



УДК 551.324.63:338 (571.5)
<https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.33>

Особенности трансформации и самоорганизации нивально-гляциальных горных геосистем

А. Д. Китов

Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, г. Иркутск, Россия

Аннотация. На примере двух нивально-гляциальных образований рассматриваются процессы трансформации и самоорганизации геосистем – ледника Радде, являющегося характерным каровым ледником Восточного Саяна в наиболее высокой его части (наивысшая вершина Мунку-Сардык, 3491 м), который, как и большинство горных ледников, значительно сократился. Изучаются этапы изменения и характер формирования поверхностных морен (бронирования), выступающие факторами самосохранения ледника как геосистемы. Исследуется полностью трансформированная геосистема из типичного карового ледника – каменный поток, который постоянно регенерирует и движется по законам каменного глетчера. Представляется структура этого каменного потока как самостоятельная геосистема. Отмечается, что за период наблюдения более 120 лет ледник Радде, второй по величине после ледника Перетолчина, в связи с изменением климата значительно сократился. Его площадь уменьшилась за 100 лет с 0,3 до 0,19 км², а за последние 20 лет с 0,19 до 0,09 км². Предполагается, что нивально-гляциальные геосистемы ведут себя как системы с запаздыванием и процессы наступания и отступления ледников подчиняются закону гистерезиса.

Ключевые слова: горные геосистемы, горный массив Мунку-Сардык, ледники, данные дистанционного зондирования, трансформация геосистем.

Для цитирования: Китов А. Д. Особенности трансформации и самоорганизации нивально-гляциальных горных геосистем // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2021. Т. 35. С. 33–43. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.33>

Введение

Горные ландшафты имеют своеобразное геологическое строение, в первую очередь поясность, характеризующуюся дифференциацией растительного покрова, особенностью мезоклиматических, гидротермических и геохимических процессов, свойственных каждому поясу [Troll, 1973; Mountains of the World, 1997].

Несомненно, следует принять, что изменения климата и растительного покрова в кайнозойскую эру, отмечавшуюся формированием современных геосистем, были более существенными, чем преобразования, связанные с проявлением неотектонических процессов. Но этот подход является дискуссионным, когда необходимо исследовать преобразование геосистем, расположенных в районах неотектонической активности. В настоящее время под понятием «трансформация» подразумевается преобразование вида и суще-

ственных свойств, основанных преимущественно на двух типах связей – вещественном (при котором происходит трансформация системой полученного вещества) и энергетическом (выраженном в форме химических связей, тепла и др.) [Коновалова, Ноговицына, 2018; Коновалова, 2020]. Гляциальные геосистемы с изменением климата и деятельности ледников подвержены таким преобразованиям. При отступании ледников в результате перераспределения энергии происходит изменение вещественной составляющей геосистемы, замещение ледяной массы обломочным материалом. Также наблюдается смещение высотных поясов, замещение нивально-гляциального пояса горными тундрами и лугами, повышение границы леса и т. п. [Волкова, Мельник, Бородавко, 2018].

Восточный Саян является молодыми горами, где наблюдаются поднятия, представляющие неотектонические процессы. В то же время эти горы выдержали смену нескольких эпох оледенения и потепления. Только с начала четвертичного периода (периода межледниковья) за 11 тыс. лет было значительное потепление в эпоху оптимума голоцена (7,5 тыс. лет назад) и похолодание в Малый ледниковый период (МЛП), который закончился 160 лет назад.

В горном массиве Мунку-Сардык нами была найдена группа пней лиственницы сибирской в исторической морене и ее подножии выше современной границы леса на 200 м над у. м. и далее по долине 1,5 км, датируемая по углеродному анализу 7,5 тыс. лет. Это подтверждает тезис о том, что современные ледники отсутствовали. Они зародились еще до МЛП, примерно 3–4 тыс. лет назад. В настоящий период изменения климата в сторону потепления [IPCC, 2013] наблюдаются трансформации геосистем, связанные с изменением высотных поясов и состояния ледников. Происходит повышение границы леса, сформировавшейся еще до МЛП и сохранявшейся в этот период оледенения. Ледники проявляют эффекты самоорганизации (самосохранения) посредством бронирования поверхностными моренами [Reduced ... , 2016]. Образуются каменно-ледовые потоки, сохраняющие свою активность значительно ниже хионосферы.

