

## КРИОГЕННЫЕ И ПОСТКРИОГЕННЫЕ ОБРАЗОВАНИЯ НА ОСТРОВЕ ОЛЬХОН

А.Н. Хименков<sup>1</sup>, Д.О. Сергеев<sup>1</sup>, А.Н. Власов<sup>1,2</sup>, Е.А. Козырева<sup>3</sup>,  
А.А. Рыбченко<sup>3</sup>, А.А. Светлаков<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Институт геоэкологии имени Е.М. Сергеева РАН, 101000, Москва, Уланский пер., 13, Россия; [cryo@geoenv.ru](mailto:cryo@geoenv.ru)

<sup>2</sup>Институт прикладной механики РАН, 125040, Москва, Ленинградский пр., 7, Россия; [bah1955@yandex.ru](mailto:bah1955@yandex.ru)

<sup>3</sup>Институт земной коры СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия; [kozireva@crust.irk.ru](mailto:kozireva@crust.irk.ru)

Впервые проведены комплексные геокриологические исследования на северном побережье острова Ольхон (озеро Байкал). Данная территория расположена у южной границы распространения многолетнемерзлых пород и характеризуется высокой аридностью. Изучены современные криогенные и посткриогенные явления, описаны морфологические и морфометрические показатели мерзлотного рельефа. Приведены результаты годовых автоматизированных почасовых геотемпературных наблюдений. Проанализировано влияние микроландшафтных условий на динамику многолетнемерзлых пород степных территорий. Рассмотрено разностороннее воздействие криогенного фактора на склоновые процессы.

*Островная мерзлота, аридный климат, криогенный фактор, склоновые процессы*

### CONTEMPORARY AND PALEO-CRYOGENIC FORMATIONS ON OLKHON ISLAND

A.N. Khimenkov<sup>1</sup>, D.O. Sergeev<sup>1</sup>, A.N. Vlasov<sup>1,2</sup>, E.A. Kozireva<sup>3</sup>, A.A. Rybchenko<sup>3</sup>, A.A. Svetlakov<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sergeev Institute of Environmental Geoscience, RAS, 101000, Moscow, Ulansky per., 13, Russia; [cryo@geoenv.ru](mailto:cryo@geoenv.ru)

<sup>2</sup>Institute of Applied Mechanics, RAS, 125040, Moscow, Lenigradsky pr., 7, Russia; [bah1955@yandex.ru](mailto:bah1955@yandex.ru)

<sup>3</sup>Institute of Earth Crust, SB RAS, 664033, Irkutsk, Lermontova str., 128, Russia; [kozireva@crust.irk.ru](mailto:kozireva@crust.irk.ru)

For the first time the complex geocryological investigations have been fulfilled on the northern coast of Olkhon Island, Lake Baikal, near the south border of permafrost. The island landscapes are very arid desert-steppes. The information on the contemporary cryogenic and postcryogenic phenomena has been obtained. The morphologic and morphometric characteristics of permafrost relief and the results of the automatic hourly geotemperature observations have been described. The influence of microlandscape conditions on the dynamics of permafrost in the stepp areas has been analyzed. Different variants of the impact of the cryogenic factor on the slope processes have been considered.

*Sporadic permafrost, arid climate, cryogenic factor, slope processes*

### ВВЕДЕНИЕ

В течение 2012–2013 гг. сотрудниками Института геоэкологии РАН, Института прикладной механики РАН и Института земной коры СО РАН проводились комплексные геокриологические исследования северо-западной степной части о. Ольхон. Данная территория в геокриологическом отношении остается слабоизученной, работ по данной теме очень мало. На схематической геокриологической карте Ф.Н. Лещикова и Н.Е. Зарубина [1967] территория острова отнесена к области редкоостровного распространения многолетнемерзлых пород (ММП) с температурами  $-0.2...-0.5$  °С и мощностью 9–30 м. В пределах острова отмечаются две точки с мощностью ММП 23 и 30 м. При этом ландшафтная обстановка, привязка, метод получения и источник информации не приводятся [Лещиков, Зарубин, 1967]. Ю.К. Васильчуком выделены здесь мерзлотные торфяные бугры пучения [Васильчук и др., 2013]. На юге

острова, в разрезе залива Загли, описаны псевдоморфозы по ледяным жилам [Мац, 2001].

В целом в выделенной области ММП встречаются в виде линз мощностью до 10 м и протяженностью до 100 м и более, приуроченных к днищам заболоченных долин и к северным склонам. Мерзлые суглинки и супеси имеют преимущественно слоистую криогенную текстуру, размер шлиров до 10 мм. При оттаивании грунты переходят в пластичное и текучепластичное состояние, при этом наблюдаются значительные просадки [Лещиков, 1983]. В долинах озер фиксируются бугры пучения двух видов – гидролакколиты и мерзлотные сальзы. Первые связаны с промерзанием всего озерного талика как единой системы, вторые – с неравномерным промерзанием отдельных частей талика [Баженова, 2013].

Район исследований относится О.И. Баженовой [2011] к степям с максимальной аридностью,

среднегодовая сумма осадков составляет 210–220 мм, среднегодовая температура воздуха –0.6...–1.0 °С. Но несмотря на сухой климат, здесь достаточно широко распространены локальные заторфованные увлажненные участки с приуроченными к ним ММП. Эти территории отличаются высокой чувствительностью и быстрой реакцией на изменения климата и хозяйственную деятельность. На южной границе своего распространения ММП находятся в неустойчивом термодинамическом состоянии и характеризуются значительными скоростями формирования и разрушения. В этих условиях криогенный фактор оказывает большое влияние на динамику природной среды, что обуславливает теоретическую и практическую значимость проводимых здесь исследований. В ходе работ удалось выявить и изучить участки современного распространения ММП, рассмотреть особенности их строения, выяснить роль криогенного фактора в формировании природной среды и динамики экзогенных процессов. Были описаны и систематизированы разномасштабные и разновозрастные посткриогенные образования.

