

Ледники северного массива гор Сунтар-Хаята: современное состояние и динамика с конца 1950-х годов

© 2016 г. Б.Р. Мавлюдов*, М.Д. Ананичева

Институт географии РАН, Москва

*bulatrm@bk.ru

Glaciers of the northern massif of the Suntar-Khayata Mountains: current state and dynamics since the end of 1950s

© 2016 г. B.R. Mavlyudov*, M.D. Ananicheva

Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*bulatrm@bk.ru

Received September 15, 2015

Accepted April 7, 2016

Keywords: *air temperature, albedo, descent of glacier surface, glacier, glacier degradation, mass balance of glacier, precipitation, Suntar-Khayata Mountains, the ELA, the Northeastern Siberia.*

Summary

The estimation of glaciers of the Suntar-Khayata Mountains (the Northeastern Siberia) in the context of previously published data is presented. Under the background of current warming the glaciers in this region retreat enough quickly, they decrease not only in a real size, but also by the ice thickness. In this paper the mean summer temperature and solid precipitation of the key factors for glaciation, which indicate unfavorable conditions for the glacier existence at present time are presented as spatial distribution of trends (for 45 years, until 2012). The glaciers of the northern massif of the Suntar-Khayata have a negative ice mass balance as their entire surface is below the equilibrium line altitude. Mean thickness of superimposed ice on the glaciers of this massif was about 17 cm. Based on the assumption of climate variation in the Northern Pacific data it is suggested about the beginning of more favorable climatic conditions for the Suntar-Khayata glaciers.

Поступила 15 сентября 2015 г.

Принята к печати 7 апреля 2016 г.

Ключевые слова: *альbedo, баланс массы ледника, высота границы питания, горы Сунтар-Хаята, деградация ледника, ледник, осадки, понижение поверхности, Северо-Восток России, температура воздуха.*

В основу работы положены результаты обработки космических снимков Bing Map 2011 г. и материалы полевого сезона 2013 г. Оценено состояние ледников северного массива гор Сунтар-Хаята в продолжение ранее опубликованных работ [4, 5]. На фоне потепления на Северо-Востоке России ледники исследуемого района достаточно быстро деградируют, уменьшается не только их площадь, но и толщина. Полевые исследования показали, что все ледники этого массива в 2011–2013 гг. имели отрицательный баланс массы. За время с малого ледникового периода ледники № 28–31 потеряли около 0,38 км³ льда.

Введение

К одному из крупных районов современно-горного оледенения на Северо-Востоке России относятся горы Сунтар-Хаята. Оледенение здесь представлено несколькими горными узлами, из которых лучше всего исследован северный массив в окрестностях горы Мус-Хая (62,6° с.ш., 140,9° в.д., 2959 м над ур. моря; все приведённые высоты в статье даны над уровнем моря). Планомерное изучение оледенения в этом районе началось только в конце 1950-х годов в период Международного геофизического года, 1957–1959. Физико-географическая и климатическая характеристики хребта даны в

работе [1], а общие сведения об открытии и исследовании ледников хребта – в [2].

В 1956 г. была организована экспедиция, работавшая по программе МГГ, она провела широкий комплекс гляциологических наблюдений в северном массиве, в частности, на опорном леднике № 31. В 1970 г. в связи с работами по составлению Каталога ледников СССР в этот район была направлена экспедиция Института географии АН СССР. Тогда были получены новые данные о режиме этого ледника, особенностях его аккумуляции и абляции в 1970 г., а также за период 1960–1969 гг. [3]. В работе [3] отмечаются изменения морфологии и отступление ледников № 29, 31

и 32, а также даётся оценка изменения состояния и других ледников разных морфологических типов.

В летний сезон 2001 г. на леднике № 31 выполнены наблюдения в рамках совместной экспедиции Института географии РАН и Института низких температур Университета Хоккайдо (Япония). Исследования предусматривали полную топографическую съёмку языка ледника № 31 и измерения его абляции, GPS-съёмку других ледников северного массива и метеорологические наблюдения в долине [4]. Установлено, что ледники горной системы Сунтар-Хаята сокращаются, о чём свидетельствуют результаты таких работ, как [5, 6]. В этих работах идёт речь о сокращении ледников по площади со времени малого ледникового периода и в настоящее время, масштабы же понижения разных участков ледников в указанные периоды освещены мало.

