

ДЕГРАДАЦИЯ ОЛЕДЕНЕНИЯ И КРИОГЕНЕЗ НА СОВРЕМЕННЫХ МОРЕНАХ СЕВЕРНОГО ТЯНЬ-ШАНЯ

Е. Н. Вилесов, А. П. Горбунов*, В. Н. Морозова, Э. В. Северский*

*Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, географический ф-т,
050121, Алматы, ул. Тимирязева, 46, Казахстан*

**Казахстанская высокогорная геокриологическая лаборатория Института мерзлотоведения СО РАН,
050000, Алматы, а/я 138, Казахстан*

На основе материалов дешифрирования аэрофотоснимков залетов разных лет и картометрического анализа получена достоверная информация о темпах и интенсивности деградации оледенения и изменении структуры ледниково-моренного комплекса в четырех крупных ледниковых системах северного Тянь-Шаня во второй половине XX в. в связи с глобальным потеплением климата. За период с 1955 по 2004 г. площадь оледенения в ледниковых системах казахстанской части бассейна р. Или сократилась с 926,13 до 570,15 км, т. е. на 356 км, по 9,23 км/год. Отступление ледников и выход на дневную поверхность подледниковых отложений сопровождаются их интенсивной криогенной переработкой.

Ледники, морены, деградация, ледниково-моренный комплекс, криогенные процессы

DEGRADATION OF GLACIATION AND CRYOCENESIS OF MODERN MORAINES IN THE NORTHERN TIEN SHAN

E. N. Vilesov, A. P. Gorbunov*, V. N. Morozova, E. V. Severskiy*

*Al-Farabi Kazakh National University, Department of Geography, 050121, Almaty, Timiryazeva str., 46, Kazakhstan
* Permafrost Institute SB RAS, Kazakhstan Alpine Geocryological Laboratory, 050000, Almaty, P/O box 138, Kazakhstan*

The interpretation of aerial photographs of different years and analysis of maps helped us to obtain reliable information about the rates and intensity of degradation of glaciation and change in the structure of glacier-moraine complex in the fourth large glacial systems of the Northern Tien Shan in the second half of XX century. During the period of 1955/56–2004 the area of glaciation in the glacial systems of the Kazakhstan part of the Ili River basin reduced from 926.13 km² to 570.15 km², i. e., by 356 km² or 9.23 km² per year. A retreat of glaciers is accompanied by intense cryogenic processing of the bottom glacial deposits that outcropped on the surface.

Glaciers, moraines, degradation, glacier-moraine complex, cryogenic processes

ВВЕДЕНИЕ

С середины XX в. глобальное потепление климата сказалось на изменении характера оледенения гор Юго-Восточного Казахстана. Особенно сильно на деградацию оледенения воздействовали повышения сезонных и годовых температур приземного слоя воздуха (при том же режиме атмосферных осадков).

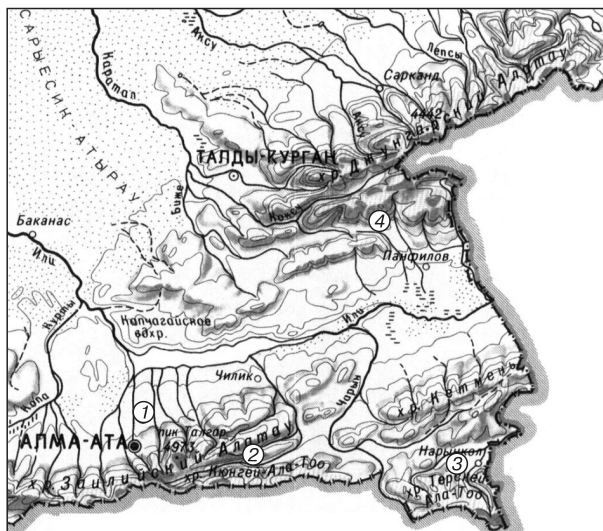
Запас воды в ледниках, таяние которых обеспечивает до 30–50 % летнего стока горных рек, служит важным показателем водных ресурсов. Потепление же приводит к сокращению площади и объема ледников, обуславливает уменьшение долговременного влагозапаса в них, изменяет общий речной сток и направленность криогенеза на моренах.