#### РАЙОН ИССЛЕДОВАНИЯ

Остров Ольхон расположен в срединной части Байкала и является составной частью между-

впадинной перемычки – Академического хребта, разделяющего Северобайкальскую и Среднебайкальскую впадины озера. В неотектоническом плане остров относится к Ольхонскому поднятию и имеет наклон поверхности 2–8°, на северо-западе до 20°. Исследования проводились на северо-западном побережье острова, на пологонаклонном с мелкими заливами, сформировавшимися вследствие переработки водами озера рыхлых неоген-четвертичных отложений. Материалы были получены в течение 2012–2013 гг. в ходе полевых работ на побережье о. Ольхон в районе пос. Харанцы (рис. 1). Исследуемая территория в центральной части острова морфологически неоднородна. К берегу озера приурочена зона шириной от 20 до 200 м с углами наклона поверхности от 8–10 до 70–80°, где отмечено большое разнообразие склоновых процессов. В глубине острова располагается незалесенная равнина, с небольшим уклоном 3–5° поднимающаяся к центральной части острова. Обе выделенные зоны пересекают ложбины (см. рис. 1).

#### Палеокриогенные образования

На территории Прибайкалья широко распространены современные мерзлотные и палеокриогенные образования. Наибольшее распространение имеют первичные грунтовые жилы с размером

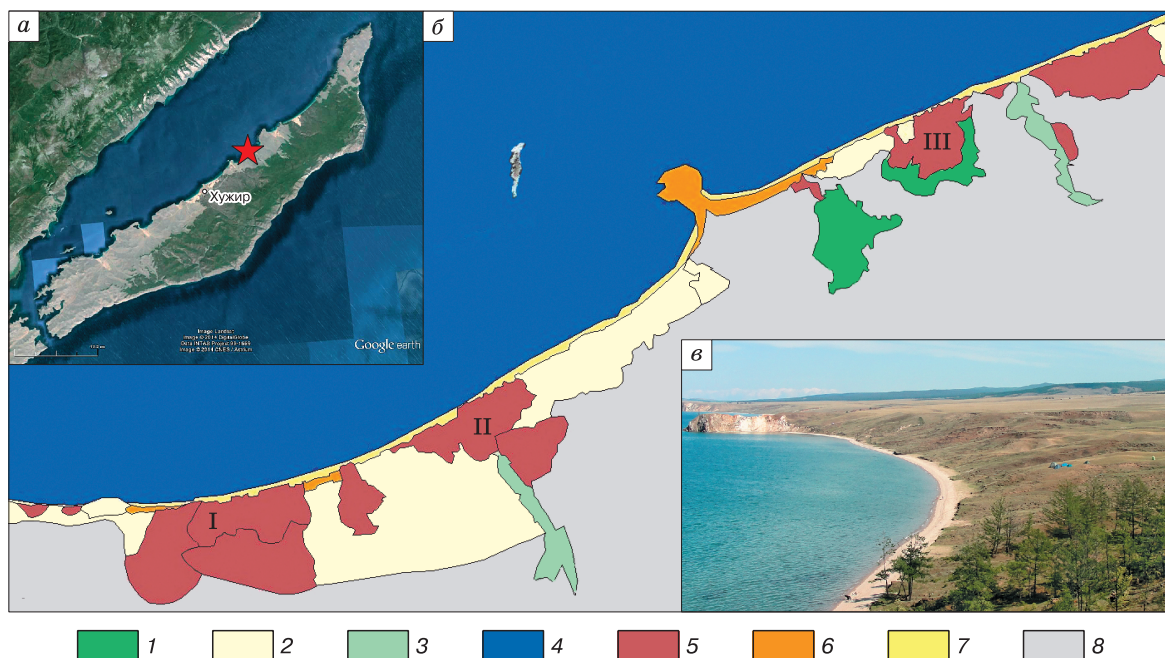
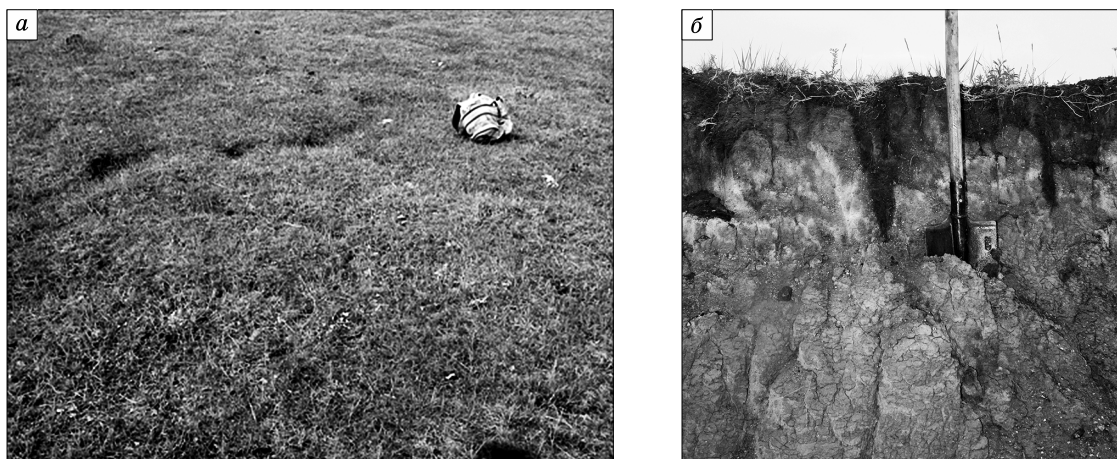


Рис. 1. Местоположение (а), общий вид (б) территории исследований на о. Ольхон (<http://www.maps.google...>) и карта-схема выделенных типов местности (в):

1 – заболоченные выположенные участки; 2 – склоны с крипом, солифлюкцией и оползнеобразованием; 3 – лога; 4 – оз. Байкал (Малое море); 5 – оползневые тела; 6 – осыпи и выходы коренных пород; 7 – пляж; 8 – слабонаклонные поверхности. Участки инженерно-геологического и геокриологического мониторинга: I – участок распространения бугристо-впадинного рельефа; II – узкая ложбина; III – широкая ложбина.



**Рис. 2. Полигональные формы размером  $0.5 \times 1.5$  м (фото А.Н. Хименкова):**

*а* – микрорельеф; *б* – грунтовые жилы, соответствующие границам полигонов.

