

- [12] Rekomendacii po adaptacii sel'skogo hozjajstva Respubliki Tyva k izmeneniju klimata // Krasnojarsk: WWF Rossii, Oxfam-GB, Ubsunurskij mezhdunarodnyj centr biosfernyh issledovanij pod jegidoj SO RAN i Pravitel'stva Respubliki Tyva, 2011. S. 66.
- [13] *Semenov V. A.* Klimatoobuslovlennye izmenenija povtorjaemosti i vzaimosvjaz' opasnyh gidrometeorologicheskikh javlenij na aziatskoj territorii Rossii // *Klimatologija i gljaciologija Sibiri: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. Tomsk, 2012. S. 274—276.*
- [14] *Suhova M. G.* Klimaticheskie uslovija i resursy Central'nogo Altaja (na primere Ongudajnskogo rajona) // *Geojekologija Altae-Sajanskoj gornoj strany. Gorno-Altajsk, 2005. Vyp. 1. S. 156—161.*
- [15] *Harlamova N. F.* Ocenka i prognoz sovremennyh izmenenij klimata Altajskogo regiona. Barnaul: Izd-vo AltGU, 2013. 156 s.

Изв. ПГО. 2016. Т. 148, вып. 5

О СОСТОЯНИИ ЛЕДНИКОВ СЕВЕРНОГО МАКРОСКЛОНА ХРЕБТА ТЕРСКОЙ-АЛАТОО ЗА ПОСЛЕДНИЕ 50 ЛЕТ

© Е. К. БАКОВ,¹ А. П. МЕЛЬНИКОВА²

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского,
Арзамасский филиал
E-mail: ¹ evg.bakov@yandex.ru
² ant.melnikova@mail.ru

Статья посвящена изменению площади оледенения ледников хребта Терской-Алатоо на Тянь-Шане за последние десятилетия. Район исследования в гляциологическом отношении изучен хорошо. Более 100 лет назад, исследовав ледники северного склона хребта, ученые узнали о «сильно усыхающих» глетчерах в этой горной стране. Сокращение оледенения продолжается до сих пор, причем с нарастающими темпами. Сравнительный анализ материалов каталога ледников хребта Терской-Алатоо 60—70-х гг. прошлого столетия и космической съемки 2010 г. показал, что за истекший период площадь оледенения уменьшилась более чем на 40 % в результате глобального потепления климата и уменьшения осадков в высокогорной зоне региона. Общее количество ледников увеличилось за счет распада более крупных. Полученные результаты не противоречат данным по другим районам земного шара.

В статье показано, что сокращение оледенения на Тянь-Шане не исключительное событие, характерное для современности. Полный или почти полный распад оледенения на Тянь-Шане в голоцене происходил и не в столь отдаленные времена, например в первом тысячелетии н. э.

Ключевые слова: Тянь-Шань, хребет Терской-Алатоо, каталог ледников 1976 г., спутниковая информация, картографические материалы, изменение климата, деградация оледенения, масса ледников, ледниковый сток, потепление климата.

Введение. Хребет Терской-Алатоо (Тянь-Шань, Киргизия), протянувшийся широтно почти на 400 км, с высотами гребневой зоны 4—5 тыс. м, оконтуривает с юга котловину оз. Иссык-Куль (рис. 1). Ледники хребта Терской-Алатоо — самые изученные на Тянь-Шане. Первые сведения о них находим в публикациях П. П. Семенова (Тян-Шанского), А. В. Каульбарса, Л. Ф. Костенко, В. В. Сапожникова. Последний в 1905 г. впервые упомянул «о четырех сильно усохших ледниках» в верховье р. Тургенъ-Аксу (восточная часть хребта).



Рис. 1. Район исследования — хребет Терскей-Алатоо (Тянь-Шань).