В 2006 г. на основе исследования космических снимков Landsat 2003 г. [5] отмечалось, что оледенение гор Сунтар-Хаята насчитывало 195 ледников общей площадью 163 км². По сравнению с данными М.М. Корейши, также приведёнными в этой работе, с 1945 по 2003 г. площадь оледенения уменьшилась примерно на 20% (данные первых аэрофотосъёмок ледников датируются 1945 г.). Таким образом, на протяжении 57 лет средняя скорость сокращения площади составляла около 0,4% в год.

Цель настоящей статьи – восполнить имеющиеся пробелы в знаниях о современном состоянии ледников северного массива гор Сунтар-Хаята и оценить особенности их поведения на фоне климатических изменений. Материалы для статьи получены во время полевых работ в августе 2013 г., которые проводились совместно с японскими коллегами, и на основании дешифрирования космических снимков Bing Map 2011 г. Среди выполненных исследований 2013 г. – оконтуривание границ ледников, определение высотных отметок на поверхности ледников для построения их рельефа, выяснение положения моренных гряд, измерение абляции по рейкам, установленным японскими коллегами в 2012 г. на ледниках № 29–32, а также альbedo поверхности льда. В статье использованы некоторые данные, полученные В.А. Шишковым (Институт геогра-

фии РАН) во время полевых работ в августе 2012 г., которые также проводились совместно с японскими коллегами. В августе 2013 г. изучались следующие ледники: № 28–31, 31а, 32, 32а, 34 (рис. 1).

Методика полевых работ и обработки материалов

Для анализа климатических трендов использовались данные метеостанций (ГМС): Агаякан, Оймякон, Зырянка, Охотск, Сеймчан, Бухта Нагаева, Верхоянск, Сеймчан, Среднекан и др. Для изучения строения ледников и их гидрологической системы проводили маршрутные исследования ледников, которые сопровождалась фиксацией координат и высотного положения точек при помощи GPS-приёмника Garmin-12 XL. Особое внимание уделялось расположению и строению боковых морен.

Для изучения интенсивности абляции выполнены измерения по абляционным рейкам, установленным в 2012 г. японскими коллегами, которые были организаторами экспедиции совместно с Институтом мерзлотоведения СО РАН. Для определения альbedo поверхности ледников использовался люксметр из комплекса многофункционального измерительного прибора Voltcraft (Германия). Альbedo поверхности льда измерялось на разнородных участках ледников № 30, 31 и 34 в разных высотных зонах. Толщина наложенного льда определялась на ледниках № 29–34 на разных высотах, на участках сохранившихся пятен снега на северных склонах или в долинах водотоков, протекающих по поверхности ледника.

Для дешифрирования современного состояния ледников северного массива, их границ и гидрологических объектов использовались космические снимки Bing Map 2011 г. [7]. Разрешение снимков – около 0,5 м, снимки сделаны при отсутствии снега на поверхности льда и окружающих гор, что позволило дешифрировать границы ледников и морен с большой точностью. Затенённость и облачность снимков минимальны. Дешифрирование проводилось вручную. Для построения карт поверхности ледников по точкам GPS-измерений использовалась программа SURFER-11.

