

## СТАТЬЯ

УДК 581.524:551.324(235.222)

**РОЛЬ ТЕРМОКАРСТА В ФОРМИРОВАНИИ  
ПЕРВИЧНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА МОРЕННЫХ  
ХОЛМАХ ЛЕДНИКА БОЛЬШОЙ АКТРУ  
(СЕВЕРО-ЧУЙСКИЙ ХРЕБЕТ, РЕСПУБЛИКА АЛТАЙ)****Тимошок Е.Е., Тимошок Е.Н., Райская Ю.Г.***Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск,  
e-mail: timoshokee@mail.ru*

В континентальных условиях Северо-Чуйского хребта (Республика Алтай), на моренных холмах долинного ледника Большой Актру исследованы особенности заселения растений, формирования простых и сложных растительных группировок и установлена роль термокарста в формировании первичной растительности. Стационарные наблюдения на моренных холмах Большой Актру, расположенных на абсолютных высотах 2370–2500 м, проводили с 2004 по 2018 г. В составе сформировавшейся растительности выявлены видовой состав сосудистых растений, мхов и накипных лишайников; виды, преобладающие в составе растительных группировок; установлены отличия первичных растительных группировок, приуроченных к термокарстовым воронкам и – к повышенным участкам моренных холмов с грубообломочным субстратом. Получены представления о специфике видовой состава растений, жизненных форм и особенностях адаптации к суровым экологическим условиям высокогорий. Установлено, что в термокарстовых воронках формируются сложные первичные растительные группировки из кустарниковых и кустарничковых видов рода *Salix* и листовых мхов, а на повышенных участках холмов – простые группировки многолетних трав, куртины *Dryas oxyodonta* и пятнами – накипные лишайники. В заселении и формировании первичных растительных группировок на моренных холмах ледника Большой Актру участвует 82 вида сосудистых растений, 19 видов мхов и 6 видов лишайников; но лишь немногим более 50% из них играют значимую роль в формировании первичной растительности.

**Ключевые слова:** ледники, моренные холмы, сосудистые растения, мхи, лишайники, Северо-Чуйский хребет, Горный Алтай

*Исследования выполнены в рамках государственного задания ИМКЭС СО РАН (регистрационный номер проекта 121031300226-5, FWRG–2021–0003).*

**IMPACT OF THERMAL KARST ON FORMING  
OF PRIMARY VEGETATION AT THE FORELAND HILLS  
OF THE BOLSHOY AKTRU GLACIER  
(NORTH CHUYA RANGE, ALTAI REPUBLIC)****Timoshok E.E., Timoshok E.N., Raikaya Yu.G.***Institution of monitoring of climatic and ecological systems SB RAS, Tomsk,  
e-mail: timoshokee@mail.ru*

In the continental conditions of the North Chuya Range (Altai Republic), on the moraine hills of the Bolshoy Aktru valley glacier, the features of plant settlement, the formation of simple and complex plant groupings were studied and the role of thermokarst in the formation of primary vegetation was investigated. Stationary observations on the moraine hills of Bolshoy Aktru, located at absolute altitudes of 2370–2500 m, were carried out from 2004 to 2018. The species composition of vascular plants, mosses and ground lichens was identified in the composition of the formed vegetation; the species prevailing in the composition of plant groupings; differences between primary plant groupings confined to thermokarst funnels and to elevated areas of moraine hills with a coarse-grained substrate have been studied. Data on the specifics of the species composition of plants, life forms and features of adaptation to the harsh environmental conditions of the highlands have been obtained. It has been established that complex primary plant groupings of shrubby species of the genus *Salix* and leaf-stemmed mosses are formed in thermokarst funnels, and simple groupings of perennial grasses, *Dryas oxyodonta* curtains and patches of ground lichens are formed on open elevated hill sites. 82 species of vascular plants, 19 species of mosses and 6 species of lichens participate in the settlement and formation of primary plant groups on the moraine hills of the Bolshoy Aktru glacier; but only slightly more than 50% of them play a significant role in the forming of primary vegetation.