Ледники сами по себе являются динамическими объектами с элементами самоорганизации, что представляет самостоятельный интерес при изучении процессов самоорганизации и трансформации геосистем. Изучению динамики и трансформации пульсирующих ледников и больших купольных ледников посвящены отдельные работы [Dynamics ... , 2019; Pozdnyakov, 2013].

Материалы и методы исследования

Горный массив Мунку-Сардык (одноименная вершина 3491 м над у. м.) представляет собой наиболее высокий хребет Восточного Саяна. В массиве в районе главной вершины – четыре самых крупных ледника этой территории, два с российской стороны (ледник Перетолчина (северный) под главной вершиной и Радде (под вершиной Эскадрилия, 3177 м)) и два с монгольской стороны (Перетолчина (южный) под главной вершиной и Пограничный (под пиком Пограничный, 3425 м)).

Для расчета параметров ледников (площади, длины, изменения границ и составляющих частей) и отслеживания их динамики использовались разномасштабные и разновременные данные дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) – Landsat, Quick Bird, Sentinels, топографические карты, результаты многолетних экспедиционных исследований.

Для анализа данных ДЗЗ использовался пакет программ ГИС Arcview-3.2a. С помощью этого инструмента был создан ГИС-проект.

Результаты и их обсуждение

Поведение нивально-гляциальных образований рассмотрено на примере ледника Радде и каменно-ледового потока. Ледники массива бронируются поверхностными моренами, но особенно это проявляется у ледника Радде. С конца МЛП он практически не изменил своего положения, но существенно сократился по площади открытой части. На рисунке 1 представлено несколько стадий ледника.

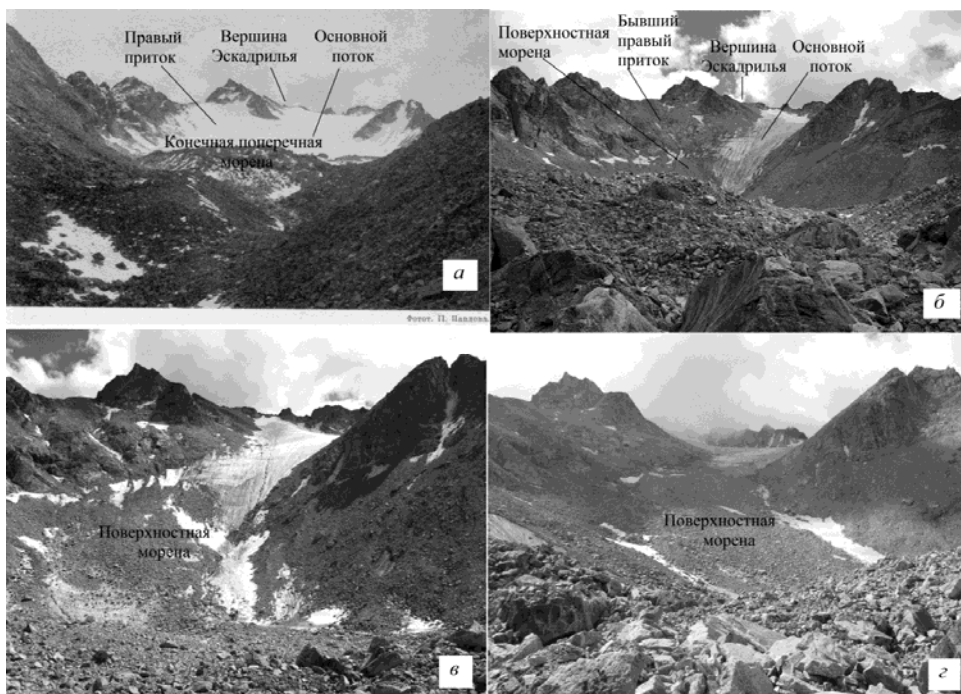


Рис. 1. Динамика ледника Радде: а – вид ледника на фото С. П. Перетолчина, 1900 г.; б – начало образования бронирующих морен, 2006 г.; в – 2010 г.; г – 2018 г.