Наиболее полные гляциологические сведения об оледенении северного склона хребта Терскей-Алатоо (бассейн оз. Иссык-Куль) появились в материалах гидрологической экспедиции под руководством Н. Г. Кассина в 1914 г. Были приведены описания 30 наиболее «значимых» ледников: указаны их длина, ширина, площадь и высоты концов языков. Площадь оледенения была оценена в 450 кв. версты (513 км²), вместе со «снежными полями». Исследователи также отмечали, что «большинство ледников находится в стадии отступания, меньшинство — в стационарном состоянии и редкие наступают». Эти материалы с некоторыми дополнениями использовал при составлении первого для Средней Азии «Каталога ледников» Н. Л. Корженевский в 1930 г. По его данным, в хребте Терскей-Алатоо насчитывалось 189 ледников, из которых на северный склон приходилось 119 (63 %).

В 1956 г. на основе картографических материалов 1943 г. Р. Д. Забировым [4] была подсчитана площадь оледенения всего северного склона хребта, которая составила 496.4 км² (без ледников бассейна р. Баянкол, относящегося к бассейну оз. Балхаш). В 1976 г. по материалам аэрофотосъемки (АФС) 1943, 1956, 1964 гг. и наземных исследований 1962—1964 гг. сотрудниками Тянь-Шанской физико-географической станции АН Киргизской ССР был составлен Каталог ледников «Реки бассейна озера Иссык-Куль» [6]. Согласно данным каталога, площадь оледенения северного склона хребта Терскей-Алатоо составила 510 км². Всего насчитывалось 675 ледников. На площадь открытых (не заморенных) поверхностей приходилось 463.0 км².

Материалы исследования и результаты. В основу нашего сообщения легли материалы «Каталога...» 1976 г., топографические карты масштаба 1:100 000 1984 г. (для идентификации ледников на местности) и космической съемки (КС) 2010 г. (Ландсат 7), увеличенной до масштаба АФС (1:11 000—1:16 000) (более 50 снимков размером 23.5 × 15 см) (рис. 2). Подсчет площади ледников проводился только для их открытых участков (в каталоге такая графа присутствует) во избежание субъективного подхода в определении истинного положения концов ледников в условиях их уплощения и бронирования моренным материалом. Несмотря на высокую разрешающую способность снимков (10—15 м), объективно установить границу между заморенным языком ледника и склоновыми, конечно-моренными и приледниковыми отложениями зачастую не представляется возможным. Заметим также, что ледни-



Рис. 2. Вид из космоса на ледники Кара-Баткак (по каталогу № 265) и Айлама (по каталогу № 267).

ки Терскей-Алатао относительно «чистые»: в среднем под мореной занято лишь 9 % площади.

В настоящее время имеется много компьютерных программ по определению площадей по КС. Но для получения сопоставимых результатов подсчет площадей проводился, как и при составлении «Каталога...» 1976 г., методом палетки с точностью до 0.01 км². Уклон поверхности ледников также не учитывался.

Аэровизуальное обследование ледников хребта Терскей-Алатао, проведенное нами еще в 1982 г., показало, что при каталогизации было пропущено достаточно большое количество малых ледников (площадью менее 0.1 км²), что подтвердилось и материалами КС. Были пропущены и некоторые более крупные глетчеры (особенно в бассейнах рек Улахол, Ак-Терек (западный) и Ак-Сай на западном участке хребта). Такие «просчеты» можно объяснить плохим качеством АФС 1943 и 1956 гг. и отсутствием в бассейнах с небольшим оледенением наземных исследований.

Результаты наших подсчетов по КС и данных «Каталога...» 1976 г. по бассейнам рек приведены в таблице. Изменения площадей ледников в различных бассейнах колеблются от + 4 до –62 %. Такой разброс обусловлен рядом причин. Во-первых, в «Каталоге...» в некоторых бассейнах в графе «Ледники площадью менее 0.1 км²» стоит прочерк. Таких неучтенных ледников набралось более 100. Во-вторых, площади некоторых достаточно крупных глетчеров приведены неверно. Так, например, площадь сложно-долинного ледника Тургень-Аксу (№ 443) со своими притоками (№ 442, 444, 445) в таблице каталога указана равной 7.4 км², в тексте (с. 29) — 10.9 км², а по подсчетам, сделанным в 1966 г., она составила 11.4 км² [9]. Площади других ледников на момент составления каталога оказались, наоборот, завышены. Так, в бассейне р. Чон-Джаргылчак из 19 ледников таких насчиталось 9. Площадь головного ледника Королькова (с притоком) по каталогу равна 3.5 км² (1964 г.), а по нашим измерениям 1972 г. — только 2 км²; соседних с ним ледников — № 152 и 157 — площади по каталогу равны соответственно 0.7 и 0.5 км², а по нашим измерениям — 0.5 и 0.3 км². Наземные исследования 1962—1964 гг. и 1977 гг. в этом бассейне наступающих ледников не зафиксировали, как и на других участках северного склона.