**Keywords:** glaciers, moraine hills, vascular plants, mosses, lichens, Severo-Chuiskiy range, Gorny Altai

*The research was carried out within the framework of the state assignment of the Institute of Microbiological Studies and Estimation of Ecology and Coordination of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (project registration number 121031300226-5, FWRG–2021–0003).*

### Введение

В современный период глобального потепления климата ледники Алтая отступают [1], оставляя за собой моренные комплексы, сложенные переработанными ледниками горными породами.

В современную регрессивную фазу малого ледникового периода формирование первичной растительности на отложенных ледниками моренах наиболее детально изучено в горных системах Западной Европы (Альпы, горы Скандинавии), Северной Америки (Аляска, Скалистые горы), в меньшей степени такими исследованиями охвачены горы Азии [2; 3]. Основные исследования первичных сукцессий, начатые нами в 1999 году, проводились на моренных комплексах долинных ледников на Катунском, Южно-Чуйском и Северо-Чуйском хребтах, представляющих собой переработанные ледниками горные породы с преобладанием грубообломочного моренного субстрата и пятнами мелкозема [3; 4]. Проведенные исследования показали, что моренный комплекс долинного ледника Большой Актру представляет собой систему высоких моренных холмов с сохранившимися под плащом грубообломочного материала мощными толщами мертвого льда – остатками ледника с середины XIX в., утратившими связь с областью питания.

**Целью настоящего исследования** было изучение особенностей формирования первичной растительности на моренных холмах ледника Большой Актру и роли термокарста в этих процессах.

### Материалы и методы исследований

На Северо-Чуйском хребте наибольшее развитие оледенение достигает в горном узле Биш-Иирду, где в самой возвышенной его части расположен горно-ледниковый бассейн Актру (N 50°05', E 87°45'). Стационарные исследования роли термокарста в формировании растительности на моренных холмах ледника Большой Актру на абсолютных высотах 2370–2500 м проводились в летних экспедициях с 2004 по 2018 г. Этот ледник в период максимального наступания в середине XIX в. сформировал хорошо выделяющийся в рельефе долины конечно-моренный вал на абсолютной высоте 2370 м, от которого с 1850-х по 1960 гг. отступил на 460 м [5; 6]. В рельефе морен Большого Актру выражена система высоких моренных холмов (относительная высота 20–30 м), ядра которых состоят из мертвого льда, покрытого чехлом грубообломочного материала, содержащего валуны, щебень и небольшое количество мелкозема. Толщина моренного чехла колеблется в среднем от 20–30 см

на склонах до 40–50 см на вершинах холмов. На склонах холмов крутизной 10–20° моренный материал подвижен [7]. При неравномерном летнем вытаивании ледяного ядра на поверхности моренного чехла формируются термокарстовые воронки – чашеобразные углубления разного размера (до 40 см глубиной, 5 м в диаметре), в которых скапливается слой мелкозема. Формирование растительности на обследованных моренных холмах проходит в суровых экологических условиях высокогорий, при низких среднегодовой ( $-7^{\circ}\text{C}$ ) и среднелетней ( $+7,1^{\circ}\text{C}$ ) температурах, высоких колебаниях суточных температур в течение периода вегетации, когда ночные температуры снижаются до  $-4^{\circ}\text{C}$ , дневные – повышаются до  $+15^{\circ}\text{C}$ . Следует отметить, что и мощные ледяные ядра оказывают на достаточно тонкий моренный чехол значительное охлаждающее действие. Кроме суровых температурных условий вегетационного периода, важным экологическим фактором, препятствующим формированию растительности на моренных холмах Большого Актру, являются постоянные ветры: днем дующие из долины к осевой части хребта, а ночью – горные, дующие с основного водораздела хребта в долину [8]. Наибольшее отрицательное значение на заселение растений и формирование первичной растительности оказывают при этом зимние ветры, когда при метелевом переносе на склонах и вершинах моренных холмов большую часть зимы (ноябрь – 2-я декада апреля) снег практически отсутствует, он с них сдувается и накапливается преимущественно в термокарстовых воронках и в небольших нишах между крупными камнями и валунами.