полигонов  $2.0 \times 2.5$  м и мощностью  $0.5\text{--}0.7$  м [Почва..., 2011]. По данным Ф.Н. Лещикова [1989], почти на всех элементах рельефа развиты морозобойные полигоны размером от  $0.3$  до  $7.0$  м. В Прибайкалье имеют широкое развитие и более крупные формы рельефа, связанные с вытаиванием мощных полигонально-жильных льдов (ПЖЛ) в голоцене [Молодых, 1958; Лещиков, 1978; Воробьева, 1980; Кузьмин, 1988; Козлова, 2006]. Чередование бугров и западин округлой формы образуют полигоны размером  $20 \times 30$  м, превышение вершин бугров над западинами составляет около метра. К понижениям приурочены псевдоморфозы по ПЖЛ. Как уже отмечалось, на Ольхоне псевдоморфозы по ледяным жилам описаны в единственном месте разреза залива Загли на юге острова [Мац, 2001]. Современных многолетних криогенных образований (многолетние бугры пучения, ПЖЛ и др.) на обследованной территории вы-

явить не удалось, хотя отрицать их наличие на острове было бы преждевременным. Авторами были выявлены и изучены посткриогенные полигональные образования. Выделены три генерации полигональных форм, связанных с морозобойным растрескиванием.

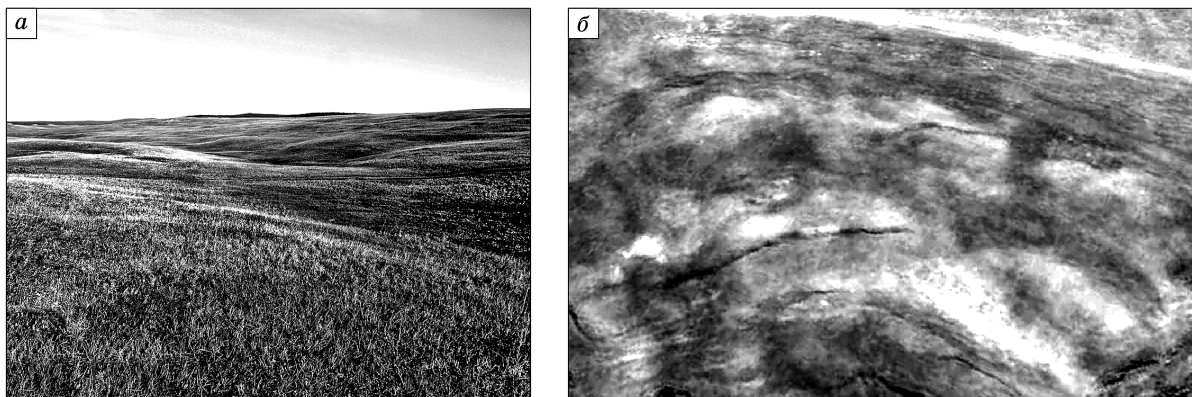
1. Полигональные формы размером  $0.5 \times 1.5$  м. Широко распространены на водораздельных поверхностях, пологих склонах и днищах ложбин. Хорошо выделяются на поверхности в виде понижений шириной до  $10$  см (рис. 2, *а*). В обнажениях им соответствует система грунтовых жил темного цвета мощностью до  $1$  м (см. рис. 2, *б*).

2. Полигональные формы размером  $1.5 \times 3.0$  м сформированы чередованием бугров и западин. Данные образования наиболее хорошо выражены на пологих склонах и по бортам долин различной дренированности (рис. 3). Ширина впадин составляет  $0.3\text{--}0.5$  м, глубина до  $0.2\text{--}0.3$  м. Наряду с



**Рис. 3. Полигональные формы размером  $1.5 \times 3.0$  м (фото А.Н. Хименкова):**

*а* – вытянутые; *б* – изометричные.



**Рис. 4. Полигональные формы больших размеров (10 × 20 м и более).**

*a* – фото А.Н. Хименкова; *б* – космоснимок о. Ольхон (<http://www.maps.google...>).

изометричными полигонами (см. рис. 3, *б*) встречаются вытянутые вдоль склона (см. рис. 3, *а*). На более увлажненных склонах понижения заторфованы, а возвышения заняты травянистой растительностью. На сухих участках возвышения иссушены, растительность угнетена или вовсе отсутствует, а понижения покрыты травянистыми сообществами.

3. Полигональные формы больших размеров (10 × 20 м и более). Контурные полигонов на плоских поверхностях водоразделов и днищ долин плохо выражены в рельефе, прослеживаются по смене растительности в небольших линейных понижениях. Явно выраженный бугристо-западинный рельеф встречен на прибрежном участке. Здесь, в средней части склона крутизной 5–10°, протянувшегося к берегу озера, наблюдается выположенный участок длиной около 200 м и шириной 100 м. На нем отмечается чередование пологих холмов и понижений, формирующих специфический рельеф (рис. 4). Округлые холмы поперечными размерами 15 × 20 м (реже 20 × 30 м) возвышаются над примыкающими к ним западинами по 3–5 м. Ширина понижений от 3–5 до 10–15 м. Иногда бугристо-западинный рельеф образует вытянутые вдоль склона формы. В понижениях прослеживается более мелкая полигональность, размер полигонов 2 × 3 м. Участок с бугристо-западинным рельефом располагается на высоте около 20–25 м над уровнем озера. Отдельные выровненные участки на данной высоте прослеживаются и в других частях побережья. Хотя они и отделены друг от друга оврагами, ложбинами, оползневыми формами, образуют единый геоморфологический уровень. Высота его соответствует III надозерной террасе, выделяемой на всем побережье Байкала [Мац, 2001]. Терраса цокольная, делювиальные суглинки мощностью до 5–7 м подстилают юрские глины или известняки. Су-

глинистую толщу иногда подстилает песчаный горизонт с галькой и щебнем. По данным В.Д. Маца с соавт. [2001], разрез III террасы включает три климатических горизонта: холодный (зырянский, ранний вюрм), теплый (каргинский, средний вюрм) и холодный (сартанский, поздний вюрм, возраст 15–16 тыс. лет по <sup>14</sup>C). Заключительная фаза формирования террасы соответствует суровым климатическим условиям сартанского времени, что обуславливает развитие мощных ПЖЛ.

