

## КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ И ОБРАЗОВАНИЯ

УДК 551.345

### ТУФУРЫ ГОР И РАВНИН КАЗАХСТАНА

А.П. Горбунов, Э.В. Северский, С.Н. Титков

*Казахстанская высокогорная геокриологическая лаборатория Института мерзлотоведения РАН  
и Международного центра геоэкологии горных стран аридных районов (МЦГГ),  
480000, г. Алматы, а/я 138, Казахстан*

Исследования на равнинах и в горах Казахстана позволили установить, что средний диаметр туфуров колеблется в пределах 50—100 см, а их высота изменяется, как правило, от 30 до 50 см. Главными факторами, определяющими развитие этих образований, являются: характер почвенно-растительного покрова, влажность и температурный режим почвогрунта.

*Морозное пучение, состав и сложение почвогрунта, влажность, температура*

#### THUFURS OF MOUNTAINS AND PLAINS OF KAZAKHSTAN

A. P. Gorbunov, E. V. Seversky, S. N. Titkov

*Kazakhstan Alpine Laboratory of Permafrost Institute, Russian Academy of Sciences  
and International Center of Geoecology of Mountain Countries and Arid Regions (ICGM),  
480000, Almaty, Box 138, Kazakhstan*

Studies in the plains and mountain regions indicate that thufurs have an average diameter of 50 cm to 100 cm and average height of 30 cm to 50 cm. Thufurs are cryogenic in origin with their development being controlled by three major factors: soil texture, soil moisture, and soil temperature.

*Frost heaving, soil texture, soil moisture, soil temperature*

#### ВВЕДЕНИЕ

Одной из наиболее распространенных форм морозного пучения являются туфуры. В англоязычных публикациях широко используется термин „earth hummock“ или чаще просто „hummock“ (земляной бугор, бугорок). Термин был введен в обиход в 1942 г. Р. П. Шарпом [Sharp, 1942]. В русскоязычных публикациях, как и во многих других работах иностранных авторов, широко используется исландский народный термин „туфур“ (thufur).

Туфуры возникают за счет морозного пучения на увлажненных луговых участках, которые обычно приурочены к местам разгрузок подземных вод, к берегам озер, к низким речным террасам (как правило, это первая надпойменная терраса и высокая пойма), к различным небольшим понижениям рельефа и в других местах, где по каким-либо местным причинам наблюдается повышенная увлажненность почвы и подстилающего субстрата.

Размеры туфуров варьируют в широком диапазоне. Наиболее мелкие их разновидности

имеют высоту 20—30 см и примерно такой же диаметр у основания. Наиболее крупные достигают в высоту 100 см, поперечник их составляет 2 м, а иногда заметно больше. Обычно размеры туфуров таковы: поперечник 50—100 см, высота 30—50 см.

Скопления туфуров образуют туфуровые поля, их размеры достигают многих десятков и даже сотен тысяч квадратных метров.

Заметим, что в обобщающих сводках ближнего и дальнего зарубежья до сих пор крайне редко сколько-нибудь полные описания туфуров, особенно это касается тех из них, которые распространены за пределами областей вечной мерзлоты. В качестве примеров такого рода работ приведем фундаментальный труд А. Л. Уошборна [1988], монографию Х. Френча [French, 1976] и статью М. Сеппала [Seppala, 1987]. Туфурам же областей вечной мерзлоты посвящен ряд специальных публикаций. Одной из наиболее обстоятельных исследований в этой

сфере является статья К. Тарнокаи и С. Золтаи [Tarnocai, Zoltai, 1978]. Авторы в течение шести лет проводили исследования туфуров на Канадском Севере: в низовье р. Маккензи и на островах Канадского Арктического архипелага, между 62° и 75° с.ш. Изучались туфуровые поля на низменных и возвышенных равнинах, в меньшей степени — в горах. Авторы детально исследовали морфологию, строение, влажность и температурные условия многих сотен туфуров в 173 пунктах означенной территории. Они отмечают, что поперечник туфуров обычно около 1 м, а высота 40—60 см. Самые крупные туфуры могут достигать даже 4,4 м в поперечнике и 0,78 см в высоту. Но это весьма редкое исключение.

Минеральное ядро туфуров состоит от 58 до 99% из суглинка и глины, влажность его варьирует от 17 до 39%. Средняя плотность минерального ядра оценивается в 1,6 г/см<sup>3</sup>.