Результаты дешифрирования аэрофотоснимков и составленные на их базе крупномасштабные карты оледенения позволяют установить изменяющиеся параметры ледников, оценить запасы содержащегося в них льда и определить площади морен, высвободившихся из-под ледникового покрова.

МЕТОДИКА РАБОТ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследований выбраны четыре крупные ледниковые системы в пределах казахстанской части бассейна р. Или (рисунок). Это: 1) бассейны 13 левых притоков р. Или, от р. Узункаргалы на западе до р. Тургеня на востоке (северный макросклон Заилийского Алатау); 2) бассейн р. Чилик с оледенением на южном склоне Заилийского Алатау, Чилико-Кеминской горной перемычке и на северном склоне хр. Кунгей Ала-Тоо; 3) бассейны рек Чарын и Текес с оледенением на северных склонах Терской Ала-Тоо и Сарыджаз и на западном склоне Меридионального хребта; 4) бассейны рек Хоргос, Чижин, Тышкан, Бурхан и Усек, берущих начало на южном макросклоне Джунгарского Алатау (Жетысу Алатау).

Указанные ледниковые системы впервые были охвачены аэрофотосъемкой (АФС) в 1955 и 1956 гг. По этим материалам были составлены карты оледенения в масштабе 1:100 000 и Каталоги ледников региона [*Каталог..., 1967, 1968, 1969, 1975*].



Расположение горных ледниковых систем бассейна р. Или [Карта..., 1982, с. 60]:

1 – бассейны левых притоков р. Или (северный склон Заилийского Алатау); 2 – бассейн р. Чилик (южный склон Заилийского Алатау и северный склон Кунгей Ала-Тоо); 3 – бассейны рек Чарын и Текес (северные склоны Терской Ала-Тоо, Сарыджаз и западный склон Меридионального хребта); 4 – бассейны рек Хоргос, Чижин, Тышкан, Бурхан и Усек (южный склон Джунгарского Алатау).

В 70-е гг. XX в. для территорий ледниковых систем бассейна р. Или появились более крупномасштабные карты (1:25 000), позволившие на основе АФС залетов разных лет (1972, 1975, 1979) составить новые Каталоги ледников. Наконец, в 1990 г. была проведена последняя АФС региона. Поэтому для расчета изменений площадей ледников и морен для всех ледниковых систем были использованы аэрофотоснимки 1955/56 и 1990 гг.

Дешифрирование и картометрический анализ позволили получить достоверную информацию о темпах и интенсивности изменения оледенения казахстанской части бассейна р. Или с 1955 по 1990 г., о направленности процессов массообмена и эволюции ледников, об увеличении площадей, занятых моренным покровом, и на этой основе дать прогнозную оценку темпов сокращения оледенения и состояния ледниково-моренного комплекса на 2004 г.

Бассейны левых притоков р. Или – северный склон Заилийского Алатау. Первоначальной точкой отсчета наблюдений за состоянием этой ледниковой системы служит 1955 г., когда здесь впервые была проведена АФС, охватившая весь макросклон хребта. Материалы съемки легли в основу составленного Е.Н. Вилесовым и Р.В. Хониным Каталога ледников бассейнов левых притоков р. Или [Каталог..., 1967], а также карты оледене-

ния Заилийского Алатау в масштабе 1:100 000. Материалы следующей АФС, проведенной в 1979 г., явились основой для получения единовременных морфолого-морфометрических характеристик ледников хребта. Для обработки аэрофотоснимков была разработана специальная методика [Вилесов и др., 1993]. Дешифрирование ледников выполнялось на увеличенных в 1,6 раза черно-белых отпечатках формата 30 × 30 см. Отдешифрированные контуры ледников переносились на топооснову масштаба 1:25 000 АФС 1979 и 1980 гг. Для вычерчивания их контуров использовались полутонные фотопланы на жесткой основе масштаба 1:25 000, на которых уже имелась топографическая ситуация, а также впечатанные горизонталы с сечением через 50 м.