#### Современные криогенные образования

На изучаемой степной территории с аридным климатом к заболоченным участкам можно отнести днища ложбин, ориентированные преимущественно в широтном направлении, и небольшие локальные понижения рельефа. Как правило, днища увлажненных понижений покрыты заторфованным кочкарником, размеры заболоченных участков изменяются от нескольких десятков до несколько сотен метров. Это наиболее вероятные места развития локальных участков ММП, на наличие которых указывает Ф.Н. Лещиков [Лещиков, Зарубин, 1967]. Скважина, пробуренная в центре заболоченного участка долины (рис. 5), вскрыла в толще суглинков на глубине 1.7–1.9 м мерзлый слой (непротаявший слой сезонного промерзания). Криотекстура его слоистая, толщина ледяных шпиров до 2 см. Ниже, до глубины 6.5 м, залегает супесчано-суглинистый горизонт текучей консистенции, постылаемый мерзлыми глинами с микрошпировой криотекстурой. Вскрытые межмерзлотные воды обладают напором, что определило их излияние на поверхность. Полученные данные согласуются с наблюдениями Ф.Н. Лещикова и М.М. Шаца [1983], показавшими, что участки с несливающейся мерзлотой, соответствующие этапу деградации мерзлых пород, достаточно широко распространены на территории южного

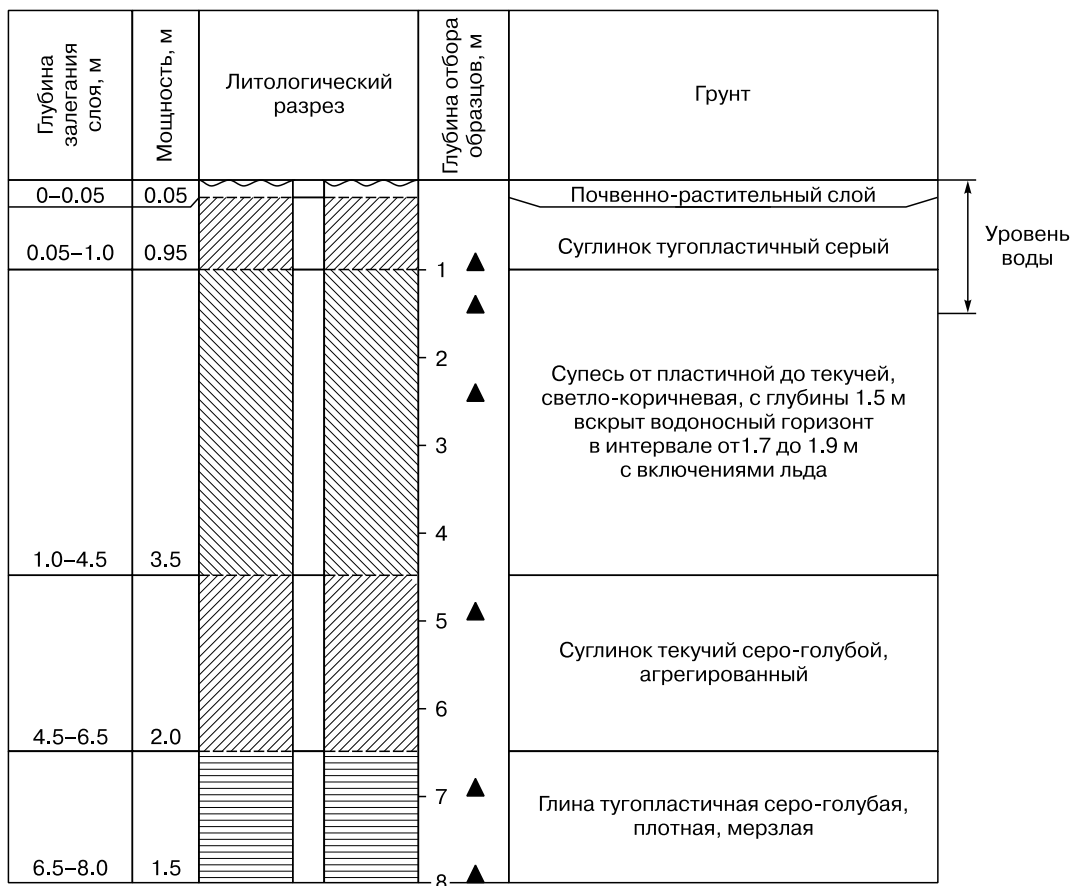


Рис. 5. Геологический разрез скважины 1 (заторфованное днище ложбины, общая глубина 8 м).

Прибайкалья. В частности, они указывают, что у подножия пологих склонов, сложенных глинистыми отложениями, встречаются линзы мерзлых грунтов, залегающих на глубине от 4 до 6 м. Тем-

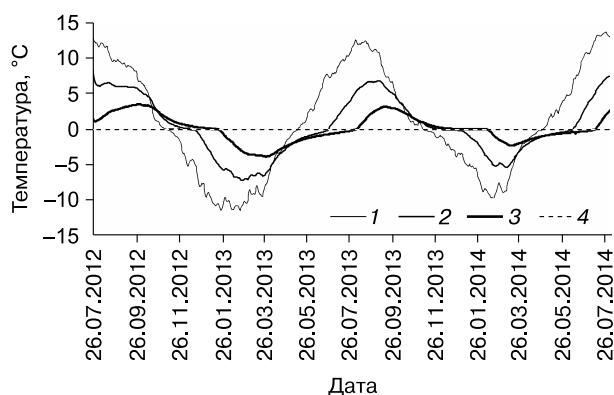


Рис. 6. Графики изменения температуры грунта в шурфе на о. Ольхон (RU\_04\_Olkhon-Pit).

Глубины: 1 – 0.50 м (среднегодовая температура  $T_{cp} = 0.01$  °C); 2 – 1.0 м ( $T_{cp} = -0.31$  °C); 3 – 1.5 м ( $T_{cp} = -0.21$  °C); 4 – 3.65 м ( $T_{cp} = 0$  °C).

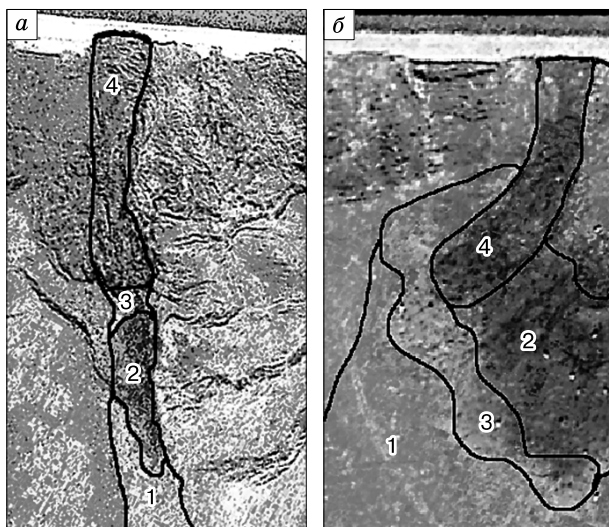
пература в них бывает ниже  $-0.2$  °C, а льдистость колеблется в широком диапазоне [Лешиков, 1983].