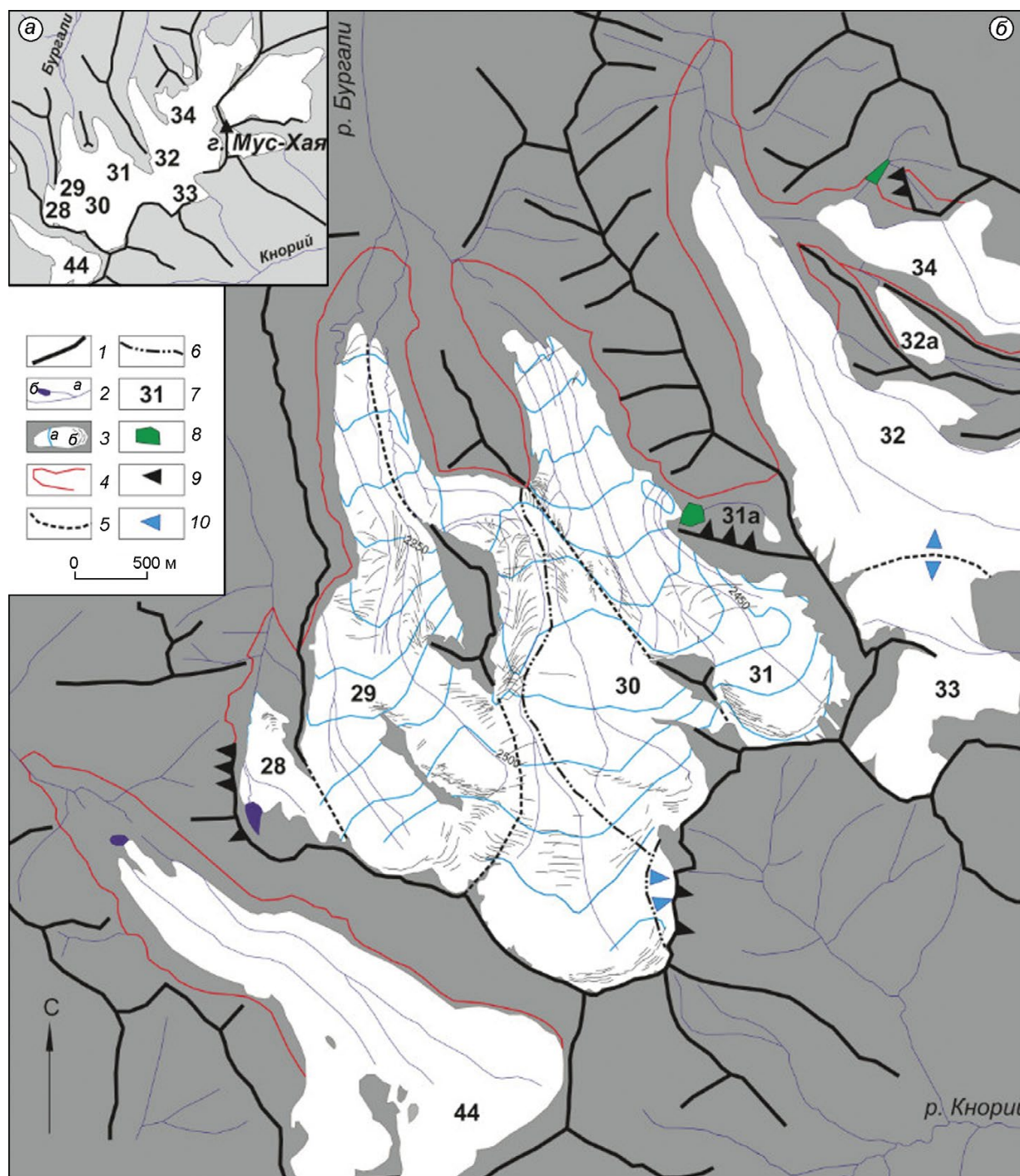


Рис. 1. Ледники северного массива гор Сунтар-Хаята:

a – ледники по состоянию на 1945 г.; *б* – современное состояние ледников. 1 – горные хребты и гребни; 2 – водные объекты: *a* – водотоки, в том числе на ледниках, *б* – озёра; 3 – ледники: *a* – горизонтали на поверхности льда, *б* – трещины; 4 – граница морен малого ледникового периода; 5 – границы между ледниками; *б* – границы водоразделов водных потоков на леднике № 30; 7 – номера ледников; 8 – ледниково-подпрудные озёра, существовавшие ранее; 9 – направление стока воды через гребни хребтов при больших размерах ледников; 10 – современное направление течения льда на ледоразделах

Fig. 1. Glaciers of the Northern Massif of the Suntar-Khayata Mountains:

a – glaciers in 1945; *b* – present-day state of glaciers. 1 – mountain ranges and ridges, including nunataks; 2 – water bodies: *a* – streams, *b* – lakes; 3 – glaciers: *a* – contour lines, *b* – crevasses; 4 – a boundary of the little ice age moraine; 5 – boundaries between glaciers; *b* – boundaries of the watersheds on the Glacier № 30; 7 – number of glaciers; 8 – glacier-dammed lakes previously existed; 9 – direction of water drainage through ridges at larger glacier size; 10 – present time direction of ice movement over ice divides