Характерным индикатором состояния ледника является его открытая часть. Динамика ледника отражена в табл. 1, из которой видно, что площадь открытой части за последние 100 лет постоянно сокращается [Modern Changes ... , 2015]. Однако отступление ледника неравномерно. В отдельные годы наблюдается наступание ледника, которое можно рассматривать как определенную форму его самоорганизации (самосохранения). Такими ано-

мальными периодами в ближайшее время были 2013–2014 гг. Тогда же наблюдалось подобное изменение у ледников в Гималаях [Китов, Плюснин, 2019]. Особенно процессы трансформации проявились у пульсирующих ледников. Так, ледник Гхоне в Непале уничтожил деревню. По историческим конусам выноса видно, что подобные события происходили на данной территории и раньше. Именно пульсирующие ледники наиболее существенно изменяют ландшафты. После события включаются процессы восстановления ледника более быстрыми темпами.

Таблица 1

Изменение площади крупных ледников массива Мунку-Сардык по данным Landsat, км²

Год	Пограничный	Радде	Перетолчина
2000	0,12	0,19	0,42
2006	0,09	0,19	0,37
2014	0,14	0,20	0,39
2015	0,07	0,10	0,30
2018	0,05	0,09	0,26

По оценке С. П. Перетолчина, в 1900 г. площадь ледника Радде составляла 0,3, а Перетолчина – 0,68 км² [Перетолчин, 1908].

С уменьшением открытой части ледника соответственно увеличивается площадь морен. Изменение площади поверхностных морен и скорость ее изменения представлены в табл. 2 по данным Landsat.

В 2013–2014 гг. происходило сокращение площади морен, но в последние годы их площадь увеличивается, возрастает скорость бронирования. Уменьшение открытой части ледника не говорит о том, что ледник сокращается до размеров этого участка ледника. Как правило, длина ледника сохраняется. Под поверхностными моренами сокращение общей массы льда замедляется. Накопление обломочного материала на поверхности ледника сдерживает таяние льда. Динамика повышения верхней границы морен показана на рис. 2 (см. рис. 1 и табл. 2).

Таблица 2

Изменение площади и границ поверхностных морен ледника Радде

Год	Площадь, м ²	Диапазон лет	Приращение площади, км ²	Скорость изменения, км ² /год	Высота верхней границы, м
1900	0	0	–	–	2770
2000	51 971,096	100	0,052	0,001	2780
2006	117 936,64	6	0,066	0,011	–
2013	69 950,521	7	–0,048	–0,007	–
2014	41 531,296	1	–0,028	–0,028	–
2015	116 578,91	1	0,075	0,075	2850
2017	117 936,64	2	0,001	0,001	2870
2019	123 271,3	2	0,005	0,003	2920