Сбор материалов на моренных холмах Большого Актру проводили на повышенных выровненных участках вершин и склонов холмов и в термокарстовых воронках. На трансектах, заложенных от подножий до вершин холмов, был собран и в камеральных условиях определен гербарий сосудистых растений, мхов и напочвенных лишайников, установлен их видовой состав; отмечено распространение, покрытие-обилие каждого вида в баллах по классической шкале Braun-Blanquet: + – единично; 1 – довольно много особей при покрытии 1–5%, 2 – обильно – 5–15%, а также – общее проективное покрытие растений на повышенных участках холмов и в термокарстовых воронках. За годы стационарных ботанических исследований на моренных холмах Большого Актру было выполнено более 30 геоботанических описаний, описано более 50 простых и сложных растительных группировок, сделано более 150 фотогра-

фий растительных группировок. В термокарстовых воронках и на окружающих их повышенных участках моренного рельефа с грубообломочным материалом отмечали особенности формирования первичной растительности, сложенной единичными особями, простыми и сложными растительными группировками; основные жизненные формы: травы, кустарники, кустарнички, деревья, мхи, лишайники.

**Результаты исследования и их обсуждение**

Как показали наши многолетние исследования, в сложении формирующейся первичной растительности на вершинах моренных холмов Большого Актру участвует 68 видов сосудистых растений, 11 видов мхов, 5 видов напочвенных лишайников. Однако наибольшее значение в сложении растительных группировок в этих экологических условиях играют только 57% отмеченных здесь важнейших видов сосудистых растений (39 видов), 45% – мхов (5 видов), 60% лишайников (3 вида) (таблица).

В самых суровых экологических условиях, приуроченных к вершинам моренных холмов Большого Актру, на щебнистом моренном субстрате большое значение в формировании растительности имеют напочвенные лишайники, а среди них – *Stereocaulon alpinum* и *Vulpicida tilesii*, занимающие около 10% поверхности вершин.

Здесь, на грубообломочном субстрате, значительная роль принадлежит и многолетним травам, слагающим отдельные простые, редко – сложные группировки. Все зарегистрированные здесь важнейшие виды трав (21 вид, табл.) встречаются постоянно, но с низким обилием. Кроме многолетних трав, здесь постоянно встречаются немногочисленные молодые особи шпалерных кустарничков *Dryas oxyodonta* и *Empetrum nigrum*. В этих условиях только в термокарстовых воронках, диаметр которых колеблется в среднем от 1 до 3 м, формируются сложные растительные группировки, в которых, в формирующемся кустарниковом ярусе, участвует 11 видов кустарников *Juniperus pseudosabina*, *Juniperus sibirica*, среди них 6 видов кустарниковых ив, а также – 5 видов кустарничковых ив (табл.). Следует отметить, что на вершинах моренных холмов, в условиях низких зимних температур, и особенно постоянных сильных зимних ветров, кустарниковые ивы переживают зимний период только в низкорослой стелющейся форме: их надземные побеги имеют высоту не более 20-30 см, не превышают глубину воронки, поскольку расположенные над воронками надземные побеги всех видов кустарников ежегодно отмирают. В микроклиматических условиях термокарстовых воронок, под формирующимся пологом кустарников и кустарничков отмечено 5 видов листостебельных мхов (таблица).

Важнейшие виды, участвующие в формировании растительности на моренных холмах ледника Большой Актру

| Виды растений                   | Вершины моренных холмов | Склоны моренных холмов |
|---------------------------------|-------------------------|------------------------|
| <i>Травы</i>                    |                         |                        |
| <i>Bistorta vivipara</i>        | +                       | +                      |
| <i>Braya aenea</i>              | +                       | +                      |
| <i>Campanula rotundifolia</i>   | +                       | +                      |
| <i>Carex tristis</i>            | +                       | +                      |
| <i>Castilleja pallida</i>       | +                       | 1                      |
| <i>Chamaenerion latifolium</i>  | +                       | 1                      |
| <i>Crepis karelinii</i>         | +                       | +                      |
| <i>Crepis polytricha</i>        | +                       | +                      |
| <i>Draba cana</i>               | +                       | +                      |
| <i>Dracocephalum imberbe</i>    | +                       | 1                      |
| <i>Elymus sajanensis</i>        | +                       | +                      |
| <i>Gypsophila cephalotes</i>    | –                       | +                      |
| <i>Hedysarum neglectum</i>      | –                       | +                      |
| <i>Leontopodium ochroleucum</i> | +                       | +                      |
| <i>Lupinaster eximius</i>       | +                       | +                      |
| <i>Minuartia kryloviana</i>     | +                       | +                      |
| <i>Oxytropis alpestris</i>      | –                       | +                      |

