

## НАУЧНЫЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 551.435.5(477.75)

© 2001 г. Б.А. ВАХРУШЕВ, А.А. КЛЮКИН

## КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ КРЫМСКИХ ЯЙЛ

Крымские горы, расположенные на юге полуострова, состоят из двух низких и среднегорной Главной гряды, достигающей высоты 1545 м над ур. моря. Блоковые массивы Главной гряды увенчаны платообразными поверхностями – яйлами. Они сложены верхнеюрскими известняками, изъедены карстовыми воронками и покрыты горно-луговыми степями. На плоских водоразделах и пологих склонах карстового рельефа яйл встречаются небольшие каменные многоугольники, кольца, сети, состоящие из дресвы, щебня и мелких глыб известняка. Обломки обрамляют куртины плотнодерновинных трав или образуют каменные пятна среди них. Они производят впечатление структурных грунтов перигляциальных областей (рис. 1).

Особенности морфологии и строения каменистых образований указывают на вымораживание слагающих их обломков из почв на поверхность, но в отличие от структурных грунтов криолитозоны здесь отсутствуют морозобойные трещины и не происходит сортировка каменного материала в горизонтальном направлении.

С морозным пучением в Крыму впервые столкнулись лесоводы. Высаженные в почву молодые растения в течение одного – пяти лет выжимались на поверхность. В связи с этим, на яйлах стала применяться более глубокая, чем обычно, посадка саженцев [1]. Последствия пучения прослеживаются и в естественном растительном покрове. На каменистых поверхностях встречаются вымороженные живые и погибшие растения со стержневой корневой системой. У некоторых многолетних трав и полукустарничков возрастом 10–15 лет корни обнажены на 10–15 см, что свидетельствует о средней скорости вымораживания 1,0–1,5 см/год.

Яркие признаки вымораживания обломков наблюдаются весной. Между обломками образуются валики выдавленной почвы высотой 1–3 см. А.Л. Уошборн [2] называет их "малыми кочками" и рассматривает как характерный элемент структурных грунтов. Первые валики-кочки появляются на поверхности в сентябре после понижения температуры воздуха до  $-3$  –  $-5^{\circ}\text{C}$ .

На каменистых поверхностях встречаются перевернутые обломки с лишайниками на нижней стороне и "свежие", вымороженные недавно, выделяющиеся светло-желтой окраской. Происходит шевеление обломков, некоторые из них поставлены на ребро или надвинуты друг на друга. Между камнями и почвой образуются щели шириной 1–5 см, которые также свойственны структурным грунтам [2, 3].

В специальной литературе по геоморфологии и мерзлотоведению понятие "структурные грунты" трактуется как собирательный термин, объединяющий разнообразные микроформы рельефа. Они распространены в основном в перигляциальных областях, но встречаются и в других природных обстановках, где важные грунты подвержены частому воздействию промерзания – протаивания [4–10]. А.Л. Уошборн [2, с. 123] подчеркивает: "многообразие структурных грунтов столь велико, что, думается, необходимы гораздо более обстоятельные исследования как основа будущих надежных обобщений".



Рис. 1. Структурные грунты на нижнем плато Чатырдага

Крымские горы, расположенные на юге умеренного пояса, не вошли в перечень регионов, где возможно проявление криогенных процессов и образование связанных с ними форм рельефа [11]. Криогенные явления здесь не отмечались и не исследовались. Рассматривалась только роль талых снеговых вод в образовании карстовых полостей нивально-коррозионного класса [12].