**Изменение количества ледников и площади оледенения на северном макросклоне
хребта Терской-Алатоо за 50 лет**

Название бассейна реки (№ ледников)	Количество ледников				Площадь оледенения, км ²		
	по каталогу		2010 г.		по ката- логу	2010 г.	изменение площади, %
	>0.1 км ²	<0.1 км ²	>0.1 км ²	<0.1 км ²			
Улахол (1—7)	7	—	8	12	2.1	2.19	+4.2 (33.8)
Ак-Терек (8—26)	19	4	24	31	21.8	16.95	22.2 (34.5)
Ак-Сай (27—49)	22	—	33	20	44.3	24.09	45.6 (51.1)
Тон (50—72)	24	—	28	11	29.5	14.60	50.5 (56.3)
Тоссор (73—95)	23	—	29	11	18.4	10.70	41.9 (48.1)
Тамга (96—102)	7	3	16	5	5.3	5.17	2.5 (24.9)
Барскаун (103—145)	43	25	63	24	31.5	25.1	19.0 (32.5)
Ч. Джаргылчак (146—164)	19	4	19	10	11.5	10.24	11.0 (42.3)
К. Джаргылчак (164—172)	8	—	8	8	8.0	3.62	54.7 (59.0)
Ак-Терек-Чичкан (173—178)	6	6	8	10	7.0	4.46	36.3 (44.6)
Джуука (179—232)	54	20	56	38	44.3	23.69	46.5 (52.4)
К.-Кызылсу (233—241)	9	5	9	12	3.6	2.08	42.2 (54.1)
Ч.-Кызылсу (242—271)	30	16	29	40	40.3	27.59	31.5 (35.4)
Джеты-Огуз (272—296)	25	16	37	21	31.3	26.09	16.7 (23.2)
Ирдык (297—301)	5	—	4	3	3.6	1.51	58.1 (62.8)
Каракол (302—352)	51	18	55	16	54.6	34.47	36.9 (41.0)
Аксу (353—421)	69	32	76	31	64.2	52.80	17.8 (41.4)
Джергес-Бозучук (422—425)	4	11	4	5	2.1	1.25	40.5 (31.5)
Тургень-Аксу (426—461)	36	15	39	16	31.6	27.49	13.0 (35.6)
Джергалан (462—469)	8	6	6	7	2.9	1.77	39.0 (40.8)
Тон (470—481)	12	13	7	12	5.1	1.95	61.8 (50.4)
Терской-Алатоо	481	194	558	343	463.0	318.2	31.9 (42.6)

Примечание. Первая цифра показывает изменение площади оледенения в бассейнах ледников по КС и «Каталогу» (1976); вторая, в скобках, — только для тех ледников, аналоги которых имеются в «Каталоге».

Аналогичная картина наблюдается и в распределении количества ледников. Так, например, не все притоки сложно-долинных ледников имеют статус самостоятельных. У таких сложно-долинных ледников, как Айлама (№ 267), Телеты (№ 294), Уюнтюр-восточный (№ 325), и некоторых других, более мелких, притоки в разряд самостоятельных не вошли.

