространство как экологический ресурс и его трансформация под влиянием техногенеза /Авт: В. Т. Трофимов, Н. Д. Хачинская, Л. А. Цуканова и др. — М.: Академическая наука - Геомаркетинг, 2014. — 566 с.
3. Глазовская М.А. 1950. Влияние микроорганизмов на процессы выветривания первичных минералов // Изв. АН КазССР. Сер. почв. Вып. 6
4. Джураева З. Индикационное значение лишайников при определении некоторых литологических и инженерно-геологических условий в экосистемах аридных регионов // Лихеноиндикация состояния окружающей среды. — Таллин, 1978, —С. 114—117.
5. Добровольский В.В. География почв с основами почвоведения: Учеб. для геогр. спец. вузов. – М.: Высш. шк., 1989. – 320 с.
6. Драган Н.А. Почвенные ресурсы Крыма. - Симферополь: Доля, 2004. - 208 с.
7. Игошина К. Н. Особенности растительности некоторых гор Урала в связи с характером горных пород// Бот. журн. — 1960. — Т. 45. — №4. — С. 533—346
8. Королев В.А., Григорьева И.Ю. Эколого-геологические системы массивов лессовых грунтов // Инженерная геология. Том XVII, № 2. 2022. С. 42–64.
9. Королёв В.А., Трофимов В.Т., Харькина М.А., Григорьева И.Ю., Родькина И.А., Шанина В.В. Роль эколого-геологических систем в составе инженерно-экологических изысканий / Инженерно-экологические изыскания – нормативно-правовая база, современные методы и оборудование. Материалы Общероссийской научно-практической конференции (16 сентября 2022 г., Москва). - М.: Геомаркетинг, 2022, с. 26-33.
10. Королёв В. А., Трофимов В. Т. К построению общей классификации континентальных эколого-геологических систем // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2022а. № 1. — С. 54–61
11. Королёв В.А., Трофимов В.Т. Систематика водных (аквальных) эколого-геологических систем // Инженерная геология. 2022б. Т. 17, № 1. — С. 48–63.
12. Красильников Н. А. Микрофлора высокогорных скальных пород и азотфиксирующая ее деятельность // Успехи современной биологии. — М, 1956. — Т. 41. —№2. —С. 117—123.
13. Лихенофлора поселка Соловецкий и его окрестностей. <http://lichenhouse.narod.ru/29/2/1.htm> (дата обращения 09.02.2023)
14. Лишайники [электронный ресурс] <https://ngajigalileo.com/manfaat-lumut-kerak-lichenes-yang-jarang-diketahui-banyak-orang/> (дата обращения 09.02.2023)
15. Лобус И.А., Королёв В.А. Эколого-геологические системы песчаные в урбанизированной среде города Москвы // Экологические проблемы природо- и недропользования: Труды международной молодежной научной конференции. / Под ред. В. В. Куриленко. Т. 19. — Санкт-Петербург, СПбГУ, 2019. - С. 219–222.
16. Магомедова М. А. Сукцессии сообществ литофильных лишайников в высокогорьях Северного Урала // Экология. — 1979. — № 3. — С. 29—38.
17. Ниценко А. А. О процессах развития растительности на обнаженных скалах// Учен, записки ЛГУ. Серия биол. наук. Геоботаника. — 1951. — Вып. 30, № 143, —С. 86—111.
18. Одум Ю. Экология: В 2-х т. Т. 1. Пер. с англ. - М.: Мир, 1986. – 328 с.
19. Олейникова Е.М. Эндемичный кальцефит *Pimpinella tragium* Vill. (Ariaceae) на мелах Среднего Дона // Вест. ВГУ. Сер. География, Геоэкология, 2011, № 1. С. 179-183.
20. Подчасова Т.А. Эколого-геологические особенности природных биоминеральных комплексов в пределах исследованных охраняемых территорий Восточно-Сихотэ-Алинского вулканического пояса, Телецкой и Пшекиш-Тырныаузской разломных зон / Автореф, дисс. на соиск. уч. степени канд. гмн. - М.: МГУ, 2021. - 24 с.
21. Польшов Б. Б. Первые стадии почвообразования на массивно-кристаллических породах // Почвоведение. — 1945. — № 7. — С. 327—329.
22. Польшов Б.Б. К вопросу о роли элементов биосферы в эволюции организмов // Почвоведение. 1948, № 10. С. 601.