По мнению авторов, образуются туфуры за счет криостатического давления в замкнутом пространстве, т.е. между кровлей вечной мерзлоты и слоем сезонного промерзания, что приводит к выдавливанию минеральной массы вверх. Возраст 50 исследованных туфуров колеблется от 11 200 до 2400 лет. Авторы рассматривают туфуровые поля, находящиеся за пределами области вечной мерзлоты, как древние образования: они свидетельствуют о былой вечной мерзлоте в этих местах.

До сих пор отсутствует сколько-нибудь полная классификация туфуров, скудны сведения о их распространении, внутреннем строении. Особенно разноречивы суждения о их генезисе. Правда, сделана попытка расчленения туфуров на две группы в зависимости от их строения и размеров. К одной группе М. Сеппала [Seppala, 1987] относит собственно туфуры или земляные бугорки (earth hummocks), к другой — поуну (pouनु). Первые представляют взбугрения, высота и поперечник которых располагается в диапазоне 10 см и нескольких дециметров. Они приурочены не только к плакорам, но и к пологим склонам и склонам средней крутизны. Глинистое или суглинистое ядро туфура обычно подстилается песчаным, галечниковым или щебенистым горизонтом. Он, как правило, бывает в той или иной степени обводнен. Поуну (финский народный термин, который до сих пор еще не воспринят международной терминологией) имеет более крупные размеры: до 1 м в высоту и до 1,5 м в диаметре. Бугор, как и туфур, покрыт плотной дерниной. Под ней залегают торф. Его мощность обычно не более 0,6 м, а под ним — минеральный грунт. Между торфяным слоем и минеральным ядром часто формируется линза льда толщиной до 20 см. В летнее время ледяная

линза полностью разрушается и исчезает. Нечто подобное авторы наблюдали в долине Аличура (Восточный Памир), на абсолютной высоте 3800 м. О туфурах с ледяными линзами в зимнее время в этом месте известный исследователь Памира И.В. Райкова сообщила А.П. Горбунову.

Не ставя здесь задачу подробного анализа основных публикаций по туфурам горных регионов, отметим, что специальные исследования этих форм пучения были проведены на Кавказе И.В. Бондыревым [1978]. Туфуры часто рассматриваются и в работах, касающихся перигляциальной морфологии гор. В качестве примера упомянем публикацию А. Яна [1958] по Татам и Муруашвили [1960] по Кавказу.

### КАЗАХСТАН: РАСПРОСТРАНЕНИЕ, МОРФОЛОГИЯ И ГЕНЕЗИС ТУФУРОВ

Туфуры широко распространены на равнинных пространствах Казахстана. Они весьма характерны для Северного, Центрального и Восточного Казахстана. По межгорным котловинам туфуры прослежены до предгорий Заилийского Алатау и других горных сооружений Юго-Восточного Казахстана. Например, мелкие разновидности распространены на предгорной равнине даже в районе пос. Чилик, который находится в Алматинской области под 43°35' с.ш, на абсолютной высоте около 600 м.

Сведения о туфурах равнин западного Казахстана отсутствуют. Скорее всего, это связано с тем, что на эти незначительные по размерам образования исследователи не обращали внимания. Мы же там экспедиционные работы не проводили.

В горах Тянь-Шаня туфуры распространены выше 2 400 м, в низкогорном ярусе они отсутствуют. Это связано с тем, что в низкогорье весьма незначительна глубина сезонного промерзания: она, как правило, не выходит за пределы 2—3 десятков сантиметров, что определяется в конечном счете мягкой зимой, обусловленной температурными инверсиями холодного периода года.

Огромные туфуровые поля особенно характерны для слабонаклонных денудационных поверхностей высокогорий Джунгарского Алатау.

Туфуры широко распространены в межгорных и внутриворонных депрессиях, по днищам горных долин, где из-за застаивания холодных воздушных масс происходит глубокое сезонное промерзание почвы. Так, на востоке Северного Тянь-Шаня по долинам рек Текеса, Каркары, Кегени, Сарыжаса, Баянкола значительные по размерам туфуровые поля встречаются сравнительно низко: уже на высотах около 1 800 м над уровнем моря.