#### Исследования температурного режима горных пород

Исследования температурного режима горных пород в 2012–2013 гг. и автоматизированные почасовые геотемпературные наблюдения проводились в шурфе (RU\_04\_Olkhon-Pit). Температурные измерения выполнялись датчиками НОВО® U12-008 (компания Onset Computer Corporation), которые были установлены на глубинах 0.5, 1.0, 1.5, 3.65 м, после чего шурф был засыпан. Данные годового хода температур представлены на рис. 6.

#### Криогенный фактор в развитии экзогенных процессов

Среди многочисленных экзогенных процессов, встречающихся на исследуемой территории, следует выделить группу, которая непосредственно или косвенно обусловлена криогенным фактором. Современные многолетнемерзлые породы, несмотря на фрагментарность их распространения, оказывают существенное влияние на интен-

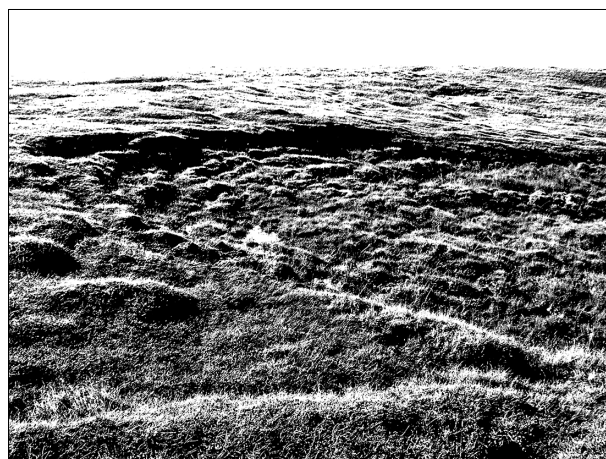


**Рис. 7.** Микроландшафтная зональность строения узкой (а) и широкой (б) ложбин на о. Ольхон (см. рис. 1).

1 – зона высушенного оторфованного кочкарника; 2 – зона влажного оторфованного кочкарника; 3 – зона просадок и разрывов, примыкающая к уступу; 4 – зона развития оползней разжижения-течения. Обработка космоснимка (<http://www.maps.google...>).

сивность и разнообразие экзогенных процессов. В ходе полевых работ были изучены два участка, приуроченных к увлажненным днищам долин, где влияние криогенного фактора на развитие склоновых процессов наиболее выражено (см. рис. 1).

Один участок (см. рис. 1, III) приурочен к днищу ложбины шириной около 200 м в поперечнике (рис. 7, б). Уклон днища в сторону озера около 3–5°; хорошо выражена зональность строения микрорельефа днища ложбины (см. рис. 7, б). На расстоянии около 150 м от берега сухая поверхность, покрытая травянистой растительностью со следами деградированного кочкарника, сменяется увлажненным торфяным кочкарником, поросшим мхом. Смена микроландшафтных условий соответствует постепенному переходу от пород с положительными температурами к мерзлым. Ниже по склону, на расстоянии около 100 м от берега, кочкарник сменяется зоной бугристо-западинного рельефа (см. рис. 3, а, размеры полигонов от 2 × 3 до 3 × 5 м). Ширина зоны от 1–2 до 10–15 м, ее формирование обусловлено вытаиванием верхней части ММП без перемещения грунта. Данная зона заканчивается уступом высотой до 0,5 м (рис. 8). Ниже по склону, вплоть до озера, располагается обводненный участок со следами течения грунта. Рельеф неровный, на поверхности появляются небольшие водоемы размером от 0,5 до 2–3 м, видны разрывы дернины и следы течения грунта. Тече-



**Рис. 8.** Уступ, разделяющий зоны просадок и оползней разжижения-течения на широкой ложбине (фото А.Н. Хименкова).

ние водонасыщенного грунта обусловлено таянием ММП.

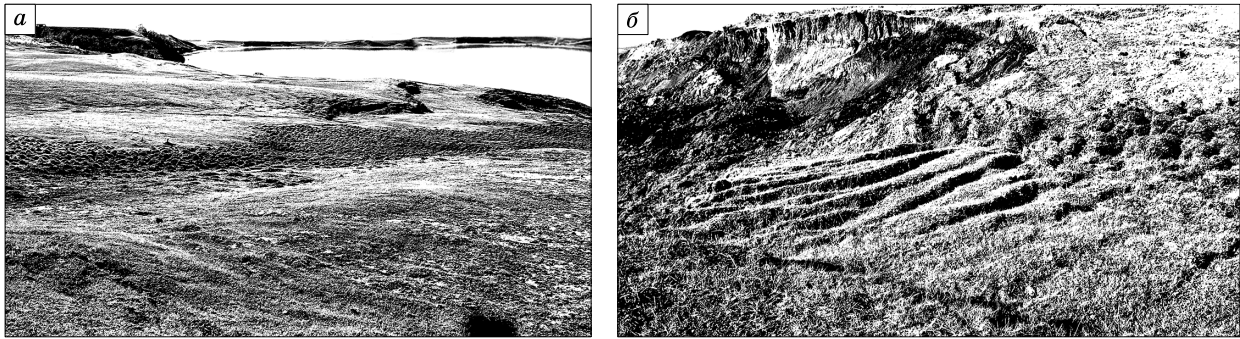
Другой участок приурочен к узкой ложбине (около 50 м в поперечнике) (см. рис. 1, II). Наклон поверхности в верхней части не превышает 5°; здесь также выявлена зональность в строении рельефа (см. рис. 7, а).

На расстоянии около 300 м от берега Байкала сухая поверхность, покрытая травянистой растительностью со следами деградированного кочкарника, сменяется влажным кочкарником (рис. 9, а). Высота кочек до 20–40 см, поперечник 30 × 40 см. Длина зоны зеленого кочкарника около 70 м. В зоне кочкарника была пробурена скважина 1 (см. рис. 5), которая показала наличие несжимающейся мерзлоты и 2,5-метрового напорного водонасыщенного горизонта.

В нижней краевой части кочкарника наблюдается выраженный перегиб. Угол наклона днища котловины изменяется от 5–10 до 20°. На пониженном участке длиной около 15 м наблюдается серия поперечных трещин (трещины отседания) глубиной до 1 м, шириной до 20–30 см и длиной 3–5 м (см. рис. 9, б). Зона распространения трещин отседания заканчивается уступом высотой около 2 м.