Климатическая характеристика района гор Сунтар-Хаята

Чтобы понять тенденции поведения ледников изучаемого района, необходимо оценить климатические тренды. Для этого мы использовали данные наблюдений ГМС, расположенных относительно близко от гор Сунтар-Хаята. По имеющимся записям метеопараметров, наблюдавшихся на ГМС (средние месячные значения температуры и осадков), были рассчитаны *тренды* средней летней $T_{лет}$ и средней годовой $T_{год}$ температуры, а также твёрдых $P_{тв}$ и жидких $P_{ж}$ осадков за 45 лет (до 2012 г.) для Северо-Востока России (горы Сунтар-Хаята и хр. Черского). Ряды метеопараметров для региона гор Сунтар-Хаята – хр. Черского – одни из самых длинных для Сибири, от 80 до 120 лет (с конца XIX в. по 2012 г.). Источником записей температуры и осадков служила база данных ВНИГМИ-МЦД с доступом через [8].

Картосхемы трендов летней $T_{лет}$ и годовой $T_{год}$ температуры воздуха (рис. 2) показывают, что их абсолютные величины невелики: тренд $T_{год}$ – от 1 до 2 °C/45 лет; тренды $T_{лет}$ в районе гор Сунтар-Хаята также положительные – от 1 до 1,5 °C/45 лет. Тренды осадков за холодный период (а это твёрдые осадки $P_{тв}$) по большинству станций или нулевые, или отрицательные (от 0–5 до –40 мм/45 лет). Положительный тренд у береговых ГМС Охотск и Бухта Нагаева – от 20

до 35 мм/45 лет). Тренд осадков за тёплый период года – положительный: от 5 до 55 мм/45 лет при росте циклоничности в это время года. Продолжительность положительного тренда температуры (как минимум 45 лет) на фоне стабильности снегового питания негативно сказывается на состоянии оледенения, которое представлено относительно небольшими по площади ледниками.

По данным ГМС мы также проанализировали разницу в температурах и осадках за два 30-летних периода: 1951–1980 гг. (фаза менее интенсивного потепления в регионе) и 1981–2010 гг. (фаза более интенсивного потепления). Разница $T_{лет}$ за два периода уменьшается с широты Полярного круга, где она максимальна, на север и на юг региона гор Сунтар-Хаята – хр. Черского; чёткой тенденции разницы $T_{год}$ не прослеживается. Потепление в последнее 30-летие существенно на широтах гор Сунтар-Хаята (62–66° с.ш.) как по $T_{лет}$, так и по $T_{год}$ по сравнению с периодом 1951–1980 гг. Что касается Распределение осадков за холодный период года $P_{тв}$ по широте в последнее 30-летие было стабильно.

Ближайшая к ледникам северного массива ГМС Агаякан (высота около 800 м) показывает климатические изменения, влияющие на динамику ледников массива. Тренды температуры положительны, но они относительно невелики – 1,0÷1,5 °C/50 лет. Тренды как общих осадков $P_{год}$, так и осадков холодного периода $P_{тв}$ –