На востоке Казахстана, например, в Чиликитинской долине, которая располагается между горами Тарбагатай, Манырака и Саура, обширные поля туфуров распространены на высотах 1 000—1 400 м. В древней долине Иртыша, в отрогах Калбинского хребта, в междуречье Чары и Кокпекты туфуровые комплексы обнаружены на абсолютных высотах 700—750 м. Весьма характерны туфуровые поля для межсопочных понижений Центрального Казахстана на высотах 600—800 м. На некоторых из этих полей были выявлены перелетки [Горбунов, 1989а]. А в поймах рек Центрального Казахстана, например, по Тургаю, туфуры прослеживаются и на низменных пространствах, на абсолютных высотах 100—200 м.

Морфология туфуров равнинных пространств и гор Казахстана, в состав которых мы включаем и поуну, характеризуется следующими чертами:

Это обычно куполовидные взбурения, покрытые прочной осоковой или осоково-кобрезиевой дерниной, реже доминирует злаковая растительность (рис. 1). Склоны туфуров, как правило, достаточно крутые до 30—40°. Вершина их часто бывает уплощена. Иногда на ней возникают „лысинки“ (рис. 1, б). Это небольшие оголенные участки, развивающиеся вдоль напорных трещин, которые под воздействием разрушитель-

ной работы стебелькового льда расширяются и постепенно преобразуются в упомянутые „лысинки“.

Туфуры отделены друг от друга понижениями, ширина которых колеблется от 10 см до одного метра и несколько больше. Конечно, бывают и исключения. Бугорки на туфуровых полях большей частью расположены упорядоченно: обычно они образуют параллельные ряды или сетчатый рисунок. Однако бывает и так, что никакого заметного порядка в их пространственном размещении не отмечается: скопления туфуров отделены друг от друга относительно равными участками, протяженность которых измеряется многими метрами. Нужно иметь в виду, что такое неупорядоченное распространение туфуров часто указывает на то, что это не туфуровое поле, а группы вымораживаемых валунов. Такая картина бывает характерна для мест, где распространена вечная мерзлота.

Подчеркнем, что для формирования классических туфуров она совсем не обязательна. Валунные бугры пучения (это название было предложено в свое время А.П. Горбуновым [1964]) иногда достигают значительных размеров, до трех метров в диаметре, что не свойственно туфурам. Кроме того, у многих из них через разрывы дернины проглядываются валуны и глыбы. В таких местах часто обращают на себя внимание крупные каменные обломки, располагающиеся по соседству с буграми пучения. Они уже освободились от своего почвенного покрова. В тех случаях, когда они окружены целостным дерновым покровом, последний на контакте с валуном образует валик-кольцо, свидетельствующее о продолжающемся интенсивном пучении дерна и вымораживании самого валуна. Если же дернина вокруг валуна или глыбы полностью разрушена, то вместо валика возникает кольцеобразное понижение. Это свидетельствует о том, что процесс пучения либо прекратился, либо очень слабо проявляется. Поэтому он не фиксируется кольцеобразным валиком.

Внутреннее строение туфуров обычно характеризуется чередованием сверху вниз: дернины (15—20 см ее толщины), суглинка однородного или с включением небольших каменных обломков или пропластков торфа, слоя песка, галечника или щебня. Суглинистая толща образует ядро туфура, она и подвергается деформации в период морозного пучения. Это обстоятельство запечатлено в антиклинальных изгибах слоев суглинка. Мощность суглинистого ядра туфура обычно около 0,5 м. Песчаный или каменный слой, как правило, залегает на глубине около 1 м и является обычно водоносным.

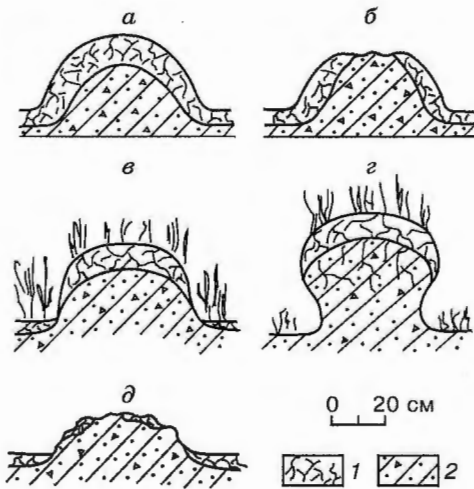


Рис. 1. Морфологические разновидности туфуров Чиликитинской долины.