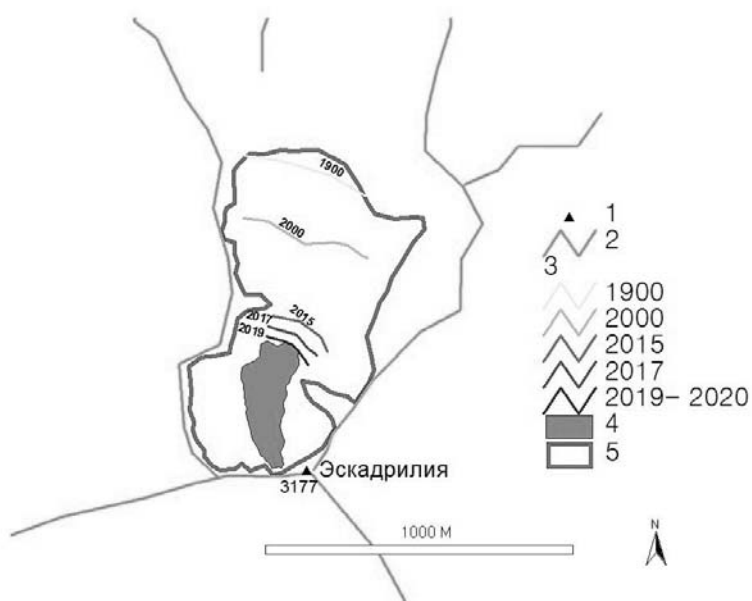


Рис. 2. Изменение верхней границы поверхностных морен ледника Радде: 1 – вершины; 2 – линии хребтов; 3 – границы морен (соответствующие годы); 4 – современная открытая основная часть ледника; 5 – реконструкция границы ледника в 1900 г.

Каменный глетчер – уникальный пример трансформации бывшего ледника в каменно-ледовый поток, который превратился в самостоятельную геосистему (рис. 3).

Описание отдельных участков и их площади представлено в табл. 3. Верхнюю часть структуры составляет кар, ложе бывшего ледника, частично заполненное обломочным материалом современных осыпей (тип 9), ниже – выположенный участок кара (8). Вероятно, ледник спускался двумя языками – ложе левого потока и правого (7) соответственно. Левый поток остановился, а правый продолжал активную деятельность благодаря сформировавшимся зонам питания (6). Активный гребень (5) состоит из современного обломочного материала, имеет трещины отрыва, в которых просматриваются ледяные вкрапления (фактически это каменный глетчер). Слева расположен менее активный оползневой участок (4) в виде луговины. Ниже по центру находится участок, уже поросший кустарником и «пьяным» редколесьем (3), обрамленный боковыми моренами (2). Заканчивается вся эта структура «живой осыпью» (1), с которой постоянно в русло р. Белый Иркут скатывается осадочный материал. Вся структура (7, 6, 5, 4, 3, 2, 1) неравномерно движется вниз. Со стороны Белого Иркут на осыпи видна линия сопряжения рыхлого материала с коренными породами – это ледяная подложка, по которой скользит вся структура. Она же является истоком образования наледи на склоне осыпи.

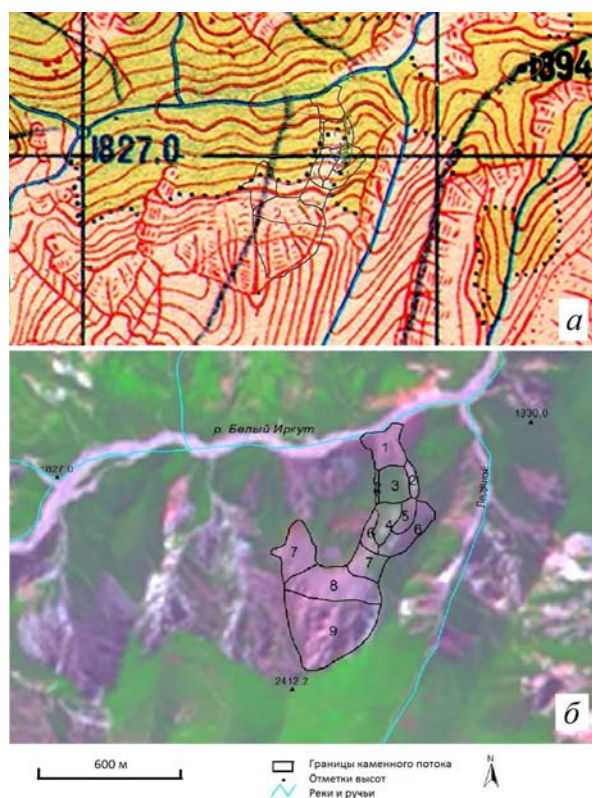


Рис. 3. Каменный поток: а – на фоне топографической карты; б – космоснимок Landsat-8, 2015 г. (Пояснение в тексте)