Ниже, до самого озера, наблюдается обводненная область потокового движения грунтового материала со следами течения, ограниченного уступами бортов. Длина данной области около 100 м. В нижней части грунтовые потоки выходят на пляж и вступают в зону волновой переработки озера.

Рассмотренные выше увлажненные участки ложбин с ММП занимают незначительную часть исследуемой территории. На большей части рас-



**Рис. 9. Микрорландшафтные условия узкой ложбины на о. Ольхон.**

*а* – зоны высохшего (светлый фон) и влажного (темный фон) кочкарника; *б* – зона развития трещин отседания в нижней части влажного кочкарника. Фото А.Н. Хименкова.

пространены сухие поверхности, сложенные тальми породами и покрытые травянистой растительностью. Здесь повсеместно наблюдается развитие разрывных нарушений почвы в виде трещин, ориентированных вдоль склона (рис. 10). Ширина трещин составляет 30–40 см, длина может достигать 10–15 м. Иногда они составляют своеобразную лестницу, образованную из ступеней высотой в несколько десятков сантиметров. Крупных оползневых блоков или следов течения грунта на этих участках не обнаружено.

#### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

*Криогенные геосистемы южной зоны распространения ММП.* Южная граница криолитозоны представляет отличную возможность изучения условий начального этапа развития ММП. Именно здесь наиболее отчетливо проявляются особенности нового компонента литосферы – криогенной геосистемы, соответствующей определенному моменту развития природной среды [Хименков,



**Рис. 10. Серия разрывных деформаций пород деятельного слоя на склоне (о. Ольхон). Фото А.Н. Хименкова.**

2006, 2013]. Отвод тепла от поверхности земли приводит к самоорганизации локальных геосистем, основным компонентом которых, определяющим их строение и свойства, является лед. При этом возникают сложные прямые и обратные связи между разными компонентами и показателями природной среды (грунтовый массив, растительный покров, рельеф, температура грунтов, их влажность и др.), приводящими к различиям в тенденциях и темпах развития мерзлых толщ при одинаковых внешних воздействиях.

В условиях южной зоны распространения ММП, где даже незначительные локальные естественные или техногенные изменения (динамика поверхностного стока, растительности) приводят к резкой смене геокриологических условий и экзогенных процессов, эти связи проявляются наиболее отчетливо. Локальные островки ММП очень чувствительны к любым, даже самым слабым внешним воздействиям, поэтому представляют собой удобный объект для изучения реакции мерзлых пород на их изменения. Формирование мерзлоты в этих условиях всегда определяется ландшафтными и микрорландшафтными условиями. При одинаковых климатических характеристиках и геологических условиях на близкорасположенных участках могут располагаться мерзлые породы и одновременно формироваться или, наоборот, разрушаться массивы ММП. Незначительные по объему мерзлые участки имеют большое экологическое значение, влияя на состав растительных покровов, увеличивая или ослабляя динамику экзогенных процессов на склонах. Для данного типа мерзлых пород экологический фактор превалирует над климатическим. Одних только климатических параметров недостаточно, чтобы вызвать формирование ММП. В этих случаях, согласно представлениям Ю.Л. Шура и М.Т. Йоргенсона [Shur, Jorgenson, 2007], получает развитие “экосистемно обусловленная мерзлота” (ecosys-

tem-driven permafrost). Данное положение важно для оценки динамики южной части криолитозоны при различных сценариях изменения климата.

На исследуемой территории четко прослеживается влияние микроландшафтных изменений на мерзлотные условия. Для верховий ложбин характерно развитие полей высохших торфяных кочек с хорошо выраженной полигональностью, что свидетельствует о широком развитии ММП в прошлом. Причиной деградации увлажненных кочкарников может быть как потепление климата, так и усиление техногенного воздействия, связанное с нерегулируемым выпасом домашнего скота и возросшей туристической активностью. Наблюдаемая в узкой ложбине (см. рис. 1, II) деградация ММП и формирование здесь неселивающейся мерзлоты в первую очередь обусловлены выпасом скота и связанным с ним разрушением растительного покрова. Сходная картина отмечается и в других районах южной границы криолитозоны. Так, на степных участках котловины о. Хубсугул на севере Монголии интенсивный выпас скота приводит к деградации растительного покрова и последующему вытаиванию ММП. На ненарушенных участках мощность деятельного слоя составляет 1.4 м, а в местах интенсивного выпаса она увеличивается до 4.8 м [Баастын Оюунгэрэл, 2011].

*Бугристо-западинный рельеф на склоне* связан с механизмом, предложенным А.И. Поповым [1960, 1962], при котором в результате неравномерного освоения экзогенными процессами трещинной системы формируется рельеф, напоминающий эрозионную сеть с основным руслом и притоками, имеющую не древовидное ветвление (как обычно), а коленчатое с прямоугольными сочленениями (см. рис. 4, б). Подобный тип межблочий формируется на сравнительно крутых (более 2–3°) склонах. При этом межблочные понижения образуются вследствие наложения процессов термокарстового протаивания, солифлюкции или размыва субстрата и выноса материала вдоль заложившейся полигональной системы морозобойных трещин [Попов, 1962]. Возможен и иной механизм развития бугристо-западинного рельефа, также описанный А.И. Поповым для талых пород с большими глубинами промерзания–оттаивания. Для этих условий характерно формирование мощных грунтовых жил. В период оттаивания вдоль трещин происходит инфильтрация атмосферных вод и суффозионный вынос мелкозема. При этом возникают просадки, которые особенно значительны на пересечениях, так называемых крестовинах, или прямоугольных сопряжениях морозобойных трещин. Так возникают впадины, соединенные менее глубокими и менее широкими понижениями, которые в совокупности образуют полигональные формы. Сами блоки вследствие

просадки трещинных полос и частичного смыва грунтов по краям в понижения представляются пологовыпуклыми, часто куполообразными. Вследствие наибольшей глубины впадин на сопряжениях и пересечениях трещин часто создается впечатление рельефа типа замкнутых котловин. Этот тип мезорельефа чрезвычайно широко распространен в районах с резко континентальным, относительно сухим малоснежным климатом, обуславливающим глубокое сезонное промерзание, морозобойное трещинообразование и глубокое легнее протаивание (Забайкалье, Восточная Сибирь). Оба рассмотренных варианта формирования бугристо-западинного рельефа в условиях островного распространения ММП часто встречаются в условиях одной и той же поверхности [Попов, 1960].