а — куполовидная, б — усеченная: со срезанной и оголенной (без дернины) вершиной, в — тумбообразная с задернованной вершиной и частично оголенными склонами, г — грибообразная с оголенными склонами и межбугорными понижениями, такие формы характерны для заболоченных участков с высококорослой (до 1 м) злаковой растительностью Чиликитинской долины и подобных котловин; д — деформированный с фрагментами дерна на вершине и склонах. 1 — дернина, 2 — суглинок с включением песка, дресвы, щебня.



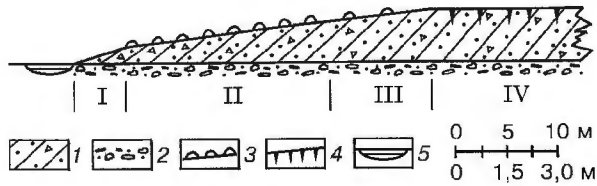


Рис. 2. Зависимость туфуров и полигональных образований от рельефа и глубины залегания грунтовых вод на ключевом участке Чиликтинской долины.

I — низкая пойма, II — высокая пойма, III — переход от поймы к террасовому уровню днища Чиликтинской долины, IV — днище долины. 1 — суглинок с включением каменистого материала, 2 — песчано-галечный водоносный горизонт, 3 — туфуры, 4 — полигональная система морозобойных трещин, 5 — русло реки. Масштаб — горизонтальный (вверху), вертикальный (внизу).

Так, в центральной части Чиликтинской долины на абсолютной высоте 1 053 м прослежена закономерная смена туфуров и морозобойных трещинных полигональных образований в зависимости от рельефа и глубины залегания грунтовых вод (рис. 2).

На низкой пойме, где уровень грунтовых вод находится на глубине не более 0,5 м, формируются заболоченные участки, на высокой пойме, где водоносный горизонт вскрывается на глубине от 0,5 до 1,2 м, развиты поля туфуров. При этом наиболее крупные туфуры высотой до 0,7 м формируются на участке, где грунтовые воды залегают на глубине 1—1,2 м. В переходной полосе от высокой поймы к террасовому уровню днища долины Чиликты, где уровень грунтовых вод находится на глубинах 1,2—1,5 м, распространены полигоны, образованные морозобойными трещинами, и редкие туфуры. В центральных частях некоторых полигонов заметны возвышенности, видимо, формирующиеся туфуры. Приведенная схема (см. рис. 2) позволяет заключить, что на участках, где грунтовые воды находятся на глубинах от 0,5 до 1,2 м создаются наиболее благоприятные условия для быстрого роста туфуров. При увеличении глубины залегания грунтовых вод эти условия ухудшаются и рост туфуров идет несравненно медленнее.

До сих пор самым сложным остается вопрос о генезисе туфуров. Нет сомнения, что их формирование происходит за счет морозного пучения. Ясно, что туфуры могут образоваться как в условиях вечной мерзлоты, так и вне ее, при глубоком сезонном промерзании.

Некоторые исследователи пытаются связать формирование туфуров со средними годовыми температурами воздуха. Например, японские ав-

торы полагают, что южной границей распространения туфуров на островах Японии является изотерма средних годовых температур воздуха 6 °С [Уошборн, 1988]. По нашим данным, в Казахстане туфуры могут быть достаточно активными при средних годовых температурах воздуха 8—9 °С. Но это относится к бесснежному району, где небольшой снеговой покров сдувается сильными зимними ветрами (район пос. Чилик, Алматинской обл.). Одни исследователи считают, что формированию туфуров препятствует высокий уровень грунтовых вод, другие исследователи с этим не согласны [Уошборн, 1988].

По нашим представлениям, образование туфуров предопределяется избирательным морозным пучением увлажненной луговины. Первоочередному морозному пучению подвергается любое микроповышение на лугу. Таковыми могут быть незначительные по высоте (всего несколько сантиметров) участки, расположенные между морозобойными трещинами или трещинами усыхания, места, находящиеся между скотобойными тропинками, или между линейными понижениями эрозионного генезиса. Последнее обычно характерно для пологих или средней крутизны склонов. Микроповышения могут возникать и при проседании дернового покрова, вызванного суффозией или какими-либо другими явлениями.