Таблица 3

Структура каменного потока

ID	Тип	Название компонента структуры	Площадь, кв.м	Периметр, м
0	1	Осыпь	24252	694
2	2	Боковая морена 1	5775	384
3	2	Боковая морена 2	2632	340
4	3	Кустарник	19956	566
5	4	Луговина	14242	536
6	5	Активный гребень	9669	433
7	6	Зона питания 1	22425	800
8	6	Зона питания 2	8304	470
9	7	ложе правого потока	22141	631
10	8	центральное ложе	41025	1055
11	7	ложе левого потока	29237	760
12	9	верх кара (пустое ложе палеоледника)	92428	1255

Механизм действия каменного потока следующий. Обломочный материал поступает со склонов кара, пропитывается атмосферными осадками и грунтовыми водами, зимой эта каменная масса замерзает, формируется каменно-ледовый поток, который постоянно движется по обледеневшим коренным породам (по ложу данного каменного потока). По нашим наблюдениям, каменный поток ведет себя как пульсирующий глетчер.

Одним из видов зависимостей, описывающих поведение систем с запаздыванием, является явление гистерезиса, которое используется в системах автоматизированного управления [Карпов, 2012]. При прогнозе стока рек применяются модели систем с запаздыванием – расход воды $Q = Q(H)$ от глубины потока H [Руководство, 1989]. Практический интерес также представляет запаздывание изменения температуры грунта на различных глубинах от колебаний температуры воздуха [Дюкарев, 2012]. Осенью и в начале зимы, когда температура воздуха опускается ниже нуля, накопленное грунтом за теплый сезон тепло еще остается в нем. Поскольку ледник представляет собой динамический поток твердой воды, он должен подчиняться этим же законам, имеющим экспоненциальный вид [Там же]. Проверить это для ледников затруднительно, так как инструментальные климатические и погодные наблюдения продолжаются немногим более века, а ледниковые процессы длятся десятками и сотнями тысяч лет.

Такой процесс может описываться в общем виде системой уравнений:

$$y \text{ (наступления)} = \exp(a + bx) / ((1 + \exp(a + bx)));$$

$$y \text{ (деградации)} = \exp(c + dx) / ((1 + \exp(c + dx))),$$

где a, b, c, d – климатические характеристики; y – мощность ледника, x – временная характеристика.

Отступление ледника идет по одной ветви (1) графика гистерезиса с запаздыванием от климатических изменений (рис. 4, верх графика – состояние ледника в период оледенения; низ – состояние в межледниковый период, деградация). Ледник сопротивляется, формирует поверхностные морены, что способствует его самосохранению. При исчезновении ледника происходит трансформация в геосистему нижнего высотного пояса. С наступлением новой ледниковой эпохи также с запаздыванием отступают геосистемы, занявшие территорию ледника. По другой смещенной ветви (2) гистерезиса ледник начинает наступать на геосистемы нижних высотных поясов (см. рис. 4, нижний уровень). Сначала он заполняет ложе кара в виде многолетнего снежника, формирует ледяное тело, заполняет кар полностью (средняя часть S-образной кривой), заполнив весь кар до верха хребта (см. рис. 4, верхняя часть графика – насыщение), формирует долинную часть.

Заключение

В настоящее время мы можем наблюдать стадию отступления (деградации) ледника примерно в средней части межледникового периода. Особенности трансформации и самоорганизации нивально-гляциальных геосистем рассмотрен на примере современного ледника Радде и полностью деградировавшего ледника и трансформировавшегося в своеобразный каменный

глетчер. Стадии ледника Радде с конца МЛП указывают на характерные периоды трансформации – уменьшение открытой части ледника и формирование поверхностных морен – как процесса самосохранения ледника. Этот процесс изменения нивально-гляциального образования характерен для большинства горных ледников в настоящий период изменения климата [Reduced, 2016; Dynamics, 2019]. Изменение ледников происходит неравномерно – наблюдаются периоды наступания (2013, 2014 гг.) и последующего отступления. Однако в наблюдаемый период по площади открытой части практически все ледники сократились в два раза, в то же время скорость приращения поверхностных морен (бронирования) замедляется.