По климатическим условиям нагорные яйлинские плато не относятся к перигляциальным областям. На них нет многолетнемерзлых пород, не обнаружены следы плейстоценовых оледенений и реликтовые криогенные формы. Климат яйл влажный и избыточно-влажный с умеренно-холодной зимой, умеренно-прохладным и прохладным летом. Средняя годовая температура воздуха на абсолютной высоте 967 м (ГМС "Караби яйла") и 1180 м (ГМС "Ай-Петри") составляет соответственно 6,4 и 5,7°C (табл. 1). Среднее количество атмосферных осадков колеблется от 595 до 1052 мм/год. Около 40–50% этой суммы выпадает в виде снега. Снег перераспределяется ветром, частично или полностью стает вое время оттепелей. Снежный покров держится 30–155 дней. Средняя продолжительность морозного периода 205–215 дней. Отрицательные температуры на поверхности почв отмечались во все месяцы кроме июля. Абсолютный максимум и минимум достигали на Ай-Петри соответственно  $-32,0^{\circ}$  и  $+61,0^{\circ}\text{C}$ . Средняя температура почв на глубине 25 см в январе – марте отрицательная (от  $-0,2$  до  $-2,3^{\circ}\text{C}$ ). На глубине 20 см температура  $0^{\circ}\text{C}$  и ниже держится в среднем 49, а иногда и 106 дней в году [13]. Промерзание почв неустойчивое, во время оттепелей сменяется частичным или полным протаиванием (2–7 раз за холодный период года). Кроме того, маломощные влажные почвогрунты в местах отсутствия снега и растительности подвергаются многократному воздействию суточных циклов промерзания – протаивания. Все это благоприятствует морозному выветриванию пород, пучению грунтов, вымораживанию обломков, развитию криогенного крипа и солифлюкци.

Строение структурных грунтов исследовано в нескольких пунктах яйл Чатырдагского, Карабийского и Бабуганского горных массивов в пределах высот от 1050 м до 1420 м методом послыонного снятия грунта. Диаметр изученных каменных многоугольников и колец составляет 0,5–2,0 м. Их центральную часть занимают плотные куртины поликарпических трав, представленных осокой низкой (*Carex humilis* Leyss.) и типчаком – овсяницей скальной (*Festuca rupicola* Neuff.). На каменистых поверхностях, обрамляющих куртины, встречаются лишь единичные экземпляры невысоких полукустарничков и многолетних трав со стержневой корневой системой (*Helianthemum orientale* Grosser, *H. stevenii* Rupr. ex Yuz et Pozd., *Anthyllis biebersteiniana* (Taliev) Popl., *A. Macrocephala* Wend., *Minuartia aucta* Klok.,

Некоторые характеристики климата нагорных плато Крыма (по материалам ГМС "Ай-Петри")

Характеристика климата	Месяцы											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Средняя температура, град												
воздуха	-3,5	-3,6	-1,1	4,1	9,6	13,1	15,4	15,2	11,0	7,1	2,5	-1,2
на поверхности почвы	-4	-4	-2	7	15	19	21	20	14	7	2	-2
на глубине 25 см	-1,1	-2,3	-0,2	3,4								0,6
Абс. минимум температуры, град												
воздуха	-27,4	-26,5	-24,3	-15,0	-8,2	-1,6	3,5	1,0	-6,7	-16,0	-18,7	-21,1
на поверхности почвы	-32	-28	-22	-17	-7	-3	0	-1	-7	-12	-21	-25
Абс. максимум температуры, град												
воздуха	13,3	15,0	20,3	22,1	26,6	26,0	29,6	29,3	28,1	24,2	22,9	14,1
на поверхности почвы	15	25	32	50	59	61	60	59	51	41	30	19
Среднее количество осадков, мм	160	129	92	50	52	73	60	49	49	71	109	158
Испаряемость, мм	10	12	42	67	100	110	125	114	78	60	23	12
Коэффициент увлажнения	16,00	10,75	2,19	0,75	0,52	0,66	0,48	0,43	0,63	1,18	4,74	13,17
Число дней с метелью	7,8	7,1	5,9	1,4	-	-	-	-	-	0,5	2,2	4,9

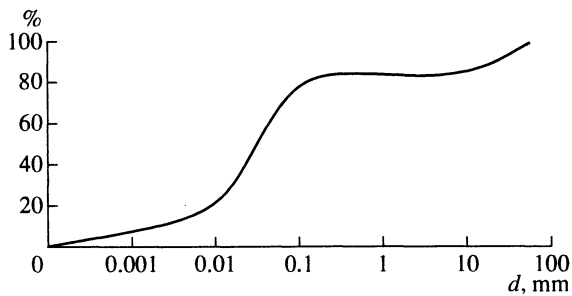


Рис. 2. Кумулятивная кривая гранулометрического состава почв крымских яйл

*Poterium polygamum* Waldst. et Kit. и др.). Растительность покрывает 30–60% площади развития структурных грунтов.

Рассмотрим отдельно почвенный разрез под каменным бордюром и центральной частью многоугольника, занятой растительностью. В строении каменной поверхности сверху вниз выделены 3 слоя.