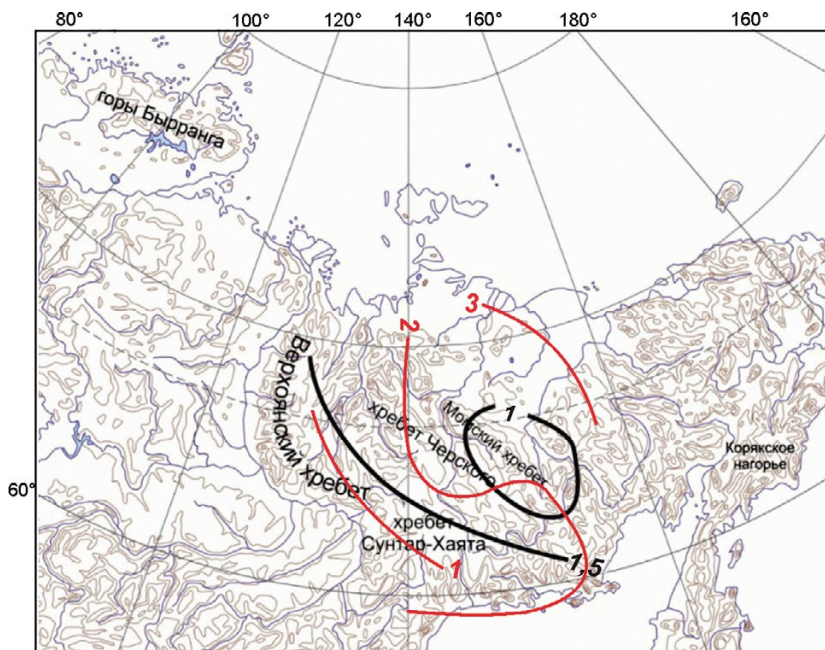


Рис. 2. Картосхемы трендов температуры воздуха: средней годовой $T_{год}$ (красные изолинии) и средней летней $T_{лет}$ (чёрные изолинии) за 1966–2012 гг.

Fig. 2. Schemes of spatial patterns trends of mean annual temperature $T_{год}$ (red isolines) and summer temperature $T_{лет}$ (black isolines) for 1966–2012

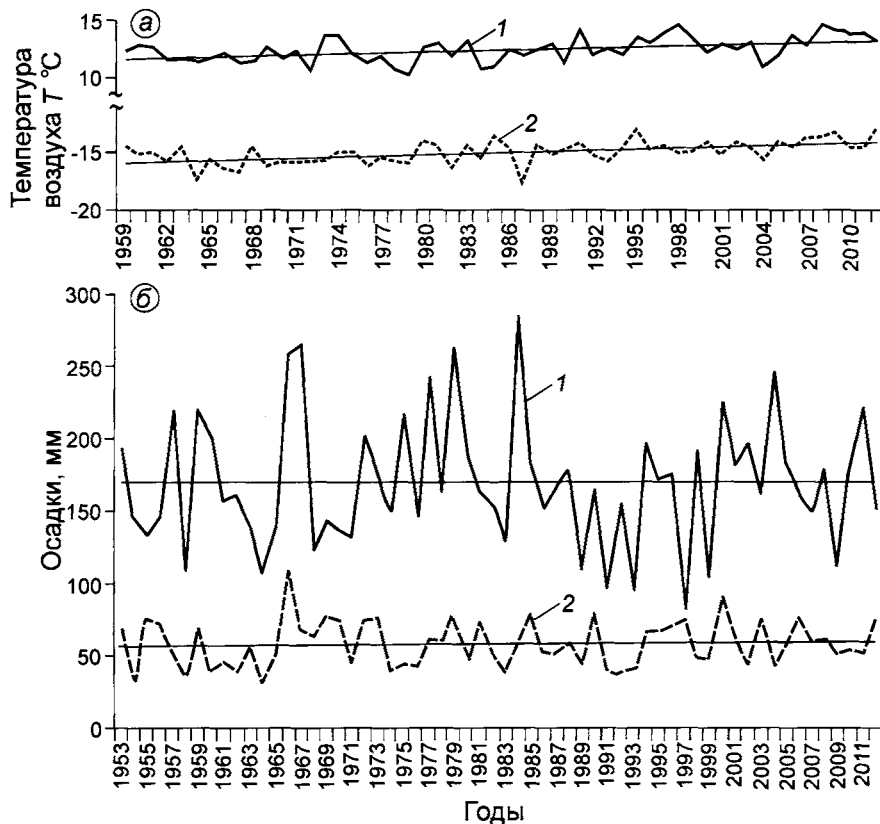


Рис. 3. Колебания средней летней (1) и средней годовой (2) температуры по ГМС Агаякан за 1959–2012 гг. (а) и годовых (1) и твёрдых осадков (2) за 1953–2012 гг. (б)

Fig. 3. Variations of mean summer (1) and annual (2) temperature on weather station Agayakan over 1959–2012 (a) and annual (1) and solid precipitation (2) over 1953–2012 (b)

нулевые, амплитуда колебаний $P_{\text{год}}$ выше чем $P_{\text{ТВ}}$, однако коэффициенты вариации этих рядов отличаются незначительно (рис. 3).