Максимальные различия в изменениях площади ледников по сравнению с данными каталога в бассейнах рек Улахол, Тамга, Ирдык и Тюп имеют разное объяснение. Так, в бассейне р. Улахол увеличение общей площади произошло из-за включения 13 ранее не учтенных ледников, один из которых площадью более 0.1 км². В бассейне р. Тамга «новых» ледников с площадью более 0.1 км² оказалось тоже больше десятка. Существенное сокращение площади оледенения в бассейнах рек Ирдык и Тюп, на наш взгляд, обусловлено орографическим фактором. Так, разница между высшими и низшими точками ледников в этих бассейнах составляет 360 и 430 м соответственно, а разница между высшими точками ледников и фирновой линии — всего лишь 120 и 140 м. А в типичных бассейнах (например, рек Барскауне, Аксу, Караколе и др.) первые величины варьируют в пределах 700—800 м, а вторые — 480—570 м. (При уменьшении количества осадков первые ледники при незначительной площади аккумуляции сокращаются сильнее). Катастрофическое сокращение ледников в бассейне р. Тюп, залегающих в сравнительно невысокой и выровненной гребневой зоне, подтверждается и уменьшенной величиной ледникового стока. В отличие от других рек северного склона хребта Терскей-Алатау, где ледниковая составляющая в стоке с 1960-х гг. выросла на 11.3—17.1 %, в бассейне р. Тюп она увеличилась всего на 0.6 % [13].

Анализ изменения площадей оледенения мы проводили только для тех ледников «Каталога...», которым нашлись аналоги на космической съемке 2010 г. Результаты этих подсчетов (в %) приведены в последней графе таблицы в скобках. Они показали, что за период с 1956—1964 (а большинство площадей подсчитывалось по АФС 1956 г. и наземным обследованиям 1962—1964 гг.) по 2010 г. ледники потеряли в среднем 42.6 % своих площадей (от 23 до 63 %). Величина сокращения оледенения в хребте Терскей-Алатау вполне сопоставима с аналогичными результатами по северному склону хребта Заилийского Алатау, где за период с 1955 по 2004 г. ледники потеряли 40.8 % площади [3]. По данным этих авторов, ледники всего Северного Тянь-Шаня за это время потеряли 56.3 % своей площади. В соседнем Джунгарском Алатау ледники южного склона за 55 лет потеряли 47.4 % площади [7]. Материалы по другим горным странам от Альп до Камчатки показывают, что за период 50—70 лет ледники в этих районах также потеряли от 30 до 50—70 % своих площадей [1, 5, 11]. Это согласуется с величиной сокращения площади арктических льдов и отвечает тенденции современного климата к потеплению и иссушению.

За последние 70 лет в высокогорном Тянь-Шане (метеостанция «Тянь-Шань», высота 3614 м) температура воздуха за теплое время года повысилась на 0.8 °C, а июльская — на 0.9 °C [13]. Количество осадков за это время сократилось на 22 %. По данным С. С. Кутузова [8], в этом районе только с 1999 по 2007 г. среднегодовая температура воздуха повысилась на 1 °C, что безусловно отрицательно сказалось на балансе массы ледников.

Так, например, на репрезентативном леднике Кара-Баткак с 1977 по 1999 г. ледовый баланс был постоянно отрицательным. В результате его поверхность с 1957 по 1997 г. снизилась на 18 м (при толщине льда в языковой

части 50 м). Эти изменения хорошо видны даже при визуальном сравнении рис. 3 и 4. На двенадцати крупнейших ледниках южного склона хребта Терской-Алатоо за меньший период (с 1965 по 2000 г.) их поверхности также понизились в среднем на 21 м [8]. Эти изменения хорошо согласуются с величиной темпов отступления ледников и уменьшением ледникового коэффициента. Если ледники северного склона хребта Терской-Алатоо с 1943 по 1979 г. отступали в среднем со скоростью 5 м/год [12], то к 2000 г. темпы сокращения достигли 7—13 м/год у долинных ледников и 3—5 м/год — у малых форм [13]. Наши измерения в 1988—1990 гг. в бассейне р. Барскаун на леднике № 133, расположенном на благоприятном для оледенения наветренном склоне, показали, что даже довольно крутой лоб ледника (17—20°) отступал со скоростью 8.6—11.5 м/год.

Синхронно с высокогорьем изменение климата наблюдается и в среднегорной зоне. По данным метеостанции «Пржевальск» (высота 1778 м) в период с 1972 по 2005 г. среднегодовая температура воздуха в этой зоне повысилась на 0.9°, а за теплый период (V—IX) — на 0.76° [14]. При этом автор указывает, что за это время произошло увеличение осадков на 16 %, что позитивно на балансе массы ледников не отразилось. В Иссык-Кульской котловине увеличение осадков происходит лишь до высоты 3000 м, а выше, где располагаются ледники, они сокращаются [15]. Это подтверждается и параметрами ледниковых коэффициентов: на момент составления каталога у крупных глетчеров он составлял 0.94—1.28, а в начале 2000-х гг. — всего 0.59—0.64 [13].