В результате этих работ была создана новая карта оледенения Заилийского Алатау в масштабе 1:25 000. Она содержит 53 листа и отпечатана офсетным способом в три цвета на картографической бумаге. Карта является основной информационной базой мониторинга ледников и морен на ближайшие десятилетия, она обеспечивает решение гляциологических и криолитологических задач в исследуемом регионе. По карте вычислены площади ледников и морен путем планиметрирования. При этом точность определения площадей существенно увеличилась по сравнению с Каталогом ледников [Каталог..., 1967] и составила 0,01 км², а погрешность их измерения 2–3 %.

Материалы АФС залета 1990 г. также были обработаны по этой методике. Из-за увеличения дробности оледенения и появления множества мелких ледников площади последних вычислялись с помощью палетки (размер квадрата 1 × 1 мм), что обеспечило возможность определения площадей ледников с точностью до 0,001 км.

Анализ состояния ледников и изменение их разнообразных гляциогидрометеорологических и балансовых показателей за период 1955–1990 гг. даны в монографии Е.Н. Вилесова и В.Н. Уварова [2001]. Приведенные в ней данные позволяют на основе выявленных темпов сокращения оледенения за 35 лет в каждом частном бассейне оценить современное состояние (на 2004 г.) ледниково-моренного комплекса северного макросклона Заилийского Алатау (таблица).

Данные таблицы свидетельствуют, что за столетия (1955–2004) площадь ледников сократилась на 117,26 км² (на 40,8 %). Средняя скорость их сокращения составила около 3,0 км²/год, по 1,05 %/год. Изменилась и структура ледниково-моренного комплекса, под которой мы понимаем соотношение площадей ледников и прилегающих к ним морен (в %). Она менялась следующим образом: 1955 г. – 89:11, 1990 г. – 63:37, 2004 г. – 53:47. Таким образом, в настоящее время ледники по площади почти сравнялись с современными мо-

Изменение площади и структуры ледниково-моренного комплекса в бассейне р. Или (казахстанская часть)

Бассейны рек	Площадь (км ²)							
	ледников	морен фернау	ледников	свежих морен	морен фернау и свежих морен	ледников	свежих морен	морен фернау и свежих морен
	1955–1956 гг.		1990 г.	1955–1990 гг.	1990 г.	2004 г. (оценка)	1990–2004 гг.	2004 г. (оценка)
Левые притоки р. Или (северный склон Зайлийского Алатау)	287,3	35,5	203,545	83,755	119,255	170,04	33,50	152,75
Чилик	286,16	23,5	225,193	60,967	84,467	200,42	24,79	109,25
Чарын, Текес	133,87	7,1	112,73	21,14	28,24	104,15	8,58	36,82
Хоргос, Чижин, Тыш- кан, Бурхан, Усек (Южная Джунгария)	218,8	43,5	131,111	87,689	131,189	95,54	36,17	167,21
Всего	926,13	109,6	672,579	253,551	363,151	570,15	103,04	466,03

ренами. В целом площадь, занятая моренами стадии фернау и более поздними образованиями такого рода на оставленной ледниками территории, увеличилась с 35,5 до 152,75 км², т. е. в 4,3 раза.

Бассейн реки Чилик – южный склон Зайлийского Алатау и северный склон Кунгей Ала-Тоо. Первая АФС здесь была проведена в 1955 г. Ее материалы были использованы при составлении первого Каталога ледников бассейна р. Чилик [Каталог..., 1968]. В начале 1990-х гг. составлены новый Каталог и новая карта оледенения бассейна в масштабе 1:25 000 (фонды Института географии Министерства образования и науки Республики Казахстан). Это позволило определить средние темпы сокращения площади льда и оценить состояние ледниковой системы на 2004 г. (см. таблицу).

За 49 лет (1955–2004) площадь оледенения в бассейне р. Чилик сократилась почти на 86 км² (на 30,0 %). Сокращение ледников на южном макросклоне Зайлийского Алатау и на северном Кунгей Ала-Тоо существенно различаются – на южном макросклоне их площадь почти в 2 раза меньше, чем на северном. Отчасти это объясняется тем, что на южном макросклоне зафиксирован случай пульсации ледника Богатырь в бассейне р. Юго-Восточный Талгар. Этот ледник в 1984–1985 гг. продвинулся вниз по долине почти на 1 км и увеличил свою площадь на 1 км². Главной же причиной меньшего сокращения ледников является их залегание на более высоких гипсометрических уровнях, чем на северном макросклоне Кунгей Ала-Тоо (в среднем на 200–250 м).