Состояние ледников северного массива гор Сунтар-Хаята

Исследования, выполненные на ледниках этого района, показали, что все изучаемые ледники в настоящее время деградируют. В табл. 1 приведены величины отступления языков ледников № 29, 31 и 32 за три периода: 1958–1970, 1970–2001 и 2001–2011 гг. Для ледников № 29 и 32 оно определено по визуальной оценке конечных морен ледников. Положение ледника № 31 на 2001 г. установлено с помощью теодолитной съёмки и наложения планового и высотного положения края ледника № 31 в 2001 г. на карту съёмки 1957 г. (масштаб 1:5000). Со времени экспедиции МГГ ледник отступил примерно на 120 м, освободив пространство в 0,14 км². К 2011 г. отступление составило уже около 300 м.

В 2006 г. на основе исследования космических снимков Landsat 2003 г. мы установили, что оле-

денение гор Сунтар-Хаята на дату съёмки насчитывало 195 ледников общей площадью 163 км². Результаты, полученные А.А. Галаниным в последние годы [6], показали, что площадь ледников северного массива в 2010 г. составляла около 61,64 км², а в 1954 г. – 84,2 км² [9]; сокращение площади, таким образом, составило 22,56 км² (26,8%). Больше всего сократились каровые ледники малой площади. Оценки сокращения оледенения А.А. Галанина совпадают с нашими данными [5], согласно которым в 2003 г. для всех гор Сунтар-Хаята площадь ледников сократилась примерно на 20%. В полевой сезон 2013 г. собраны новые материалы о ледниках этого региона, которые предлагаются в данной работе.

Описание обследованных ледников. Изучаемые ледники расположены в окрестности горы Мус-Хая (2996 м) (см. рис. 1). Приведём их описание.

Ледник № 28. Имеет площадь 0,5 км², в верховьях смыкается с западной частью ледника № 29. В настоящее время ледник деградирует. Когда он был обширнее, его язык имел две лопасти: одна лопасть была продольным продолжением ледника, а вторая ответвлялась от языка и уходила на запад, сбрасывая талые воды в долину ледни-

Таблица 1. Отступление языков некоторых ледников северного массива гор Сунтар-Хаята в разные годы, м

Номер ледника	1958–1970 гг.	1970–2001 гг.	2001–2011 гг.
29	35	> 100	> 200
32	29	> 100	> 300
31*	15	> 120	≈ 300
31**	5/25	100/150	200/200

*По оси ледника. **В числителе – у левого края, в знаменателе – у правого.

Таблица 2. Некоторые параметры изучаемых ледников

Номер ледника	Точка ледника, м над ур. моря		Площадь, км ²
	низшая	высшая	
28	2261	2520	0,5
29	1990	2750	2,8
30	1990	2750	3,63
31	2070	2650	2,12
31a	2400	2500	0,01
34	2340	2440	0,09

Таблица 3. Относительное понижение поверхности ледников северного массива гор Сунтар-Хаята с малого ледникового периода по настоящее время*

Номер ледника	Борт ледника	Понижение поверхности, м	Средний градиент понижения поверхности, м/100 м высоты	Высота, поверхности, ледников, м над ур. моря
28	Левый	60	–	–
29	Левый	32–52	6,6	2985
	Правый (нунатак)	30–80	25,9	2594
30	Левый (нунатак)	20–30	–	–
	Правый	38–102	11,9	2825
31	Левый	60–110	18,8	2626
	Правый	14–100	10,6	2990
31a	Правый	20	–	–
32	Левый	25–60	10	2750
	Правый	15–90	15	2700
32a	Правый	34–44	–	–
34	Левый	17–27	11,6	–
Среднее			13,7	2710

*Прочерки – нет данных или невозможно их получить.