*Влияние температурного режима сезонноталого слоя степных участков на склоновые процессы.* Анализ геотемпературных данных свидетельствует о глубоком сезонном промерзании грунта (см. рис. 6). Среднегодовая температура воздуха (с августа 2012 по июль 2013 г. составляла –1.07 °С), крайне малое количество снега, разреженная растительность, небольшая влажность грунта способствуют глубокому промерзанию. Темп оттаивания слоя сезонного промерзания летом довольно велик: в 2013 г. верхние полметра грунта оттаяли уже 14 мая, а метровый слой был готов к оползневому смещению 27 июня. На глубине 1.5 м фронт промерзания оказался 6 августа, а полное оттаивание сезонномерзлого слоя происходило только в первой декаде декабря, в условиях, когда верхние полметра грунтовой толщи уже промерзли. При высокой скорости движения зоны фазовых переходов большое значение приобретает режим увлажнения грунта, который, с одной стороны, зависит от количества атмосферных осадков, а с другой – контролируется положением мерзлого водоупора. В глинистом грунте процессы льдовыделения сопровождаются интенсивной миграцией влаги как в талой, так и в мерзлой областях. В этих условиях в разные годы могут формироваться различные варианты распределения влажности в талом (т. е. способном к мобилизации) слое.

Формирование участков разрывов и уступов, ориентированных вдоль склона, связано с особенностями сезонного оттаивания (см. рис. 10). Весь летний сезон между нарастающим талым слоем и не оттаявшим мерзлым существует увлажненная ослабленная зона. При достижении определенной мощности, зависящей от состава пород и льдистости мерзлого горизонта, происходит подвижка грунтового блока и формирование серии трещин и уступов на склоне. Сухой климат и малая увлажненность пород сезонноталого слоя не позволяют грунтовому блоку перемещаться на большое расстояние. Таким образом, особенности температур-



ного режима и увлажнения степных участков о. Ольхон определяют характер развития склоновых процессов. Это практически полное отсутствие эрозионных форм и широкое развитие трещин на склонах, сложенных гальными породами.

*Экзогенные процессы на участках разрушения ММП.* Наибольшее разнообразие экзогенных процессов, обусловленных криогенным фактором, наблюдается на участках, приуроченных к днищам ложбин. Отмечается тесная связь между сменой микроландшафтов и экзогенными процессами, которая обусловлена изменением геокриологических условий. Формирование массивов ММП под увлажненными оторфованными участками днищ ложбин консолидирует грунтовый массив и обеспечивает ему относительную устойчивость. Деградация торфяных покровов, какими бы причинами она ни вызывалась, приводит к оттаиванию ММП и резкой активизации склоновых процессов. В этом случае наблюдаются две основные формы движений: медленное смещение по водонасыщенному горизонту верхнего сезонномерзлого слоя и течение водонасыщенных грунтовых потоков.

В долинах, выходящих к побережью, происходит формирование уступов, разделяющих область развития разжижения-течения от вышерасположенного днища. Уступы эти различной высоты (от нескольких десятков сантиметров до 2 м); иногда формирующийся рисунок уступа напоминает термоденудационные цирки, характерные для северных регионов, когда идет фронтальное разрушение высокольдистых пород. Было выявлено два ряда парагенетически связанных изменений микроландшафтов мерзлотных условий и экзогенных процессов.

В широкой ложбине ММП приурочены к заторфованному влажному кочкарнику (см. рис. 7, б, 8). Вблизи уступа, где условия оттока поверхностных и грунтовых вод улучшаются, оторфованный слой начинает деградировать. Моховой покров сменяется травянистой растительностью. Происходят неравномерные просадки грунта, формируется зона полигонального рельефа. Грунтовый массив сохраняет устойчивое положение. Ниже уступа происходит интенсивное вытаивание подземного льда и образование зоны оползней разжижения-течения [Постоев, 2013], которые прослеживаются до кромки озера.

В узкой ложбине на участке развития увлажненного мерзлого кочкарника отмечены признаки начала деградации (разрушение мохового покрова, появление травянистой растительности и др.) (см. рис. 9). Данные изменения приводят к направленному оттаиванию и образованию несдвигающейся мерзлоты, зафиксированной при бурении. Устойчивость грунтового массива уменьшается. Днище долины начинает медленно смещаться

вниз. Эти смещения фиксируются на поверхности в виде серии субпараллельных трещин шириной 3–5 см и длиной 3–5 м, расположенных поперек ложбины, и серии оперяющих трещин на нижних участках бортов долины. Оперяющие трещины располагаются под углом около 30° ко шву. Ширина разрывов от 2–3 до 5–10 см, длина 2–3 м; расстояние между ними 3–5 м. Наблюдаемые разрывные деформации отражают первую стадию движения грунтового массива. Вблизи уступа возможность оттока грунтовых вод улучшается. Начавшееся движение ускоряется и переходит во вторую стадию с образованием серии крупных параллельных трещин отседания и просадок грунта (см. рис. 9, б). Здесь происходит дальнейшее оттаивание мерзлых пород, разгрузка грунтовых вод в основании уступа и ускорение движения грунтового материала в виде отдельных блоков. Третья, наиболее динамичная стадия реализуется в виде серии оползней разжижения-течения, когда обводненные грунтовые массы стекают потоками. Выделяется не менее двух-трех циклов потоковых образований.

Рассмотренные примеры парагенетических комплексов экзогенных процессов, связанных с таянием ММП, отражая общую последовательность смены геокриологических условий и экзогенных процессов, все же имеют некоторые различия.

В широкой долине оттаивание в основном происходит со стороны сформировавшегося уступа. Скорость оттаивания значительная, что не позволяет сформироваться достаточно широкой зоне деградации ММП. Выше уступа мерзлый массив устойчив, ниже него образуется водонасыщенный грунтовый поток мощностью до 1 м.

В узкой долине деградация оторфованного кочкарника наступает намного раньше его приближения к уступу. Происходит оттаивание сверху значительных по площади участков и формирование несдвигающейся мерзлоты. Грунтовый массив теряет устойчивость и начинает ползти по оттаившему водонасыщенному слою. Вблизи уступа происходит сброс грунтовых вод и дальнейшее протаивание, при этом формируются глубокие трещины отседания и общая просадка поверхности. В зоне оползней разжижения-течения наблюдаются отдельные грунтовые блоки площадью в десятки квадратных метров и мощностью свыше 2 м, переносимые на расстояние около 100 м.