Механизм сезонного промерзания, приводящий к формированию туфуров, представляется в следующем виде. Промерзание начинается с наиболее охлажденных повышений. Процесс может усугубляться еще и тем, что в понижениях рельефа лежит снег, который защищает почву от промерзания, что более увеличивает разность температур между повышениями и понижениями рельефа. Промерзание определяет миграцию влаги и минеральных частиц к фронту промерзания, т.е. к микроповышениям. Повторения из года в год этого явления приводит к перераспределению минеральных частиц на лугу: под микроповышениями слой суглинка или ила становится толще, а под микропонижениями — тоньше. Иногда в последних этот слой вообще исчезает и дернина лежит непосредственно на песчаном или каменистом субстрате. Видимо, толщина суглинистого слоя напрямую свидетельствует о возрасте туфуров.

Возможен другой механизм образования туфуров. Первоочередное промерзание (при отсутствии снега) может начаться по морозобойным трещинам или по трещинам усыхания, если они открыты. В них возможно проникновение холодного воздуха. В этом случае возникает полужамкнутое пространство. Следствием этого яв-

ляется выдавливание грунта вверх между трещинами. Приведем в качестве иллюстрации одно наблюдение.

В котловинке небольшого высохшего озера в районе Наурзумского заповедника ( $51^{\circ}30'$  с.ш. и  $64^{\circ}20'$  в.д.), что в Костанайской области очень наглядно представлена стадийность развития туфуров. От внутренней части котловинки к ее периферии прослеживаются три последовательные стадии формирования бугров пучения:

начальная — полосы озерного суглинка без растительного покрова, ограниченные трещинами усыхания, которые протягиваются в направлении к центру котловинки. В поперечном сечении полосы слегка выпуклы;

средняя — достаточно выраженные в рельефе полосы пучения с разреженной растительностью. Полосы разбиты поперечными трещинами-ложбинками на отдельные блоки. Поперечные трещины возникли, видимо, за счет напряжений, вызванных сезонным промерзанием;

заключительная — цепочки типичных туфуров с дерновым покровом, возникшие из блоков в пределах полос. Их диаметр до 2 м, высота около 0,5 м.

Формирование этих туфуров, видимо, началось в 20-е гг. XX в., когда в Казахстане и Средней Азии началось повсеместное и очень сильное снижение уровня воды в озерах [Шнитников, 1957]. Следовательно, возраст зрелых туфуров в 1980 г., когда они были обследованы, составлял около 60 лет. Не исключено, что их формирование началось еще в 60-е гг. XIX в., когда имело место также очень сильное усыхание озер. Тогда их возраст не менее 110 лет. И в том, и в другом случае, они развивались при глубоком сезонном промерзании (не менее 1,5 м), а не в условиях вечной мерзлоты.

Вывод исследователей Канадского Севера о том, что туфуры образуются только в условиях вечной мерзлоты, не согласуется с нашими наблюдениями в Тянь-Шане. Во всяком случае, на высотах более 2 600 м они отличаются активностью и развиваются в наши дни даже там, где вечная мерзлота отсутствует. Об этом свидетельствуют приводимые ниже материалы. Но нельзя полностью отрицать фактор вечной мерзлоты. Возможно, что первоначальное формирование туфуров начинается в условиях вечной мерзлоты, но далее, когда уже возникли достаточно выраженные бугорки пучения, за счет пространственной неравномерности сезонного промерзания идет дальнейшее развитие туфуров уже в обстановке отсутствия вечной мерзлоты. Не исключено, что туфуры поля в межпочочных понижениях Центрального и Восточного Казахстана (район пос. Кайнар, Чиликтинская кот-

ловина и др.) свидетельства былого многолетнего промерзания в наиболее холодные этапы голоцена. Мелкие же туфуры образования типа тех, которые встречаются в окрестностях Чилика (Алматинская обл.) с вечной мерзлотой не связаны, а определяются относительно глубоким сезонным промерзанием (более 0,5 м) на бесснежных участках лугов, высокой влажностью почвы, близким залеганием грунтовых вод, но главное — большой антропогенной нагрузкой. Последняя выражается в том, что именно на лугах полупустынных или пустынных пространств интенсивно выпасается скот, что приводит к образованию многочисленных скотобойных тропинок, которые и обуславливают первоначальные неровности поверхности. Это определяет крайне неравномерное промерзание почвы от места к месту, что способствует формированию мелких полигонов. О роли тропинчатости в образовании туфуров в Татрах писал еще А. Ян [1958].