ка № 44. В юго-западной части ледника № 28, у его края, расположено ледниково-подпрудное озеро. Сейчас оно дренируется переливом через ледяной каньон в теле ледника. Как отмечается в работе [6], во время малого ледникового периода западный край ледника достигал вершины гребня, ограничивающего ледник с запада. Судя по сохранившимся на склоне древним уровням озера, оно существовало и в то время. Кроме того, в скальном гребне на высоте 2426 м имеется пропил (каньон в скале) шириной около 2 м и глубиной около 7,5 м, через который некогда озёрные воды попадали на ледник № 44. Таким образом, современный уровень воды в озере расположен примерно на 33 м ниже дна скального каньона. Водный поток из озера начал врезаться в скальный гребень при уровне озера на 40,5 м выше современного. По-видимому, это был не единственный путь сброса воды из озера. Когда ледник был больше и достигал гребня хребта, часть воды из озера текла вдоль гребня и на первом же понижении уходила в долину ледника № 44. Таких понижений на протяжении гребня отме-

чено несколько, и каждое сопровождало ущелье в сторону ледника № 44. Вероятно, долгие годы основной сток из озера шёл в соседнюю долину, что способствовало лучшей сохранности языка ледника в течение длительного периода. Следы перемещения краевых водотоков в последние десятилетия зафиксированы в рельефе склона хребта в виде чётких ступеней, врезанных в коренные породы. Они соответствуют периоду деградации ледника. Когда сформировалось это ледниково-подпрудное озеро – доподлинно неизвестно, но, судя по глубине каньона перелива, оно вполне могло существовать во время малого ледникового периода, располагаясь, как и сейчас, на краю ледника. Морфометрические характеристики этого и других ледников даны в табл. 2, а результаты оценки величины понижения поверхности льда на леднике № 28 (и других исследованных ледников) за рассматриваемый период – в табл. 3.

Ледники № 29 и 30. Эти ледники в Каталоге ледников [9] обозначены под разными номерами, однако на местности их разделить трудно. Формально границей раздела этих двух ледни-

ков служит нунатак, расположенный между ледниками в их центральной части, однако ниже его оба эти ледника сливаются, формируя единый язык. Кроме того, выше нунатака эти ледники имеют общий ледосбор, разделить который можно только условно. Поэтому правильнее говорить о ледниках № 29 и 30 как о едином массиве льда. Кроме того, выяснилось, что часть льда ледника № 30 площадью около 1,65 км² стекает в бассейн ледника № 31 и поэтому можно говорить о комплексе ледников № 29–31.

В дополнение к этому стало ясно, что часть талых вод из ледосборного бассейна ледника № 30 не стекает к его языку или языку ледника № 31, а дренируется на юг в долину р. Кнорий (площадь дренируемого участка около 0,13 км²). По-видимому, эта часть ледника № 30 также течёт в южном направлении. Мы проследили морены на бортах ледников № 29 и 30 и теперь можем оценить характер изменения поверхности ледника с 1945 г. (время первой аэрофотосъёмки) и с малого ледникового периода. Интересно, что на левой морене ледников № 29 и 30 на некоторых участках были отмечены не одна, а несколько параллельных гряд примерно одной высоты. Иногда их было две или три, а в двух местах отмечалось до семи однотипных субпараллельных гряд. Это показывает, что период дегляциации не был одномоментным, а имел стадии наступания и деградации ледника; при этом каждая последующая стадия наступания была чуть менее мощной, чем предыдущая, в противном случае гряды морены должны были перекрываться. Язык ледникового комплекса расположен на высоте 1990 м, нижняя часть нунатака – на высоте 2237 м, а верхняя часть – на высоте 2448 м.

Ледник № 31. На данный момент ледник № 31 частично питается за счёт ледника № 30. М.М. Корейша [1] признавал, что такое дополнительное питание возможно, но он полагал его незначительным. Полевые работы и дешифрирование космических снимков показали, что, по крайней мере, 40–45% площади ледника № 30 в настоящее время течёт в бассейн ледника № 31: не только лёд, но и часть талых вод примерно с той же площади ледника № 30 стекает на ледник № 31. Таким образом, в области абляции ледника № 31 и на его языке присутствует талая вода этих двух ледников, что необходимо учитывать при расчётах стока с ледника № 31.