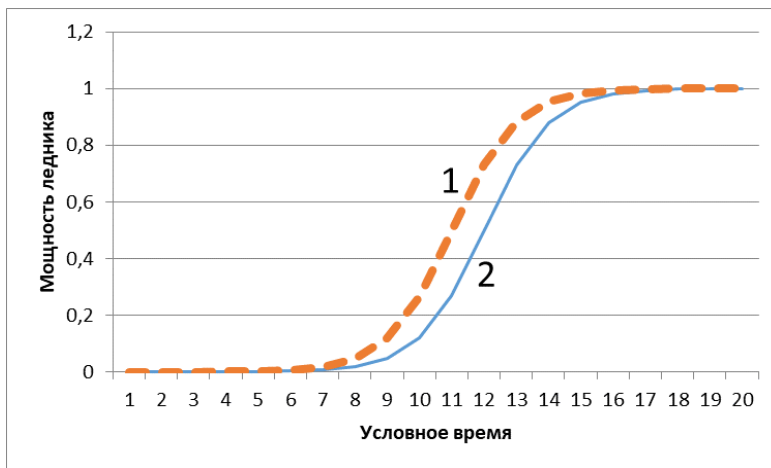


Рис. 4. Условная трансформация ледниковой геосистемы:

1 – деградация ледника; 2 – наступание ледника.

Ось абсцисс – условное время; ось ординат – условный объем ледника

Уникальный каменный поток (каменный глетчер) является примером преобразования классического ледника в новую структуру, которая на данном этапе не зависит от наблюдаемого потепления и может существовать как самостоятельный объект довольно продолжительное время. Обломочный материал поставляется разрушающимися скальными породами, а транспортное ледяное ложе формируется в зимний период из грунтовых вод на уровне коренных пород как подповерхностная наледь.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-05-00253А «Трансформация геосистем Байкальской природной территории»).

Список литературы

Волкова Е. С., Мельник М. А., Бородавко П. С. Климатогенная трансформация нивально-гляциальных ландшафтов Западной Монголии и их последствия // Успехи современного естествознания. Серия: Науки о Земле. 2018. Т. 11. С. 311–316.

Дюкарев Е. А. Амплитуда суточного хода температуры торфяной почвы // Вестник Томского государственного университета. Серия: Биология. 2012. Т. 365. С. 201–205.

Карпов А. Г. Теория автоматического управления. Ч. 2. Томск : Изд-во ТМЛ-Пресс, 2012. 264 с.

Kitov A. D., Plyusnin V. M. Сравнение динамики ледников в Гималаях и горах юга Восточной Сибири // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2019. Т. 29. С. 68–84. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.29.68>

Коновалова Т. И., Ноговицина Е. И. Трансформация геосистем восточной части Предсаянского прогиба // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2018. Т. 24. С. 34–52. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.34>

Коновалова Т. И. Трансформация геосистем Предбайкалья // Известия Иркутского государственного университета. Серия Науки о Земле. 2020. Т. 31. С. 26–47. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.26>

Перетолчин С. П. Ледники хребта Мунку-Сардык. Томск : Типолитография Сиб. т-ва печатного дела, 1908. 60 с. (Известия Томского технического института ; т. 9).

Руководство по гидрологическим прогнозам. Вып. 2. Краткий прогноз расхода и уровня воды на реках. Л. : Гидрометиздат, 1989. 248 с.