Темпы сокращения площади оледенения с конца XX—начало XXI в. настолько масштабны, что это вызывает определенное беспокойство за будущее народов Средней Азии, чье хозяйство в значительной степени зависит от вод ледников, используемых для орошения. Ведь ледниковая составляющая в общем стоке рек доходит до 30 %, а с каждым годом общий объем поступающей воды сокращается. По прогнозам О. А. Подрезова с соавторами [13], увеличение водности рек Тянь-шаньского региона, имеющих существенный ледниковый сток, в результате интенсивного таяния будет продолжаться еще 20—35 лет. В районах с незначительным оледенением общий сток сократится уже через 10—15 лет, после чего роль ледников в обводнении территории сведется к минимуму, если они не исчезнут совсем.

Складывающаяся ситуация с резким сокращением оледенения в горных районах Центральной (в пределах бывшей Средней Азии) Азии не нова. Ранее на основании изучения спорово-пыльцевым и радиоуглеродным методами высокогорных торфяников (в том числе и приледниковых) и их геоморфологического положения нами были сделаны выводы, что в раннем, среднем голоцене и первом тысячелетии н. э. климат по сравнению с современным был суше и теплее [2, 10]. Об этом свидетельствуют факты накопления в долинах Шаркратма и Шатылы (бассейн р. Чон-Кызылсу) на высотах около 3500 м, в котловинах ледникового выпахивания озерно-болотных среднеголоценовых отложений (^{14}C -даты: 6190 ± 104 (УПИ-421), 6000 ± 160 (УПИ-169) и 5630 ± 90 лет (УПИ-614)) в непосредственной близости от морен «малой ледниковой эпохи» и современных ледников. Это позволяет считать, что территория на этих высотах уже в середине голоцена была свободна ото льда и больше ледниками не покрывалась. А концы ледников, судя по характеристике климата, основанной на палинологических данных, располагались выше современных. Особенно сухим и теплым было первое тысячелетие н. э.



Рис. 3. Язык ледника Кара-Баткак в 1987 г.
Фото Н. Жиганова.



Рис. 4. Язык ледника Кара-Баткак в 2009 г.
Фото О. Поморцева.

Учитывая скорость сокращения современного оледенения и климатические характеристики, мы пришли к выводу об исчезновении большинства Тянь-шанских ледников в первом тысячелетии н. э. На фоне сухого и теплого климата всего голоцена периоды от 6 до 5 и от 3 до 2 тыс. л. н. характеризовались повышенным увлажнением. Тогда могли существовать ледники, но по размерам они были меньше, чем оледенение «малой ледниковой эпохи». По нашим данным, максимальное разрастание ледников на Тянь-Шане в голоцене приходится на период «малой ледниковой эпохи».

Обследование ледниковых районов Внутреннего Тянь-Шаня показало, что на тех хребтах, гребни которых ниже 3500—3700 м, ледники уже исчезли. Это подтверждается и примерами резкого сокращения площади ледников в бассейнах рек Ирдык и Тюп, где гребни ледосборов расположены в пределах 3950—4150 м. Согласно выводам Е. Н. Вилесова с коллегами [3], современные ледники Заилийского Алатау при существующих темпах сокращения могут исчезнуть к концу XXI в., а Джунгарского Алатау — уже через 40 лет.

Выводы

Сокращение оледенения в горных странах, начавшееся в середине XIX в., продолжается и в настоящее время. За последние 50 лет оледенение северного макросклона хребта Терской-Алатау потеряло более 40 % своей площади и продолжает сокращаться. Если существующий климатический тренд повышения температуры воздуха сохранится и в будущем, то к концу XXI в. ледников на северном склоне хребта Терской-Алатау практически не останется.

Авторы благодарят В. Н. Коротаева (МГУ) за предоставленные КС, картографические материалы и О. А. Поморцева за фотографии.