1. **0–5 см.** Щебень и дресва известняков. Преобладает уплощенный щебень поперечником 2–10 см, единичные обломки достигают 15–20 см. Частицы более 5 см образуют горизонт толщиной в один камень и лежат в "гнездах" подстилающей поверхности слоя 2. Пространство между соседними обломками заполнено выдавленной снизу почвой.

2. **5–15 см.** Почва горно-луговая черноземовидная суглинистая с редкими обломками известняка поперечником 1–15 см. Книзу количество обломков возрастает до 10%. Некоторые уплощенные обломки поставлены на ребро.

3. **15–20 см.** Щебень и мелкие глыбы известняка, прерывистой разборной скалы, залегающие на неровной поверхности разбитых трещинами, выщелоченных верхнеюрских известняков. Преобладают уплощенный щебень и мелкие глыбы. Трещины между ними заполнены почвой, аналогичной слою 2.

В центральной части многоугольника под плотным растительным покровом и войлоком (2 см) лежит слой 2 горно-луговой суглинистой черноземовидной почвы мощностью около 10 см. В верхней части слой обогащен обломками известняка (10–20%). Преобладает уплощенный щебень поперечником до 10 см. Слой 1 каменного бордюра здесь отсутствует. Под почвой находится разборная скала, аналогичная слою 3, но ее кровля и подошва ближе к поверхности, чем под соседними участками, покрытыми камнями.

Мелкозем структурных грунтов (почв) обогащен гумусом, выщелочен, состоит в основном из алевроита (40–70%), тонкого песка (15–28%) и 9–15% глины (менее 0,005 мм). Медианный размер обломков колеблется от 0,025 до 0,045 мм. Кумулятивная кривая, построенная по результатам гранулометрического анализа нескольких проб, отобранных на Чатырдаге и Караби-Яйле, наглядно подчеркивает высокое содержание в почвах тонкопесчаноалевритистых фракций размером 0,1–0,005 мм (рис. 2).

Минеральная составляющая почв является нерастворимым остатком и продуктом криогипергенеза, поскольку существуют благоприятные условия как для растворения, так и для морозного выветривания известняков, конечный продукт которого, как известно, – алевроит [6, 14].

По гранулометрическому составу почвы относятся к пылеватым суглинкам и супесям, а по числу пластичности (9,7–11,7) – к пластичным грунтам – пылеватым суглинкам. Влажные пылеватые суглинки при промерзании, в отличие от песков и глин, предрасположены к пучению [2, 15]. Вода в них свободнее мигрирует к фронту промерзания, что сопровождается обильным льдовыделением. Такие грунты переходят в твердомерзлое состояние при температуре от –0,6 до –1,0°С.

В научной литературе описаны эксперименты, позволяющие оценить скорость вымораживания обломков на поверхность [2, 6, 15]. Такой эксперимент поставлен авторами на нижнем плато Чатырдага (1120 м над ур. моря) в 1986 г. В горно-луговые почвы пологого склона южной экспозиции были закопаны на глубине 5, 10 и 20 см по два типичных для структурных грунтов уплощенных обломка известняка поперечником 5–6 см. Через 3 года меченые частицы, оставленные на глубине 5 см, оказались на поверхности. Обломки, закопанные на глубине 10 см, через 5 лет после начала эксперимента были обнаружены в 7–

8 см ниже поверхности. С глубины 5 см обломки вымораживались со средней скоростью 1,67 см/год, а с глубины 10 см – 0,50 см/год. Эти значения близки к скорости выжимания из почв стержневых корней растений. Судя по результатам эксперимента и строению структурных грунтов, вымораживание обломков на поверхность происходит из почв мощностью до 20 см.

Структурные грунты питаются крупными обломками из разборной скалы. Плотные перекристаллизованные верхнеюрские известняки сравнительно быстро растворяются, но устойчивы к физическому выветриванию если в них нет трещин. Отделение морозным выветриванием обломков от глыбовой зоны элювия на глубине 15–20 см происходит медленно и неповсеместно. Поэтому структурные грунты не имеют обильного источника питания.

Там, где поверхность покрыта плотным растительным покровом, а почва хорошо армирована корнями, вымораживание обломков не происходит или процесс протекает очень медленно. Здесь нет следов разрыва дернины "растущими" камнями, не образуются валики-кочки и щели вокруг камней, не встречаются "свежие" и перевернутые обломки. Растительный покров и войлок, а также снег, задерживаемый растительностью, утепляет почву, что сказывается на уменьшении глубины и частоты ее промерзания-протаивания. Подошва почвы, вероятно, располагается ниже глубины сезонного промерзания, что исключает возможность вымораживания обломков из разборной скалы.