Dynamics of surging glaciers in the sugran river basin (Pamirs) / V. M. Kotlyakov, L. P. Chernova, A. Y. Muraviev, T. Y. Khromova // Doklady Earth Sciences. 2019. Vol. 489, N 1. P. 1376–1382. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19110230>.

IPCC. Climate Change 2013. The Physical Science Basis / T. F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex, P. M. Midgley (eds.). Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York : Cambridge University Press, 2013. 1535 p.

Modern Changes of the High-Mountain Landscapes and Glaciation in Southern Siberia (Russia) by the Example of the Eastern Sayan Mountains / A. D. Kitov, S. N. Kovalenko, V. M. Plyusnin, E. G. Suvorov // Environ. Earth Sciences. 2015. Vol. 74, N 3. P. 1931–1946. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4455-y>.

Mountains of the World: a Global Priority / eds. by B. Messerli, J. D. Ives. New York and Carnforth, Parthenon Pub. Group, 1997. 450 p.

Pozdnyakov A. V. Glacial geosystems: Principles of Self-Organization // Geography and Natural Resources, 2013. Vol. 34, N 2. P. 118–123. <https://doi.org/10.1134/S1875372813020029>.

Reduced melt on debris-covered glaciers: investigations from Changri Nup Glacier, Nepal / C. Vincent, P. Wagnon, J. M. Shea, W. W. Immerzeel, P. Kraaijenbrink, D. Shrestha, A. Soruco, Y. Arnaud, F. Brun, E. Berthier, S. F. Sherpa // The Cryosphere. 2016. Vol. 10, P. 1845–1858. <https://doi.org/10.5194/tc-10-1845-2016>

Troll C. High mountain belts between the polar caps and the equator: their definition and lower limit // Arctic and Alpine Research, 1973. Vol. 5. P. 12–23. <https://doi.org/10.1080/00040851.1973.12003713>

Features of Transformation and Self-Organization of Mountain Nival-Glacial Geosystems

A. D. Kitov

V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The Munku-Sardyk mountain range (3,491 m) represents the territory of the modern glaciation of The East Sayan. Different forms of transformation of nival-glacial geosystems have been preserved in this range. The processes of transformation and self-organization of geosystems are considered on the example of the Radde glacier and the unique stone glacier.

Due to climate change, the glacier has shrunk considerably. Its area has decreased over 100 years from 0.3 to 0.19 km², and over the last 20 years from 0.19 to 0.09 km². However, the glacier has processes of self-preservation, slowing down the process of melting the glacier. This transformation of the glacier is manifested as the reservation of surface moraines. The peculiarities of the formation of surface moraines are considered. In the past century, the formation rate of moraines was 0.001 km²/year. Recently, the rate of formation of moraines has increased to 0.02 km²/year. In the second case, the unique stone stream (stone glacier) is an example of the transformation of the classical glacier into a new structure, which at this stage does not depend significantly on the observed warming, and can exist as an independent object for quite some time. The material is supplied by the rock of mountain range, and the transport by the ice bed is formed in winter from groundwater at the level of indigenous rocks, like sub-surface ice. The structure of this stone stream is presented as an independent geosystem. It is assumed that the nival-glacial geosystems behave like lag systems. From the analysis of freezing and thawing of soils it follows that the increase and degradation of glaciers should be subject to the law of hysteresis.

Keywords: mountain geosystems, Munku-Sardyk mountain range, glaciers, remote sensing data, geosystems transformation.

For citation: Kitov A.D. Features of Transformation and Self-Organization of Mountain Nival-Glacial Geosystems. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences*, 2021, vol. 35, pp. 33-43. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2021.35.33> (in Russian)

References

Volkova E.S., Melnik M.A., Borodavko P.S. Klimatogennaja transformacija nivalno-glacialnyh landshaftov Zapadnoj Mongolii i ih posledstvija [Climate-related transformation of the nival-glacial landscapes of Western Mongolia and their consequences]. *Uspehi sovremenogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2018, vol. 11, pp. 311-316. (in Russian)