Средняя скорость сокращения площади льда в бассейне составила 2,20 км²/год, а средняя относительная скорость деградации – 0,77 %/год. Структура ледниково-моренного комплекса изменялась следующим образом: 1955 г. – 92:8, 1990 г. – 73:27, 2004 г. – 64:36. Площадь с моренами фернау и свежими моренами увеличилась с

23,5 до 109,25 км², т. е. в 4,6 раза. Это чуть больше, чем на северном макросклоне Зайлийского Алатау.

Бассейны рек Хоргос, Чижин, Тышкан, Бурхан и Усек – южный макросклон Джунгарского Алатау. Этот макросклон включает хребты Токсанбай, Беджинтау, Тышкантау и горы Музтау. По данным, приведенным в Каталоге ледников СССР [1975], в 1956 г. на территории рассматриваемых бассейнов насчитывалось 460 ледников общей площадью незаморенной поверхности 228,4 км². Однако по ряду причин в качестве точки отсчета нами приняты несколько другие показатели числа ледников и их площади. Во-первых, при детальном изучении материалов АФС залета 1990 г. в верховьях р. Саргир (бассейн р. Бол. Усек) были обнаружены дополнительно четыре ледника общей площадью 1,2 км², пропущенные при первой каталогизации. Во-вторых, в связи с более высокой точностью крупномасштабных фотопланов 1990 г. исправлены величины площадей 25 небольших по размерам ледников в сторону увеличения в среднем на 0,1–0,2 км². Вместе с тем пришлось существенно (на 4,5 км²) уменьшить размеры ледника Воейкова (№ 102) [Каталог..., 1975]. В-третьих, в середине 1990-х гг., по договоренности между правительствами Республики Казахстан и Китая, последнему была отдана территория верховьев левобережья р. Хоргос площадью 262 км², на которой имелись 24 ледника суммарной площадью 10,5 км². С учетом изложенных выше обстоятельств было принято, что в 1956 г. число ледников в рассматриваемых бассейнах составило 440, их площадь равна 218,8 км².

Основой для суждения о направленности эволюции этих ледников явилось сравнение их морфометрических характеристик в 1965 г. (откорректированные данные [Каталог..., 1975]) и в 1990 г.

Для 1990 г. крупномасштабные фотопланы обработаны с помощью пакета ГИС-программ

(MapInfo, Easy Trace, ArcGis, Geotransformer). Основной принцип этого вида картографирования заключается в преобразовании растровой информации в векторную (цифровую). Растровый формат представлен отсканированным картографическим материалом, т. е. точной копией карты, но уже доступной для работы в среде соответствующих компьютерных программ. Главное преимущество рассматриваемого метода – определение площадей и других морфометрических показателей ледников с требуемой точностью. Использование ГИС-программ позволяет получить на мониторе компьютера изображение каждого ледника в любом масштабе, что дает возможность более детального их изучения.

Результаты, полученные при использовании этой методики, представлены в таблице. Они свидетельствуют, что размеры оледенения здесь за период 1956–2004 гг. сократились на 123,26 км², по 3,24 км²/год. Относительное сокращение площади ледников за этот период составило 56,3 %, т. е. по 1,48 %/год. За 1956–1990 гг. ледники исчезли в бассейнах рек Каскабулак и Борохудзир, их общая площадь равна 0,6 км². По оценке, основанной на экстраполяции выявленных тенденций дегляциации, к 2004 г. в бассейнах р. Сарткипе, левого безымянного притока р. Бол. Усек и р. Мал. Коксай растаяли ледники общей площадью 1,97 км².

Площадь приледниковых морен за 48 лет увеличилась с 43,5 до 167,21 км², т. е. в 3,8 раза. Структура ледниково-моренного комплекса изменялась следующим образом: 1956 г. – 83:17, 1990 г. – 50:50, 2004 г. – 36:64. Ныне площадь морен в гляциальной зоне уже превышает площадь ледников в 1,8 раза [Вилесов, Морозова, 2004].