Образование разборной скалы и вымораживание ее обломков на поверхность зависит от влажности и частоты перехода температуры почв через 0°C. Поскольку в холодный период года нагорные плато хорошо увлажнены атмосферными осадками, то процессы будут проявляться в тех местах, где есть условия для частого промерзания-протаивания почв и подстилающих известняков – там, где мощность почв менее 20 см, поверхность обнажена и с нее сдувается снег. Промерзание-протаивание происходит чаще в малоснежные зимы, в периоды с частыми оттепелями и ясной солнечной погодой, благоприятствующей испарению снега. Кроме того, начало сезонного промерзания почв опережает образование устойчивого снежного покрова. На Ай-Петри средняя дата первого заморозка на почве приходится на 15 сентября, а средняя дата появления снежного покрова – на 10 ноября [13]. Коэффициент увлажнения в этот период времени возрастает с 0,63 до 4,74, а температура почвы может понижаться до  $-7$  –  $-21^{\circ}\text{C}$  (табл. 1). Таким образом, гидротермические условия крымских яйл благоприятствуют многократному в течение холодного периода года промерзанию-протаиванию маломощных почв и образованию структурных грунтов.

Пространственно-временная динамика криогенных процессов тесно связана с жизненным циклом растений – плотнодерновинных многолетних трав. Округлые дерновины осоки и типчака по мере разрастания объединяются в куртины и наступают на поверхности, занятые чехлом обломков, в связи с чем вымораживание камней из почвы в этих местах прекращается. В то же время старые растения, расположенные внутри сообществ, отмирают, и на их месте остаются голые пятна. Здесь начинается вымораживание обломков и образуются новые каменные кольца и многоугольники. Границы участков затухания и активизации криогенных процессов медленно перемещаются в пространстве. Пучение почв и вымораживание ограничивают возможности растений, появившихся из семян, особенно растений со стержневой корневой системой, заселять поверхности, покрытые камнями. К середине лета они частично зарастают, но в холодный период года большинство растений вымораживается и погибает.

Эволюция поверхностей, занятых структурными грунтами, зависит от изменения мощности почв. Если она будет уменьшаться, то процессы пучения и вымораживания сменяются выщелачиванием и морозным выветриванием известняков в условиях голого карста. Если мощность почв превысит 20 см, то вымораживание камней прекратится, а те обломки, что оказались на поверхности, будут измельчаться морозным выветриванием и выщелачиваться. При средней скорости химической денудации верхнеюрских известняков Крыма 42,9 мкм/год [16] типичный в структурных грунтах обломок известняка размером  $5,0 \times 4,0 \times 2,5$  см может исчезнуть за 300–600 лет, а с учетом дробления на части еще быстрее. На более мощной почве появится густой растительный покров, который будет сдерживать или ограничивать процесс пучения как своим тепляющим влиянием, так и армирующей ролью корневых систем. Пучение и вымораживание обломков уступят ведущую роль задернованному карсту и крипу.

Для карстового, эрозивно-карстового и структурного рельефа яйл характерны 5 парагенетических комплексов экзогенных процессов (табл. 2). Поверхности и склоны со структурными грунтами имеют небольшие размеры (до 1 га) и занимают не менее 5% площади нагорных плато.

Современные экзогенные процессы нагорных плато Крыма

Элементы рельефа	Крутизна, град.	Проективное покрытие растительностью, %	Строение	Экзогенные процессы
Обрывы моноклиальных гряд и карстовых воронок	40–90	0–5	Известняки	Морозное выветривание, карст, осыпи, камнепады
Склоны моноклиальных гряд, карстовых воронок, карстово-эрозионных образований, карстово-денудационных останцов	2–40	0–20	Известняки, почва (< 5 см) на известняках	Карст, морозное выветривание, делювиальный смыв, дефляция
Склоны карстово-денудационных останцов и поверхности плато	0–10	30–60	Почва (5–20 см) на известняках	Морозное пучение, вымораживание обломков, морозное выветривание, карст, делювиальный карст, крип, солифлюкция
Склоны карстово-денудационных останцов, карстово-эрозионных образований, карстовых воронок и котловин, поверхности плато	0–20	90–100	Почва (>20 см) на известняках	Карст, морозное пучение, крип
Склоны и днища карстовых воронок, котловин и карстово-эрозионных образований	0–10	80–100	Почва (> 20 см) на суглинках и глинах, щебень и глыбы известняка	Аккумуляция коллювия, делювия и пролювия, карст, суффозия, крип, солифлюкция, линейная эрозия