Рассмотренные примеры влияния криогенного фактора на склоновые процессы характерны для увлажненных ложбин. В сухих ложбинах, где разрушение оторфованного горизонта и оттаивание пород уже произошло, моховой покров замещен травянистой растительностью. Динамичность склоновых процессов здесь значительно слабее,

чем в увлажненных ложбинах с ММП. На поверхности прослеживаются сглаженные следы прошлых динамических процессов (оползневых уступов, потоковых форм, трещин отседания); развиваются также трещины в грунте, связанные с особенностями режима сезонноталого слоя.

### ВЫВОДЫ

1. Криогенные и посткриогенные явления на о. Ольхон имеют широкое распространение. На исследуемой территории зафиксированы три генерации посткриогенных полигональных образований, отражающих интенсивность влияния криогенного фактора на литосферу в прошлом.

2. Участки развития современных ММП оказывают значительное воздействие на динамику природной среды степных территорий о. Ольхон. Их формирование стабилизирует склоновые процессы и увеличивает биоразнообразие ландшафтов за счет развития увлажненных участков. Деграция ММП приводит к резкому усилению комплекса склоновых процессов, разрушению увлажненных микроландшафтов и уменьшению биоразнообразия территории.

3. На территории о. Ольхон формирование и деграция современных ММП определяются микроландшафтными условиями, обуславливающими возможность формирования или разрушения мохового покрова. Выявлены два типа ММП: непрерывная, связанная с развитием увлажненных оторфованных кочкарников, мерзлота и неслюющая, формирующаяся на участках деградирующих кочкарников. Деграция мохового слоя связана как с природными, так и с техногенными воздействиями.

4. В результате годичного цикла температурных наблюдений установлены параметры и значения температурного режима деятельного слоя. Выявленная мощность деятельного слоя составляет 3.65 м, что значительно превышает зафиксированные ранее величины (2.8 м на метеостанции Узур) [Трофимова, 2006]. Оттаивание сезонно-мерзлого слоя происходит до первой декады ноября, когда верхний слой грунтов уже начинает промерзать. Длительный период оттаивания обуславливает скольжение грунтовых блоков по мерзлоте основанию, что приводит к широкому распространению трещин в породах сезонноталого слоя на склонах.

### Литература

**Баастын Оюунгэрэл.** Эколого-географические основы функционирования и перспективы развития особо охраняемых территорий Северной Монголии: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Улан-Удэ, 2011, 48 с.

**Баженова О.И.** Современная денудация в островных степях Сибири: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Томск, 2011, 42 с.

**Баженова О.И.** Современная динамика озерно-флювиальных систем Онон-Торейской высотной равнины (Южное Забайкалье) // Вестн. Том. ун-та, 2013, № 371, с. 171–177.

**Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Йошикава К., Чижова Ю.Н., Станюковская Ю.В.** Миграционные бугры пучения в южной части криолитозоны Средней Сибири // Инж. геология, 2013, № 3, с. 14–34.

**Воробьева Г.А.** Значение позднелеистоценовых отложений и процессов для современного почвенного покрова юга Восточной Сибири // Почвы территорий нового освоения, их режимы и рациональное использование. Иркутск, Изд-во Ин-та географии СО АН СССР, 1980, с. 13–17.

**Козлова А.А.** Влияние бугристо-западного рельефа на формирование и развитие почв южной части Прибайкалья // География и природ. ресурсы, 2006, № 1, с. 90–95.

**Кузьмин В.А.** Почвы Предбайкалья и Северного Забайкалья / В.А. Кузьмин. Новосибирск, Наука, 1988, 175 с.

**Лещиков Ф.Н.** Мерзлые почвы Приангарья и Прибайкалья / Ф.Н. Лещиков. Новосибирск, Наука, 1978, 141 с.

**Лещиков Ф.Н.** Мерзлые породы юга Средней Сибири / Ф.Н. Лещиков, М.М. Шац. Новосибирск, Наука, 1983, 169 с.

**Лещиков Ф.Н.** Геокриологические условия Ангаро-Ленского региона // Геокриология СССР. Средняя Сибирь. М., Недра, 1989, с. 310–332.

**Лещиков Ф.Н., Зарубин Н.Е.** Геокриологические условия Прибайкалья // Геокриологические условия Забайкалья и Прибайкалья. М., Наука, 1967, с. 51–70.

**Мац В.Д.** Кайнозой Байкальской рифтовой долины: строение и геологическая история / В.Д. Мац, Г.Ф. Уфимцев, М.М. Мандельбаум и др. Новосибирск, Изд-во СО РАН, фил. "Гео", 2001, 252 с.

**Молодых И.И.** Лессовые породы южной части Ангаро-Окинского междуречья / И.И. Молодых. Иркутск, ИГВСО СО АН СССР, 1958, 56 с.

**Попов А.И.** Перигляциальные образования северной Евразии и их генетические типы // Перигляциальные явления на территории СССР. М., Изд-во Моск. ун-та, 1960, с. 10–36.

**Попов А.И.** Покровные суглинки и полигональный рельеф Большеземельской тундры // Вопросы географического мерзлотоведения и перигляциальной морфологии. М., Изд-во Моск. ун-та, 1962, с. 109–130.

**Постоев Г.П.** Предельное состояние и деформации грунтов в массиве (оползни, карстовые провалы, осадки грунтовых оснований) / Г.П. Постоев. М.; СПб., Нестор-История, 2013, 100 с.

**Почва** как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем // Путеводитель экскурсии III Междунар. науч.-практ. конф. / Отв. ред. Г.А. Воробьева. Иркутск, Перекресток, 2011, 70 с.

**Трофимова И.Е.** Современное состояние и тенденции многолетних изменений мерзлотно-термического режима почв Прибайкалья // География и природ. ресурсы, 2006, № 4, с. 38–45.

**Хименков А.Н.** Введение в структурную криологию / А.Н. Хименков, А.В. Брушков. М., Наука, 2006, 279 с.

**Хименков А.Н.** Геосистемный подход в геокриологии // Криосфера Земли, 2013, т. XVII, № 2, с. 74–82.

**Shur Y.L., Jorgenson M.T.** Patterns of permafrost formation and degradation in relation to climate and ecosystems // Permafrost and Periglacial Processes, 2007, vol. 18, p. 7–19.

Поступила в редакцию  
15 августа 2014 г.