Бассейны рек Чарын и Текес – северные склоны Терской Ала-Тоо, Сарыджаз и западные склоны Меридионального хребта. Этот район относится к системе Центрального Тянь-Шаня. Здесь находится высочайшая вершина Казахстана Хантенгри (6995 м). В хребте Сарыджаз находятся вершины: Семенова (5820 м), Баянкол (5840 м), Казахстан (5760 м), пик Мраморной стены (6400 м) и другие высочайшие вершины казахстанской части Тянь-Шаня.

Комбинация высоты снеговой линии с высокой гребней при наличии благоприятного рельефа создает здесь максимальную для Казахстана величину положительной разности оледенения, равную 2200 м. Эта часть хребта Сарыджаз по характеру и размерам оледенения (благодаря концентрации крупных ледников как на северном, так и на южном макросклонах, где находится один из крупнейших дендритовых ледников Тянь-Шаня Северный Иньльчек (длиной около 32 км)) является мощным узлом оледенения. Заметим, что в пределах Казахстана расположена только верхняя часть Северного Иньльчека, длина которой порядка 10 км.

Каталог ледников [1969] рассматриваемых бассейнов отражает их состояние в 1956 г. В 1990 г. составлен новый Каталог ледников (фонды Института географии Министерства образования и науки Республики Казахстан). Сравнительный анализ состояния оледенения бассейна Текеса в 1956 и 1990 гг. и предварительная оценка по состоянию на 2004 г. приводятся в таблице. Оледенение в этом бассейне за 1956–2004 гг. уменьшилось на 29,72 км², по 0,78 км²/год. Относительная величина сокращения площади льда составила 22,2 %, по 0,58 %/год. За 1956–1990 гг. ледники суммарной площадью 0,3 км² полностью растаяли в бассейнах рек Кокжар и Карасай.

Площади с моренами фернау и свежими моренами за 48 лет увеличились с 7,1 до 36,82 км², т. е. в 5,2 раза. Структура ледниково-моренного комплекса изменялась за этот период следующим образом: 1956 г. – 95:5, 1990 г. – 80:20, 2004 г. – 74:26.

Криогенез на свежих моренах. Повсеместное отступление ледников в Тянь-Шане ведет к выходу из-под них на дневную поверхность моренных отложений. Это обстоятельство существенно меняет направленность криогенных и посткриогенных процессов на свежих моренах [Горбунов, Ермолин, 1986]. При отступании малых ледников высвобождаются вечномерзлые моренные толщи. В субаэральных условиях они подвергаются в летнее время протаиванию с поверхности обычно на глубину 1–2 м, т. е. происходит формирование слоя сезонного протаивания. В субгляциальных условиях он отсутствовал.

При отступании крупных ледников наряду с упомянутым процессом происходит многолетнее промерзание таликовых систем – сквозных и несквозных таликов, которые присущи некоторым глетчерам. Трансформация субгляциальных морен в субаэральные порождает изменение характера криогенного рельефообразования, возникают новые процессы и явления. Среди них особенно примечателен термокарст и его различные модификации. В большей степени он обусловлен вытаиванием погребенных глетчерных льдов и высококальцистых массивов, которые вскрываются („откапываются”) в моренах тальми ледниковыми водами. К аналогичным последствиям приводят и криогенные оползни, обнажающие погребенные льды и льдистые моренные или озерные отложения.

Вытаивание погребенных льдов, сопровождаемое частичным оттаиванием вмещающих вечномерзлых морен, ведет к формированию просадок, заполняемых обычно тальми водами. Образуются термокарстовые озера. Одни из них существуют в течение многих лет, другие исчезают через несколько лет, третьи заполняются водой только летом, а зимой осушаются. Некоторые приледнико-

вые озера возникают за счет подпруживания водотоков отложениями криогенных оползней. Таким образом, свежие морены являются ареной интенсивного формирования озер различного генезиса, размеров и конфигураций. Так, в середине 1960-х гг. на северном макросклоне Заилийского Алатау насчитывалось всего 10 озер, каждое объемом свыше 10 тыс. м³. В 1980 г. их число увеличилось до 41 [Попов, 1986], а к 1990 г. – до 60. Можно с уверенностью предположить, что сейчас их не менее 70. Прорыв наиболее крупных озер во многих случаях приводит к зарождению больших и малых гляциальных селевых потоков.