Нижняя граница перигляциальных явлений в горах Западной Европы, расположенных на юге умеренного пояса, опускается до абсолютных отметок 1500–1600 м [2]. Исследования, проведенные в Крыму, показали, что примитивные несортированные грунты могут встречаться и на более низких участках среднегорья. Они образуются во влажных пучинистых маломощных почвах, подверженных в холодный период года многократному промерзанию-протаиванию под воздействием сезонных и, особенно, суточных колебаний температур. С генетических позиций описанные образования относятся к структурным грунтам первичной морозной сортировки. Плотные дерновины осоки и типчака ограничивают структурные грунты и контролируют их форму.

Криогенные процессы сдерживают заселение поверхности растительностью и являются одним из факторов, определяющих безлесье яйл и мозаичность травянистого покрова.

Представленные материалы свидетельствуют, что нивальные процессы играют более значительную роль в формировании рельефа и коррелятных отложений средневысотных гор умеренного пояса, чем представлялось до сих пор.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алябьев М.Н. Лесные культуры на Никитской яйле // Бюлл. научно-техн. информации. Симферополь: Крымиздат, 1959. № 1. С. 28–33.
2. Уошборн А.Л. Мир холода. Геокриологические исследования. М.: Прогресс, 1988. 384 с.
3. Тимофеев Д.А., Втюрина Е.А. Терминология перигляциальной геоморфологии. М.: Наука, 1983. 319 с.
4. Боч С.Г. Наблюдения над формами микро- и мезорельефа в четвертичных отложениях, связанных с мерзлотными процессами // Методическое руководство по изучению и геологической съемке четвертичных отложений. Ч. 2. М.: Госгеолтехиздат, 1955. С. 298–345.
5. Шукин И.С. Общая геоморфология. Т. 2. М.: Изд-во МГУ, 1964. 564 с.
6. Суходровский В.Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М.: Наука, 1979. 280 с.
7. Райс Р.Дж. Основы геоморфологии. М.: Прогресс, 1980. 574 с.
8. Втюрина Е.А. Сезоннокриогенные горные породы. М.: Наука, 1984. 124 с.
9. Леонтьев О.К., Рычагов Г.И. Общая геоморфология. М.: Высшая школа, 1988. 384 с.
10. Общее мерзлотведение. Новосибирск: Наука, 1974. 291 с.
11. Геокриология СССР. Горные страны юга СССР. М.: Недра, 1989. 359 с.
12. Дублянский В.Н. Карстовые пещеры и шахты Горного Крыма. Л.: Наука, 1977. 183 с.
13. Климат и опасные гидрометеорологические явления Крыма. Л.: Гидрометеоздат, 1982. 318 с.
14. Конищев В.Н. Взаимосвязь состава и температуры криогенных почв и грунтов // Вестник МГУ. Сер. 5. География. 1998. № 1. С. 9–13.
15. Жигарев Л.А., Суходровский В.Л. Методика стационарных исследований криогенных рельефообразующих процессов // Методы полевых геоморфологических экспериментов в СССР. М.: Наука, 1986. С. 111–119.
16. Дублянский В.Н., Шутов Ю.И., Амеличев Г.Н. Оценка химической денудации карстовых массивов Горного Крыма // Геол. журнал. 1990. № 4. С. 37–39.

Таврический национальный университет  
им В.И. Вернадского, Симферополь

Поступила в редакцию  
10.05.2000

#### CRYOGENIC PROCESSES OF YAILAS IN CRIMEA

В.А. VAKHRUSHEV, А.А. KLYUKIN

#### Summary

The upper plateaus of Crimean mountains lie at height of 900–1500 m. The structural grounds were found at these plateaus. They have rounded, polygonal, stripped, reticulated pattern, are covered with limestone cobble and are surrounded by ‘bunches’ of sedge. They are formed in the areas of the wet blackearth-like loamy soils less than 20 cm thick which lie on the fissured limestone and are exposed to multifold freezing-thawing cycles.