Окончание табл.

|                              |   |   |
|------------------------------|---|---|
| Oxytropis alpina             | – | + |
| Pachypleurum alpinum         | + | + |
| Patrinia sibirica            | + | + |
| Poa alpina                   | – | + |
| Poa altaica                  | + | + |
| Poa glauca                   | + | + |
| Saxifraga oppositifolia      | + | + |
| Saxifraga sibirica           | + | + |
| Silene chamarensis           | + | + |
| Silene turgida               | + | + |
| Trisetum mongolicum          | + | + |
| <i>Кустарнички</i>           |   |   |
| Dryas oxyodonta              | + | 1 |
| Empetrum nigrum              | + | + |
| Salix arctica                | + | + |
| Salix berberifolia           | + | 1 |
| Salix rectijulis             | + | 1 |
| Salix turczaninowii          | + | + |
| Salix vestita                | + | + |
| <i>Кустарники</i>            |   |   |
| Juniperus pseudosabina       | + | + |
| Juniperus sibirica           | + | + |
| Betula rotundifolia          | – | + |
| Lonicera hispida             | – | + |
| Pentaphylloides fruticosa    | + | + |
| Salix coesia                 | + | + |
| Salix divaricata             | + | + |
| Salix glauca                 | + | 1 |
| Salix hastata                | + | + |
| Salix sajanensis             | + | + |
| Salix saposhnikovii          | + | 1 |
| <i>Мхи</i>                   |   |   |
| Ceratodon purpureus          | + | + |
| Bryum elegans                | – | + |
| Bryum lonchocaulon           | + | + |
| Ditrichum flexicaule         | + | + |
| Distichium capillaceum       | + | + |
| Sanionia uncinata            | – | + |
| Syntrichia ruralis           | – | + |
| Stereodon revolutus          | – | + |
| Tortella fragilis            | + | + |
| Tortella inclinata           | – | + |
| Tortella tortuosa            | – | + |
| <i>Напочвенные лишайники</i> |   |   |
| Cladonia pyxidata            | + | + |
| Stereocaulon alpinum         | + | 1 |
| Vulpicida tilesii            | + | 1 |

Примечание: – вид отсутствует, + – вид присутствует единично, 1 – довольно много особей вида при покрытии 1–5%.



В целом, для вершин моренных холмов, несмотря на значительное количество произрастающих здесь видов растений, характерно низкое общее проективное покрытие, достигающее лишь 15%. В существующих здесь экологических условиях распределение растительности – мозаичное: преимущественно простые группировки многолетних трав и пятна лишайников занимают повышенные участки, сложные ивово-моховые группировки – термокарстовые воронки.

В составе первичной растительности, формирующейся на склонах моренных холмов, участвует 72 вида сосудистых растений, 18 – мхов и 5 видов напочвенных лишайников. Однако в сложении растительных группировок в этих экологических условиях важнейшими видами являются только 64% зарегистрированных здесь видов сосудистых растений (46 видов), 61% – мхов (11 видов), 60% лишайников (3 вида) (таблица).

Как и на вершинах холмов, травы играют значимую роль в сложении растительности на повышенных участках склонов, окружающих термокарстовые воронки. Среди встречающихся здесь 26 видов трав обилие 1 балл имеют только 3 вида (*Chamaenerion latifolium*, *Castilleja pallida*, *Dracocephalum imberbe*), остальные 23 вида (*Campanula rotundifolia*, *Elymus sajanensis*, *Silene chamarensis*, *Lupinaster eximius* и др., табл.), как и на вершинах холмов, встречаются постоянно с низким обилием. Здесь заметно увеличиваются в размерах куртины шпалерного кустарника *Dryas oxyodonta* (обилие 1 балл) и пятна напочвенных лишайников *Stereocaulon alpinum*, *Vulpicida tilesii* (обилие 1 балл). В этих экологических условиях сложные группировки с преобладанием в формирующемся кустарниковом ярусе кустарниковых (*Salix glauca*, *S. saposhnikovii*, обилие 1 балл) и кустарничковых ив (*Salix berberifolia*, *S. rectijulis*, обилие 1 балл) также формируются только в термокарстовых воронках. Как и на вершинах моренных холмов, на их склонах, несмотря на высокое видовое разнообразие произрастающих здесь растений, на подвижном грубообломочном субстрате общее проективное покрытие растений остается низким (около 20%). Сформировавшаяся здесь первичная растительность представлена сложной мозаикой, состоящей из куртин *Dryas oxyodonta*, пятен напочвенных лишайников, преимущественно простых 3-5 видовых группировок многолетних трав на повышенных элементах рельефа и сложных растительных группировок из кустарниковых и кустарничковых ив и листостебельных мхов, произрастающих в термокарстовых воронках.