Кроме озер на свежих моренах развиваются солифлюкционные процессы. Здесь могут формироваться активные приледниковые каменные глетчеры. Рыхлообломочные отложения свежих морен увеличивают область питания ранее сформированных приледниковых каменных глетчеров, зачастую способствуя активизации их движения. На свежих моренах возникают и разрушаются наледи, формируются структурные грунты. Активизируются процессы морозного выветривания, т. е. идет интенсивная криогенная переработка мерзлых и талых толщ, вышедших из-под ледникового покрова. До сих пор изучению таких процессов не уделяется должного внимания, но они, несомненно, должны занять достойное место в сфере геокриологических исследований. Особенно важен мониторинг динамики криогенного преобразования криолитозоны в рыхлообломочных отложениях. Такие работы имеют не только теоретическое, но и сугубо практическое значение, в частности для решения водохозяйственных проблем и разработки мероприятий по борьбе с селевыми потоками.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сокращение оледенения в последние десятилетия в рассматриваемом регионе наглядно характеризует обстановку, свойственную всему Тянь-Шаню. Сохранение отмеченного темпа отступления ледников позволяет предположить, что оледенение на северном склоне Заилийского Алатау и Терской Ала-Тоо (бассейн р. Чарын) может практически исчезнуть к концу XXI в., а в Южной Джунгарии уже через 40 лет. В других районах (верховья рек Чилик и Текес) крупные ледники

значительно сократятся и будут существовать еще длительное время. Можно с уверенностью констатировать, что к середине XXI в. свежие морены по площади значительно превысят площадь ближайших ледников. Такие морены становятся ареалом активного проявления криогенных и посткриогенных процессов, которые с каждым годом интенсифицируются. Это обстоятельство увеличивает возможность гляциального селеобразования. Есть основание предположить, что наступает время интенсивного формирования приледниковых активных каменных глетчеров. Поэтому наряду с мониторингом ледниковых систем необходимо шире практиковать слежение за криогенными процессами на свежих моренах. Эта проблема становится все более актуальной.

Литература

- Вилесов Е.Н., Макаревич К.Г., Поляков В.Г.** Пространственно-временная изменчивость ледниковой системы Заилийского Алатау // *Материалы гляциол. исслед.*, 1993, вып. 76, с. 90–95.
- Вилесов Е.Н., Морозова В.Н.** Пространственно-временные особенности деградации оледенения в бассейнах правых притоков р. Или (в пределах Казахстана) // *Материалы Междунар. науч.-практ. конф. (8–9 июня 2004 г.)*. Ч. 2. Алматы, Аркас, 2004, с. 102–106.
- Вилесов Е.Н., Уваров В.Н.** Эволюция современного оледенения Заилийского Алатау в XX веке. Алматы, КазНУ, 2001, 252 с.
- Горбунов А.П., Ермолин Е.Д.** Формирование и эволюция подземных льдов в моренах Заилийского Алатау // *Актуальные вопросы географии Казахстана*. Алма-Ата, Изд-во АГУ, 1986, с. 26–33.
- Карта „Оледенение гор Казахстана“**. М-б 1:5 000 000 // *Атлас Казахской ССР*. М., ГУГК, 1982. Т. 1.
- Каталог ледников СССР**. Т. 13, вып. 2, ч. 1. Бассейны левых притоков р. Или от устья р. Курты до устья р. Тургень. Л., Гидрометеиздат, 1967, 79 с.
- Каталог ледников СССР**. Т. 13, вып. 2, ч. 2. Река Чилик. Л., Гидрометеиздат, 1968, 58 с.
- Каталог ледников СССР**. Т. 13, вып. 2, ч. 3. Бассейны рек Чарын, Текес. Л., Гидрометеиздат, 1969, 40 с.
- Каталог ледников СССР**. Т. 13, вып. 2, ч. 4. Бассейны рек Хоргоса, Усека. Л., Гидрометеиздат, 1975, 84 с.
- Попов Н.В.** Исследование озер гляциальной зоны юго-востока Казахстана с целью оценки возможности их прорывов и мониторинга селеопасности: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1986, 86 с.

*Поступила в редакцию
15 июня 2005 г.*