Список литературы:

- [1] *Ананьева Э. Г.* Современное состояние ледников Корякского нагорья и оценка их эволюции к середине текущего столетия // *Лед и снег.* 2012. № 1 (117). С. 15—23.
- [2] *Баков Е. К., Мельникова А. П.* Современные ледники — продукт позднеголоценового похолодания климата // *Вест. науч. общ. Вып. 1.* М., 2009. С. 290—296.
- [3] *Вилесов Е. Н., Горбунов А. П., Морозова В. Н., Северский Э. В.* Деградация оледенения и криогенез на современных моренах северного Тянь-Шаня // *Криосфера Земли.* 2006. Т. X, № 1. С. 69—73.
- [4] *Забиров Р. Д.* Древнее и современное оледенение хребта Терской-Алатау и колебания уровня озера Иссык-Куль // *Изв. АН Кирг. ССР.* 1956. Вып. 2. С. 73—100.
- [5] *Золотарев Е. А., Харьковец Е. Г.* Эволюция оледенения Эльбруса после малого ледникового периода // *Лед и снег.* 2012. № 2 (118). С. 15—22.
- [6] Каталог ледников СССР (реки бассейна озера Иссык-Куль). Л.: Гидрометеиздат, 1976. 90 с.
- [7] *Кокарев А. Л., Шестерова И. Н.* Современное изменение горных ледников на южном склоне Джунгарского Алатау // *Лед и снег.* 2014. № 4. С. 54—63.
- [8] *Кутузов С. С.* Изменение ледников внутреннего Тянь-Шаня за последние 150 лет // Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2009. 26 с.
- [9] Ледник Тургень-Аксу. Фрунзе: Илим, 1976. 105 с.

- [10] Мельникова А. П., Баков Е. К. К вопросу о деградации оледенения на Северном Тянь-Шане в голоцене // МГИ. 1989. Вып. 67. С. 80—86.
- [11] Михаленко В. И., Архипов С. А., Кутузов С. С. Деградация горного оледенения в тропических и умеренных широтах в период глобального потепления климата // Изв. РАН. Сер. геогр. 2004. № 2. С. 35—41.
- [12] Оледенение Тянь-Шаня. М.: ИГ РАН, 1995. 237 с.
- [13] Подрезов О. А., Диких А. Н., Бакиров К. Б. Изменчивость климатических условий и оледенения Тянь-Шаня за последние 100 лет // Изв. КРСУ. 2003. С. 1—8.
- [14] Поморцев О. А. Интерпретация спорово-пыльцевых спектров высокогорий ледниковых и не ледниковых районов (Памиро-Алай, Тянь-Шань) // Журн. ритм. 2010. (5). С. 13—18.
- [15] Пономаренко П. Н. Атмосферные осадки Киргизии. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 134 с.

Поступило в редакцию
22 апреля 2015 г.

On condition of glaciers on the Northern slope of Terskey-Alatoo range for the last 50 years

© Е. К. Bakov,¹ А. П. Melnikova²

N. I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod, Arzamas branch

E-mail: ¹ evg.bakov@yandex.ru

² ant.melnikova@mail.ru

The glaciers of mountainous regions of the world have been reducing for more than 150 years, but the highest rate of reducing occurred in recent years.

Analysis of materials of the Northern slope of Terskey-Alatoo mountain range (Tian Shan) from the Catalogue of glaciers of 1960s—1970s and satellite data of 2010 has shown that glaciers have lost more than 40 % of their area for the last 50 years.

Key words: Tian Shan region, Terskey-Alatoo mountain range, Catalogue of glaciers of 1976, satellite data, climate change, reduction of glaciers.