23. Присный А.В. Адаптация членистоногих к обитанию на меловых отложениях / Приспособление организмов к действию экстремальных экологических факторов. Матер. VII Международной научно-практ. экологической конф., г.Белгород, 5-6 ноября 2002 г. - Белгород: Изд-во БелГУ. 2002. С.69-75.
24. Присный А.В. Некоторые особенности биогеоценоза на скальном обнажении писчего мела в окрестностях Белгорода // Изв. Харьковского энтомол. о-ва. 1993. Т.1, вып. 1. С.106-116.
25. Реймерс Н.Ф. Экология. Теории, законы, правила, принципы и гипотезы. — М.: Россия молодая, 1994. — 366 с.
26. Рябова А.С. Характеристика микробных сообществ карстовых пещер Южного Урала (Шульган-Таш, Киндерлинская, Аскинская). // Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук. - Уфа, 2020. - 24 с.
27. Седелникова Н. В. Лишайники — индикаторы горных пород// Нетрадиционные методы в исследованиях растительности Сибири. — Новосибирск: Наука, 1982. —С. 35—40.
28. Семиколенных А.А. Микробиология пещер: история вопроса; задачи; типология пещерных местообитаний и микробных сообществ; ключевые проблемы // Сборник материалов 1-й общероссийской научно-практической конференции: «Проблемы экологии и охраны пещер: теоретические и прикладные аспекты» (Красноярск, 7-10 декабря 2001). – Красноярск, 2002. – С. 30-40.

29. Современная динамика литосферы и ее экологические последствия. / Под. ред. В.Т. Трофимова. - М.: Изд-во Московского университета, 2019. - 256 с.
30. Сони́на А.В. Эпилитные лишайники в экосистемах северо-запада России: видовое разнообразие, экология. // Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. биол. наук. - Петрозаводск, 2014. - 47 с.
31. Сукачев В.Н. О соотношении понятий «географический ландшафт» и «биогеоценоз» // Вопросы географии, 1949. № 16. С. 45-60.
32. Сушкина Н.Н., Цюрупа И.Г. 1973. Микрофлора и первичное почвообразование. М.: Изд-во Моск. ун-та. 157 с.
33. Теоретические основания геоэкологии как междисциплинарной науки. На базе концепции экологических функций абиотических сфер Земли. /Трофимов В.Т., Харькина М.А., Жигалин А.Д., Барабошкина Т.А., Королёв В.А., Григорьева И.Ю., Шанина В.В. - М.: Издательство Московского университета, 2022. – 717 с.
34. Трофимов В.Т. Эколого-геологическая система, ее типы и положение в структуре экосистемы // Вестник Моск. ун-та. Серия 4. Геология. 2009, №2. С.48-52.
35. Трофимов В. Т., Королёв В. А. Массивы песчаных грунтов как объекты эколого-геологических исследований // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2018. № 2. С. 59–65
36. Трофимов В. Т., Королёв В. А. Массивы песчаных грунтов как объекты эколого-геологических исследований // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология. 2018. № 2. С. 59–65
37. Трофимов В. Т., Харькина М. А. Экосистемный подход в нормативно-техническом документе России СП 502.1325800.2021 Инженерно-экологические изыскания для строительства. Общие правила производства работ // Инженерные изыскания. 2021. № 5-6. С. 42–49.
38. Флора степной части бассейна Дона. Атлас-определитель / Демин О.Н., Майоров С.Р., Щербаков А.В., Рогаль Л.Л., Дмитриев П.А., Петров Д.П., 2015. [электронный ресурс] <https://flora-don.sfedu.ru/> (дата обращения 9.02-2023)
39. Харькина М.А., Трофимов В.Т. Использование основ экосистемного подхода в нормативных документах на инженерно-экологические изыскания / Ломоносовские чтения. Секция геологии, подсекция инженерной и экологической геологии, - М.: Изд-во МГУ, 2022, с. 9-10.
40. Эколого-ресурсный потенциал Крыма. История формирования и перспективы развития. Т.2. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2017. - 260 с.
41. Ярилова Е. А. Роль литофильных лишайников в выветривании массивно-кристаллических пород // Почвоведение. 1947. № 9. — С. 533—548.
42. Cave Microbiomes: A Novel Resource for Drug Discovery / Ed. N. Cheeptham. – New York: Springer, 2013. – 143 p.
43. Saiz-Jimenez C. Cave Conservation: A Microbiologist's Perspective // Cave Microbiomes: A Novel Resource for Drug Discovery / Ed. N. Cheeptham. – New York: Springer, 2013. – p. 69-84.