Наши многолетние исследования позволили установить, что в заселении и формировании растительности на моренных холмах ледника Большой Актру участвуют 82 вида сосудистых растений, но только немногим более половины (56%) – 46 видов играют наиболее значимую роль в формировании первичной растительности (табл.), тогда как вторая половина – 36 видов, которые мы относим к случайным, встречаются единичными экземплярами и не играют роли в формировании растительности. Среди случайных видов на обследованных моренных холмах отмечены травы *Draba sapozhnikovii*, *D. fladnizensis*, *Elymus transbaicalensis*, *Erigeron politus*, *Minuartia verna*, *Myosotis imitata*, *Papaver pseudocanescens* и др., кустарники *Salix bebbiana*, *S. ledebouiriana* и др., молодые особи деревьев *Larix sibirica*, *Pinus sibirica*, *Picea obovata*, *Populus laurifolia*, *Betula pendula*. Среди произрастающих здесь 19 видов мхов также немногим более половины (57%), 11 видов – важнейшие участники (табл.), 8 – случайные виды (*Brachythecium turgidum*, *B. cirrosum*, *Pohlia cruda*, *Stereodon vaucheri* и др.). Напочвенных лишайников – 6 видов, важнейших участников – 50% (3 вида: *Cladonia pyxidata*, *Stereocaulon alpinum*, *Vulpicida tilesii*), случайных видов также 3 (*Cladonia pocillum*, *Flavocetraria nivalis*, *Stereocaulon paschale*). Наиболее значимую роль в формировании растительности на моренных холмах ледника Большой Актру играют виды растений, обилие которых составляет 1 балл по шкале Braun-Blanquet – довольно много особей при покрытии 1–5%, среди которых выявлены виды разных жизненных форм: травы *Castilleja pallida*, *Chamaenerion latifolium*, *Dracocephalum imberbe*, кустарниковые и кустарничковые виды *Salix*, кустарничек *Dryas oxyodonta*, напочвенные лишайники (табл.). Распределение сформировавшейся первичной растительности имеет вид сложной мозаики. В термокарстовых воронках как на вершинах, так и на склонах моренных холмов формируются сложные ивово-моховые группировки, на повышенных участках сложная растительная мозаика представлена куртинами *Dryas oxyodonta*, пятнами напочвенных лишайников и простыми малопродуктивными группировками многолетних трав. Общее проективное покрытие растений на моренных холмах составляет около 20%.

Как показывают проведенные исследования, образование термокарстовых воронок на вершинах и склонах моренных холмов оказывает большое влияние на успешность формирования первичной растительности на моренных холмах ледника Большой Актру. Экологические режи-

мы в термокарстовых воронках и на повышенных участках холмов значительно различаются. С повышенных участков снег сдувается почти полностью, в воронках же в зимний период накапливается значительный слой снега, который в течение длинной зимы (с ноября по апрель) защищает семена и молодые заселившиеся растения от низких температур, иссушающих зимних ветров, весенних, раннелетних, осенних заморозков и от абразивного воздействия переметаемых постоянными ветрами мелких частиц льда и песка, предотвращает промерзание моренного субстрата, обеспечивая сохранность корневых систем, способствуя тем самым выживанию растений. На высоких холмах ледника Большой Актру только в термокарстовых воронках формируются компактные заросли ив с моховым ярусом под ними, тогда как за их пределами на повышенных участках произрастают группировки невысоких многолетних трав, пятна кустарничка *Dryas oxyodonta* и напочвенных лишайников, что свидетельствует о том, что в этих экологических условиях термокарст является важным благоприятным фактором, способствующим заселению растений и формированию молодых сложных кустарничково-моховых группировок.