Такова общая схема формирования туфуров, но многие детали этого процесса остаются неясными. Выяснение их требует проведения многолетних стационарных наблюдений на различных по морфологии туфурыных полях с применением датчиков, регистрирующих температуры, влажность и криостатическое давление в минеральном ядре туфура. В настоящее время не вызывает сомнения, что процесс формирования туфуров контролируется тремя главными факторами — температурными условиями, влажностью грунта, а также строением почвенного покрова и подпочвенного субстрата.

О возрасте туфуров приводятся самые различные оценки. Выше уже говорилось о возможном возрасте этих бугров в районе Наурзумского заповедника. Туфурыное поле, расположенное в окрестности Большого Алматинского озера (Зайлийский Алатау), судя по возрасту горного обвала, начало формироваться не более 2 000 лет тому назад [Горбунов, 1989б]. Напомним, что по данным канадских исследователей [Tarnocai et al., 1978], возраст туфуров Канадского Севера варьирует от 11 200 до 2 400 лет, а упомянутые выше туфуры Чиликтинской долины — голоценового возраста.

Ясно, что необходимо дальнейшее накопление фактов для каких-либо определенных заключений на этот счет.

#### ДИНАМИКА ТУФУРОВ: МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Туфуры Тянь-Шаня с разной детальностью рассмотрены в ряде публикаций [Горбунов, 1964; 1970; Горбунов и др., 1996; Titkov et al., 1993]. Однако сам процесс их динамики в холодную

часть года в Тянь-Шане и в других горах Средней Азии до сих пор не изучался.

Наши наблюдения за этим процессом проводились на туфуровом поле в окрестности Большого Алматинского озера (Заилийский Алатау) на абсолютной высоте 2 650 м. Здесь, в тыловой части 1-й надпойменной террасы ручья Мраморный (левый приток р. Бол. Алматинка), располагается поле туфуров длиной около 100 м и шириной до 20 м, которое причленяется к подножию уступа 2-й террасы, высотой 1,5—2 м. Поверхность террасы в этом месте имеет общий уклон 4—6° к северо-востоку и сплошь покрыта разнотравным альпийским лугом. Терраса сложена аллювиально-пролювиальными отложениями, состоящими из щебня и дресвы (30%), песка (30%) и мелкозема (40%). Поверхностный слой толщиной 20—25 см представляет собой оторфованную дернину.

Всего на участке насчитывается около 700 туфуров, расположенных преимущественно неправильными рядами, которые протягиваются по направлению уклона поверхности (рис. 3, а). Бугры в плане имеют округлую или слегка вытянутую форму, их размеры достигают 1 м в диаметре или по длинной оси, а превышение над междутуфуровыми понижениями до 25—30 см (рис. 3, б).

Возникновение поля туфуров на этом участке 1-й надпойменной террасы связано с близким залеганием грунтовых вод, промерзанием в условиях открытой системы и действием криостатического давления, что в достаточно протяженном промерзающем массиве увлажненного грунта приводит к ячеистому (дециметровой размерности) распределению напряжений в нем. Неравномерное распределение напряжений в

массиве обуславливает деформации приповерхностного слоя грунта, обладающего тиксотропными свойствами. Основными условиями таких деформаций являются определенные характеристики пластичности и текучести, различия в объемном весе и влажности. Криостатическое давление и величина температурного градиента определяют степень нарушения всей нестабильной системы промерзающего массива. Дальнейшее развитие процесса ведет к миграции влаги к повышенным участкам поля, промерзающим в первую очередь, т.е. к туфурам. Это определяет формирование в их порах линз сегрегационного льда, что усиливает процесс пучения.

В зрелой стадии развития рост туфуров прекращается или становится незначительным, достигнув критической высоты (около 1 м) они начинают интенсивно разрушаться.

Наблюдения за динамикой процессов пучения на упомянутом туфуровом поле проводились с июня 1996 г. по апрель 1997 г. Для этого вблизи тылового шва 1-й надпойменной террасы, где туфуры наиболее развиты, был установлен пучиномер. Он представляет собой горизонтально установленную штангу из стального уголка, которая неподвижно укреплена на двух стойках, заглубленных в грунт на 2 м. Расстояние между стойками 2,15 м. Штанга проходит над поверхностью двух туфуров и разделяющим их понижением. В горизонтальной поверхности штанги на расстоянии 15 см были просверлены 11 отверстий, в которые вставлены изготовленные из тонкого прутка измерительные планки (репера) с металлическими „пятками“ на нижних концах. Последние свободно стояли на задернованной поверхности, а зимой примерзали к ней.