References ►

1. Vinogradov B.V. Fundamentals of landscape ecology. - М.: GEOS, 1998. - 418 p.
2. Geological space as an ecological resource and its transformation under the influence of technogenesis / Author: V. T. Trofimov, N. D. Khachinskaya, L. A. Tsukanova et al. - М.: Akademicheskaya nauka - Geomarketing, 2014. - 566 p. .
3. Glazovskaya M.A. 1950. Influence of microorganisms on the processes of weathering of primary minerals // Izv. AN KazSSR. Ser. soils. Issue. 6
4. Dzhuraeva Z. Indicative value of lichens in determining some lithological and engineering-geological conditions in ecosystems of arid regions // Lichenoindication of the state of the environment. - Tallinn, 1978, - S. 114-117.
5. Dobrovolsky V.V. Geography of soils with the basics of soil science: Proc. for geogr. specialist. universities. - М.: Higher. school, 1989. - 320 p.
6. Dragan N.A. Soil resources of the Crimea. - Simferopol: Share, 2004. - 208 p.
7. Igoshina K. N. Features of the vegetation of some mountains of the Urals in connection with the nature of the rocks // Bot. magazine - 1960. - Т. 45. - No. 4. - S. 533-346
8. Korolev V.A. and Grogor'jeva I. Yu. Ecological and geological systems of massifs of loess soils // Engineering Geology. Volume XVII, No. 2. 2022. С. 42–64.
9. Korolev V.A., Trofimov V.T., Khar'kina M.A., Grogor'jeva I.Yu. The role of ecological and geological systems in the composition of engineering and environmental surveys / Engineering and environmental surveys - legal framework, modern methods and equipment. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference (September 16, 2022, Moscow). - М.: Geomarketing, 2022, p. 26-33.
10. Korolev V. A., Trofimov V. T. On the construction of a general classification of continental ecological and geological systems. Bulletin of the Moscow University. Series 4: Geology. 2022a. No. 1. - S. 54–61
11. Korolev V.A., Trofimov V.T. Systematics of water (aquatic) ecological and geological systems // Engineering Geology. 2022b. Т. 17, No. 1. — S. 48–63.
12. Krasilnikov N.A. Microflora of alpine rocks and its nitrogen-fixing activity // Successes of modern biology. - М, 1956. - Т. 41. - No. 2. -WITH. 117-123.
13. Lichen flora of the village of Solovetsky and its environs. <http://lichenhouse.narod.ru/29/2/1.htm> (accessed 09.02.2023)

14. Lichens [electronic resource] <https://ngajigalileo.com/manfaat-lumut-kerak-lichenes-yang-jarang-diketahui-banyak-orang/> (accessed 09.02.2023)
15. Lobus I.A., Korolev V.A. Ecological and geological sandy systems in the urban environment of the city of Moscow // Ecological problems of nature and subsoil use: Proceedings of the international youth scientific conference. / Ed. V. V. Kurylenko. T. 19. - St. Petersburg, St. Petersburg State University, 2019. - S. 219–222.
16. Magomedova, M.A., Successions of communities of lithophilic lichens in the high mountains of the Northern Urals, Ecology. - 1979. - No. 3. - S. 29-38.
17. Nitsenko A. A. On the processes of development of vegetation on exposed rocks // Uchen, notes of Leningrad State University. A series of biol. Sciences. Geobotany. - 1951. - Issue. 30, No. 143, —S. 86-111.
18. Odum Yu. Ecology: In 2 vols. T. 1. Per. from English. - M.: Mir, 1986. - 328 p.
19. Oleinikova E.M. Endemic calcephyte *Pimpinella tragioides* Vill. (Apiaceae) on chalks of the Middle Don // Vest. VSU. Ser. Geography, Geoecology, 2011, No. 1. S. 179-183.
20. Podchasova T.A. Ecological and geological features of natural biomineral complexes within the studied protected areas of the East Sikhote-Alin volcanic belt, Teletskaya and Pshkish-Tyrnyauz fault zones / Abstract of the thesis. for the competition uch. degree cand. gmn. - M.: MGU, 2021. - 24 p.
21. Polynov B.B. First stages of soil formation on massive crystalline rocks, // Eurasian Soil Sci. - 1945. - No. 7. - S. 327-329.
22. Polynov B.B. To the question of the role of elements of the biosphere in the evolution of organisms // Soil Science. 1948, No. 10. S. 601.
23. Prisny A.V. Adaptation of arthropods to living on Cretaceous deposits / Adaptation of organisms to the action of extreme environmental factors. Mater. VII International scientific and practical. Ecological Conf., Belgorod, November 5-6, 2002 - Belgorod: BelGU Publishing House. 2002. S.69-75.