На моренных холмах Большого Актру общее проективное покрытие растений не превышает 20%, но в термокарстовых воронках может быть выше. В термокарстовых воронках формирование растительности обусловлено разрастанием кустарников, кустарничков и мхов, на окружающих поверхностях морен – многолетних трав, *Dryas oxyodonta* и лишайников. Низкое проективное покрытие обусловлено всем комплексом жестких экологических условий, неблагоприятных для формирования растительности: зимними ветрами, низкими температурами, отсутствием постоянного снежного покрова, охлаждающим воздействием ледяных ядер и мало структурированным грубым моренным субстратом.

### Заключение

В континентальных условиях Северо-Чуйского хребта в суровых экологических условиях высокогорий (2370–2500 м над ур. м.) моренные холмы ледника Большой Актру в ходе формирования первичной растительности заселяются сосудистыми

растениями, мхами, напочвенными лишайниками. В формировании первичной растительности участвуют 82 вида сосудистых растений, 19 видов мхов и 6 видов напочвенных лишайников, но среди них лишь немногим более половины видов играют значимую роль в этом процессе.

На обследованных моренных холмах долинного ледника Большой Актру в суровых экологических условиях высокогорий Северо-Чуйского хребта выявлены два основных пути формирования первичной растительности: формирование простых группировок травянистых растений, куртин шпалерного кустарничка *Dryas oxyodonta* и пятен лишайников на повышенных элементах моренного рельефа и сложных многовидовых ивово-моховых группировок в термокарстовых воронках, где зимой скапливается снег и растения в течение длинной зимы защищены от зимних иссушающих ветров.

### Список литературы

1. Торопов П.А., Алешина М.А., Носенко Г.А., Хромова Т.Е., Никитин С.А. Современная деградация горного оледенения Алтая, ее последствия и возможные причины // Метеорология и гидрология. 2020. № 5. С. 118-130.
2. Matthews F. The ecology of recently-deglaciated terrain. N.Y.: Cambridge University Press, 1992. 386 p.
3. Тимошок Е.Е., Тимошок Е.Н., Гуреева И.И., Скороходов С.Н. Первичные сукцессии растительности на молодых моренах в Северо-Чуйском центре оледенения (Центральный Алтай) // Сибирский экологический журнал. 2020. Т. 27, № 1. С. 46–61. DOI: 10.15372/SEJ20200104.
4. Тимошок Е.Е., Николаева С.А., Тимошок Е.Н., Савчук Д.А., Филимонова Е.О., Райская Ю.Г., Скороходов С.Н. Экологический мониторинг автотрофного блока наземных экосистем в Северо-Чуйском центре оледенения (Центральный Алтай) // Сибирский экологический журнал. 2022. Т. 29, № 3. С. 249-262. DOI: 10.15372/SEJ20220301.
5. Кутузов С.С., Ерофеев А.А., Лаврентьев И.И., Смирнов А.М., Копысов С.Г., Аббасов З.Р., Никитин К.А. Восстановлены наблюдения на ледниках Актру на Алтае // Лёд и Снег. 2019. Т. 59, № 3. С. 306. DOI: 10.15356/2076-6734-2019-3-469.
6. Hedding D.W., Erofeev A.A., Hansen C.D., Khon A.V., Abbasov Z.R. Geomorphological processes and landforms of glacier forelands in the upper Aktru River basin (Gornyi Altai), Russia: evidence for rapid recent retreat and paraglacial adjustment // Journal of Mountain Science. 2020. № 17(4). С. 824-828. DOI: 10.1007/s11629-019-5845-5.
7. Душкин М.А. Многолетние колебания ледников Актру и условия развития молодых морен // Гляциология Алтая. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1965. Вып. 4. С. 83–101.
8. Чередыко Н. Н., Журавлев Г. Г., Кусков А. И. Оценка современных климатических тенденций и синхронности их проявления в Алтайском регионе // Вестник Томского государственного университета. 2014. № 379. С. 200-208.