References

- [1] Anan'eva E. G. Sovremennoe sostoyanie lednikov Koryakskogo nagor'ya i otsenka ikh evolyutsii k seredine tekushchego stoletiya // Led i sneg. 2012. N 1 (117). S. 15—23.
- [2] Bakov E. K., Mel'nikova A. P. Sovremennye ledniki — produkt pozdnegolotsenovogo pokholodaniya klimata // Vest. nauch. obshch. Vyp. 1. M., 2009. S. 290—296.
- [3] Vilesov E. N., Gorbunov A. P., Morozova V. N., Severskiy E. V. Degradatsiya oledeneniya i kriogenez na sovremennykh morenakh severnogo Tyan'-Shanya // Kriosfera Zemli. 2006. T. X, N 1. S. 69—73.
- [4] Zabiroy R. D. Drevnee i sovremennoe oledenenie khrebtta Terskey-Alatoo i kolebaniya urovnya ozera Issyk-Kul' // Izv. AN Kirg. SSR. 1956. Vyp. 2. S. 73—100.
- [5] Zolotarev E. A., Khar'kovets E. G. Evolyutsiya oledeneniya El'brusa posle malogo lednikovogo perioda // Led i sneg. 2012. N 2 (118). S. 15—22.
- [6] Katalog lednikov SSSR (reki basseyna ozera Issyk-Kul). L.: Gidrometeoizdat, 1976. 90 s.

- [7] Kokarev A. L., Shesterova I. N. Sovremennoe izmenenie gornyykh lednikov na yuzhnom sklone Dzhungarskogo Alatau // *Led i sneg*. 2014. N 4. S. 54—63.
- [8] Kutuzov S. S. Izmenenie lednikov vnutrennego Tyan'-Shanya za poslednie 150 let // Avtoref. dis. kand. geogr. nauk. M., 2009. 26 s.
- [9] Lednik Turgen'-Aksu. Frunze: Ilim, 1976. 105 s.
- [10] Mel'nikova A. P., Bakov E. K. K voprosu o degradatsii oledeneniya Severnogo Tyan'-Shane v golotsene // *MGI*. 1989. Vyp. 67. S. 80—86.
- [11] Mikhaleiko V. I., Arkhipov S. A., Kutuzov S. S. Degradatsiya gornogo oledeneniya v tropicheskikh i umerennykh shirotakh v period global'nogo potepleniya klimata // *Izv. RAN. Ser. geogr.* 2004. N 2. S. 35—41.
- [12] Oledenenie Tyan'-Shanya. M.: IG RAN, 1995. 237 s.
- [13] Podrezov O. A., Dikikh A. N., Bakirov K. B. Izmenchivost' klimaticheskikh usloviy i oledeneniya Tyan'-Shanya za poslednie 100 let // *Izv. KRSU*. 2003. S. 1—8.
- [14] Pomortsev O. A. Interpretatsiya sporovo-pyl'tsevykh spektrov vysokogoriy lednikovyykh i ne lednikovyykh rayonov (Pamiro-Alay, Tyan'-Shan') // *Zhurn. Ritm*. 2010. (5). S. 13—18.
- [15] Ponomarenko P. N. Atmosfernye osadki Kirgizii. L.: Gidrometeoizdat. 1976. 134 s.

Иzv. PГО. 2016. Т. 148, вып. 5

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ ЦИКЛИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИЗМЕНЕНИЯ МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЛАНДШАФТА

© **А. С. ВИКТОРОВ**

Институт геоэкологии РАН, Москва
E-mail: vic_as@mail.ru

Статья посвящена исследованию циклических процессов изменения морфологической структуры ландшафта. Циклическими процессами мы называем процессы изменения природно-территориального комплекса, характеризующиеся повторением последовательности изменений. Такой процесс не является строго периодическим, но носит некоторые следы периодичности. В результате исследований удалось выделить три класса циклических процессов и показать их реализуемость в природе на конкретных примерах. Показано, что все классы циклических процессов изменения морфологической структуры ландшафта порождают состояние динамического равновесия.

Ключевые слова: циклические процессы, динамика морфологической структуры ландшафта, математическая модель морфологической структуры, эрозионно-термокарстовые равнины, аллювиальные равнины, оползневой процесс.

Циклическими процессами мы называем процессы изменения природно-территориального комплекса, характеризующиеся повторением последовательности изменений. Такой процесс не является строго периодическим, но носит некоторые следы периодичности. Элементы циклических процессов исследовались в ряде работ [3, 5, 6, 7], в частности большое внимание им уделялось в пределах нового научного направления — математической морфологии ландшафта [1, 4, 11].

Цель работы — дать первичную классификацию циклических процессов изменения морфологической структуры ландшафта, показать реальность вы-