Рис. 3. Туфуровое поле у руч. Мраморный.

а — общий вид; б — разрез туфура с мерзлым ядром, конец апреля.



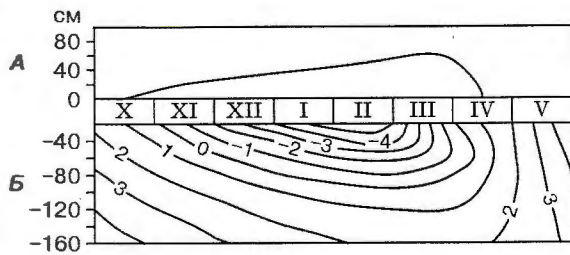


Рис. 4. Динамика температур на туфуровом поле у руч. Мраморный с октября 1996 г. по май 1997 г.

A — толщина снежного покрова, см; B — почвогрунт, глубина проникновения изотерм, см.

Процесс промерзания на туфуровом поле начинается в середине октября и с наибольшей интенсивностью (около 25—30 см/мес) идет до конца декабря (рис. 4). На этот же период приходится и наиболее активный период пучения.

До конца первой декады ноября пучение практически не выражено, пока фронт промерзания не достигнет расположенного под почвенно-дерновым слоем влагонасыщенного горизонта, суммарная влажность грунта в котором к началу промерзания составляет 50—55%. После этого начинается интенсивное льдовыделение, которое за первые полтора месяца (до конца декабря) приводит к поднятию поверхности со скоростью 4—5 мм в день. Всего в этот период пучение составляет 70—75% от суммарной величины за весь сезон промерзания. Так, на левом бугре с 11 ноября по 22 декабря 1996 г. пучение составило в среднем 8 см, на правом — 8,5 см, а в понижении между ними — 7 см (рис. 5).

В первой половине января нулевая изотерма достигает глубины 70—75 см (см. рис. 4), после чего интенсивность промерзания уменьшается. Одновременно резко (в 5—6 раз) уменьшается и скорость процесса пучения, что связано как с замедлением темпа промерзания, так и, по-видимому, с уменьшением влажности промерзающего грунта с глубиной.

В середине марта максимальная глубина промерзания составляет около 1 м, а к началу апреля начинается протаивание как снизу, так и сверху, причем сверху этот процесс обусловлен парниковым эффектом внутри снежной толщи. Так 5 апреля 1997 г. при толщине снежного покрова 55 см нулевая изотерма находилась на глубине 15 см. К этому времени или раньше пучение прекращается, но поверхность остается на прежнем уровне благодаря наличию льдистого мерзлого ядра до глубины 80 см. С середины апреля в ходе протаивания мерзлого слоя на-

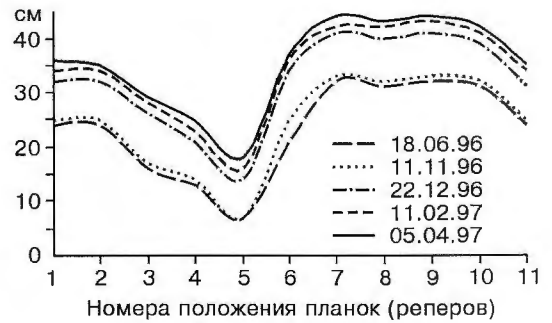


Рис. 5. Динамика морозного пучения на туфуровом поле у руч. Мраморный.

На врезке — положение поверхности почвы на конкретную дату. Расстояние между пленками (реперами) — 15 см.

чинается опускание поверхности, и цикл завершается в первой половине мая.