Dyukarev E.A. Amplituda sutochnogo khoda temperatury torfynoi pochvy [Amplitude daily course of peat soil temperature]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Biologiya* [The Bulletin of Tomsk State University. Biology series], 2012, vol. 365, pp. 201-205. (in Russian)

Karpov A.G. Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [Automatic Control Theory]. Part 2. Tomsk, TML-Press Publ., 2012, 264 p. (in Russian)

Kitov A.D., Pluysnin V.M. Sravnenie dinamiki lednikov v Gimalayh i gorah yuga Vostochnoy Sibiri [Comparison of Glacier Dynamics in the Himalayas and Mountains of the Southern Eastern Siberia]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2019, vol. 29, pp. 68-84. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2019.29.68> (in Russian)

Konovalova T.I., Nagovizina E.I. Transformatsiya geosistem vostochnoi chasti Predsayanskogo progiba [The Transformation of Geosystems of the Eastern Sayan Deflection]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2018, vol. 24, pp. 34-52. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2018.24.34>. (in Russian)

Konovalova T.I. Transformatsiya geosystem Predbaikalia [Transformation of Pre-Baikal Geosystems]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Nauki o Zemle* [The Bulletin of Irkutsk State University. Series Earth Sciences], 2020, vol. 31, pp. 26-47. <https://doi.org/10.26516/2073-3402.2020.31.26>. (in Russian)

Peretolchin S.P. *Ledniki hrebtia Munku-Sardyk* [Glaciers of the Munku-Sardyk Range]. Series *Izvestiya Tomsk Tehn.Univ.* Vol. 9. Tomsk, Tipolitografiya Sib. tov-va pechatnogo dela Publ., 1908, 60 p. (in Russian)

Rukovodstvo po gidrologicheskim prognozam. Vypusk 2. Kratkii prognoz raskhoda i urovnya vody na rekakh. [The guide to hydrological forecasts. Issue 2. The brief forecast of flow and water level on rivers]. Leningrad, Gidrometizdat Publ., 1989, 248 p. (in Russian)

Kotlyakov V.M., Chernova L.P., Muraviev A.Y., Khromova T.Y. Dynamics of surging glaciers in the sugran river basin (Pamirs). *Doklady Earth Sciences*, 2019, vol. 489, no. 1, pp. 1376-1382. <https://doi.org/10.1134/S1028334X19110230>

IPCC. Climate Change 2013. The Physical Science Basis. *Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M., eds. Contribution of Working Group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, Cambridge University Press, 2013, 1535 p.

Kitov A.D., Kovalenko S.N., Plyusnin V.M., Suvorov E.G. Modern Changes of the High-Mountain Landscapes and Glaciation in Southern Siberia (Russia) by the Example of the Eastern Sayan Mountains. *Environ. Earth Sciences*, 2015, vol. 74, iss. 3, pp. 1931-1946. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4455-y>.

Messerli B., Ives J.D. (eds.). *Mountains of the World: a Global Priority*. New York and Carnforth, Parthenon Pub. Group, 1997. 450 p.

Pozdnyakov A.V. Glacial geosystems: Principles of Self-Organization. *Geography and Natural Resources*, 2013, vol. 34, no. 2, pp. 118-123. <https://doi.org/10.1134/S1875372813020029>

Troll C. High mountain belts between the polar caps and the equator: their definition and lower limit. *Arctic and Alpine Research*, 1973, vol. 5, pp. 12-23. <https://doi.org/10.1080/00040851.1973.12003713>

Kitov Александр Данилович

кандидат технических наук,
старший научный сотрудник
Институт географии им. В. Б. Сочавы
СО РАН
Россия, 664033, г. Иркутск,
ул. Улан-Баторская, 1
e-mail: kitov@irigs.irk.ru

Kitov Aleksandr Danilovich

Candidate of Science (Technical),
Senior Research
V. B. Sochava Institute of Geography SB RAS
1, Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033,
Russian Federation
e-mail: kitov@irigs.irk.ru