24. Prisny A.V. Some features of biogeocenosis on the rock outcrop of writing chalk in the vicinity of Belgorod // Izv. Kharkiv entomol. islands. 1993. Vol. 1, issue. 1. S.106-116.
25. Reimers N.F. Ecology. Theories, laws, rules, principles and hypotheses. - M.: Young Russia, 1994. - 366 p.
26. Ryabova A.S. Characterization of microbial communities in karst caves of the Southern Urals (Shulgan-Tash, Kinderlinskaya, Askinskaya). // Abstract. diss. for the competition uch. Art. cand. biol. Sciences. - Ufa, 2020. - 24 p.
27. Sedelnikova N. V. Lichens as indicators of rocks // Non-traditional methods in the study of Siberian vegetation. - Novosibirsk: Nauka, 1982. -S. 35-40.
28. Semikolennyh A.A. Microbiology of caves: background; tasks; typology of cave habitats and microbial communities; key problems // Collection of materials of the 1st all-Russian scientific-practical conference: "Problems of ecology and protection of caves: theoretical and applied aspects" (Krasnoyarsk, December 7-10, 2001). - Krasnoyarsk, 2002. - S. 30-40.
29. Modern dynamics of the lithosphere and its ecological consequences. / Under. ed. V.T. Trofimov. - M.: Publishing House of Moscow University, 2019. - 256 p.
30. Sonina A.V. Epilithic lichens in the ecosystems of northwestern Russia: species diversity, ecology. // Abstract. diss. for the competition uch. Art. cand. biol. Sciences. - Petrozavodsk, 2014. - 47 p.
31. Sukachev V.N. On the relationship between the concepts of "geographical landscape" and "biogeocenosis" // Questions of Geography, 1949. No. 16. P. 45-60.
32. Sushkina N.N., Tsyurupa I.G. 1973. Microflora and primary soil formation. M.: Publishing House of Moscow. university 157 p.
33. Theoretical foundations of geoecology as an interdisciplinary science. Based on the concept of ecological functions of abiotic spheres of the Earth. / Trofimov V.T., Kharkina M.A., Zhigalin A.D., Baraboshkina T.A., Korolev V.A., Grigorieva I.Yu., Shanina V.V. - M.: Moscow University Publishing House, 2022. - 717 p.
34. Trofimov V.T. Ecological and geological system, its types and position in the structure of the ecosystem // Vestnik Mosk. university Series 4. Geology. 2009, No. 2. pp.48-52.
35. Trofimov V. T., Korolev V. A. Massifs of sandy soils as objects of ecological and geological research. Bulletin of the Moscow University. Series 4: Geology. 2018. No. 2. P. 59–65
36. Trofimov V. T., Korolev V. A. Massifs of sandy soils as objects of ecological and geological research. Bulletin of the Moscow University. Series 4: Geology. 2018. No. 2. P. 59–65
37. Trofimov V. T., Kharkina M. A. Ecosystem approach in the normative and technical document of Russia SP 502.1325800.2021 Engineering and environmental surveys for construction. General rules for the production of works // Engineering surveys. 2021. No. 5-6. pp. 42–49.
38. Flora of the steppe part of the Don basin. Atlas-identifier / Demin O.N., Mayorov S.R., Shcherbakov A.V., Rogal L.L., Dmitriev P.A., Petrov D.P., 2015. [electronic resource] <https://flora-don.sfedu.ru/> (accessed 9.02-2023)
39. Kharkina M.A., Trofimov V.T. Using the fundamentals of the ecosystem approach in regulatory documents for engineering and environmental surveys / Lomonosov Readings. Section of geology, subsection of engineering and environmental geology, - M.: Publishing House of Moscow State University, 2022, p. 9-10.
40. Ecological and resource potential of the Crimea. History of formation and development prospects. T.2. - St. Petersburg: VVM Publishing House, 2017. - 260 p.
41. Yarilova E.A. The role of lithophilic lichens in the weathering of massive crystalline rocks, // Eurasian Soil Sci. 1947. No. 9. - S. 533-548.
42. Cave Microbiomes: A Novel Resource for Drug Discovery / Ed. N. Cheeptham. - New York: Springer, 2013. - 143 p.
43. Saiz-Jimenez C. Cave Conservation: A Microbiologist's Perspective // Cave Microbiomes: A Novel Resource for Drug Discovery / Ed. N. Cheeptham. - New York: Springer, 2013. - p. 69-84.