Таким образом, за весь период средняя величина пучения на левом бугре составила 11,5 см, на правом — 12,2 см, в ложбине 10,1 см, максимальная — 14,6 см (планка № 6, см. рис. 5). Обращает на себя внимание слабая дифференцированность вертикального движения поверхности между буграми и разделяющей их ложбиной. На наш взгляд, это является признаком того, что бугры на рассматриваемой поляне находятся в зрелой стадии развития, когда основной процесс перераспределения материала завершился, криостатические напряжения уже недостаточны для выжимания новых порций грунта при данных его механических свойствах и сезонные процессы пучения действуют достаточно однородно по всей площади, занятой туфурами.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Туфуры — типичные формы морозного пучения и для равнин, и для гор Казахстана. На равнинах они распространены в местах глубокого сезонного промерзания, т.е. на бесснежных или малоснежных участках, но с повышенной влажностью почвы. Наиболее крупные их разновидности отмечены на луговинах (сазах), где время от времени возникают перелетки и там, где в холодные эпохи голоцена возникли маломощные массивы вечной мерзлоты. В горах Тянь-Шаня, Джунгарского Алатау, Саур-Тарбагатае и на Алтае туфуры распространены в высокогорье и частично в среднегорье, как в поясе вечной мерзлоты, так и за его пределами. Присущи они днищам межгорных и внутригорных котловин Юго-Восточного Казахстана.

Современные туфуры гор Казахстана характеризуются заметной активностью, о чем свиде-

тельствуют стационарные исследования в горах Заилийского Алатау. Зимние полевые наблюдения и опросные материалы позволяют констатировать активность морозного пучения на туфуровых полях равнинного Казахстана.

Изучение туфуров рассматриваемого региона требует решения ряда проблем. Среди них отметим необходимость совершенствования классификации этих форм, выяснение особенностей их развития путем многолетних режимных наблюдений, определение их абсолютного возраста и воздействия антропогенного фактора на их развитие.

Авторы статьи выражают свою признательность за помощь в проведении полевых работ инженерам М.В. Попову и Б.К. Дрокину, за подготовку рукописи к публикации, научным сотрудникам лаборатории С.С. Марченко и С.В. Ударцеву.

### Литература

- Бондырев И.В. О туфурах Кавказа // Криогенные явления высокогорий. Новосибирск, Наука, 1978, с. 36—42.
- Горбунов А.П. Сазово-луговой криогенный комплекс долины реки Туюк-Чокыр-Корум // Гляциологические исследования на Тянь-Шане. Фрунзе, Изд-во АН КиргССР, 1964, с. 77—84.
- Горбунов А.П. Мерзлотные явления Тянь-Шаня. М., Гидрометеоздат, 1970, 266 с.
- Горбунов А.П. Перелетки Казахского мелкосопочника // Гео-криологические исследования в горах СССР. Якутск, Институт мерзлотоведения СО АН СССР, 1989а, с. 40—48.
- Горбунов А.П. О возрасте Большого Алматинского озера // Изв. АН Казахской ССР, Сер. геол., 1989 б, № 4, с. 78—80.
- Горбунов А.П., Северский Э.В., Титков С.Н. Гео-криологические условия Тянь-Шаня и Памира. Якутск, 1996, 194 с.
- Мурашвили Л.И. Перигляциальная морфология Кавказа // Перигляциальные явления на территории СССР. М., Изд-во МГУ, 1960, с. 249—266.
- Уошборн А.Л. Мир холода. Гео-криологические исследования. М., Прогресс, 1988, 382 с.
- Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. М.-Л., Изд-во АН СССР, 1957, 337 с.
- Ян А. Перигляциальный микрорельеф Татр и Бабьей Горы // Biuletyn Peryglacialny, N 6, 1958, с. 337—353.
- French H. M. The periglacial environment. London. Longman Group Limited, 1976, 309 p.
- Seppala M. Periglacial phenomena of northern Fennoscandia // Periglacial processes and landforms in Britain and Ireland. 1987, Cambridge University Press, 1987, p. 45—55.
- Sharp R. P. Soils structures in the St. Elias Range, Yukon Territory // J. Geomorphol., 1942, 5, p. 274—301.
- Tarnocai C., Zoltai S.C. Earth Hummocks of the Canadian Arctic and Subarctic // Arctic and Alpine Research, 1978, vol. 10, N 3, p. 581—594.
- Titkov S.N., Zhaolin and Zin Huijun. Comparative characteristics of frost — heaving features in the ranges of Zailiysky Alatau, Kalaucheng and Bogdashaan // Studies of Alpine Permafrost in Central Asia. I. Northern Tien Shan, Yakutsk, 1993, p. 50—53.

Поступила в редакцию  
5 мая 1998 г.