При полевом изучении строения моренного комплекса ледника № 31 установлено, что в пространстве между границей ледника в 1945 г. и «внешней» границей, предположительно относящейся к малому ледниковому периоду [6], можно выделить ещё несколько промежуточных границ распространения ледника (к сожалению, на космических снимках эти границы не выделяются, поэтому на рис. 1 они не вынесены). На правой боковой морене ледника № 31, вблизи современного конца языка ледника (чистого льда), была выделена *верхняя граница*, которая маркировалась по нижнему уровню существования лишайников (выше её они покрывали камни склона сплошным чехлом, а ниже – отсутствовали). Граница фиксировалась уступом на склоне. Никаких камней, эрратических валунов, принесённых из верховьев ледника, ниже неё не наблюдалось, присутствовали только обломки пород коренного склона. На несколько метров ниже по склону проходила *вторая граница*, более молодая, ниже которой появлялись крупные валуны, принесённые ледником из верховий бассейна. Ниже по склону появляется рыхлый материал разрушенных морозным выветриванием более мелких обломков морены. Самой *нижней границей* служит свежая морена, на которой обломки практически не подверглись выветриванию. Мы относим эту морену к 1945 г., поскольку она находится примерно там, где располагалась граница льда на первых аэрофотоснимках, выполненных в 1945 г. Таким образом, выше этой морены наблюдаются три разновозрастных моренных образования.

Когда ледник № 31 был существенно больше по площади, его толщина превышала современную в верховьях ледника выше притока ледника № 31а примерно на 117 м и сток воды происходил через боковой хребет, разделяющий оба ледника. Об этом свидетельствуют глубокие каньонообразные врезы в склоне хребта, обращённом к леднику № 31а. Выше по гребню видны также более древние каналы стока, но они заканчиваются не ущельями, а долинами с выположенным дном. Вероятно, сток воды по этим долинам проходил в период максимального развития оледенения и именно эти поступления воды на язык ледника № 31а по краевым каналам могли сформировать ледниково-подпрудное озеро между языком ледника № 31а и телом ледника № 31.

Нижняя граница чистого льда на леднике расположена на высоте 2070 м, нижняя часть

крупного нунатака, отделяющего ледник № 31 от верховий ледника № 30, — на высоте 2400 м, верхняя часть нунатака — на высоте 2585 м.

Ледник № 31а. Это маленький ледник, который некогда был правым притоком ледника № 31. Во времена работы на леднике М.М. Корейши в МГГ эти ледники разделяло небольшое озеро, которое располагалось на льду и в настоящее время заполняется лишь на короткое время [1]. Озеро и сейчас там существует и сбрасывает воды через внутрилёдные каналы, идущие вдоль правого борта ледника, которые сформировались в результате врезания водного потока в лёд с поверхности с последующим захоронением их наложенным льдом. Фактически это озеро тоже дренируется переливом, что удалось выяснить при детальном обследовании каналов сброса воды. Сейчас ледник № 31а сильно отступил от озера, обнажив скальное ложе на большом протяжении долины. В настоящее время лёд сохранился только в верховьях его бывшего левого притока, а также под толщей озёрных отложений, примыкающих к леднику № 31. Ледники № 31а и № 32 разделены высоким скальным гребнем.

Ледник № 32. Фактически ледники № 32 и 33 формируют единый комплекс перемётного ледника. Мы проводили границу между ними по водоразделу поверхностных водотоков и ледниковым трещинам. В пределах ледника № 32 высоту границы питания удалось выделить только в одном цирке на правом борту — у подножия горы Мус-Хая, расположенной за обрезом схемы рис. 1. Она составила 2660–2705 м (по снежникам надува).

Ледник № 32а сильно понизился с периода МГГ, и стало видно, что он — не правый приток ледника № 32, как это предполагал М.М. Корейша [1], а левый приток ледника № 34, который, в свою очередь, служит правым притоком ледника № 32, но несколько севернее. Первые исследователи этого узла оледенения [1] и составители Каталога ледников СССР [9] не смогли определить чёткую принадлежность этого ледника по объективной причине, поскольку в 1940–50-х годах все гребни водоразделов между ледниками, которые сейчас хорошо видны, были перекрыты льдом и в рельефе не выделялись. Ледник № 32а в нижнем течении имеет общую срединную морену с ледником № 34. Как ледник, характеризующийся медленным течением и малой толщиной льда, он был оттеснён к левому борту ледника № 34, по-

этому в нижнем течении ледника № 34 боковая морена ледника № 32а и срединная морена ледников № 32а и 34 совместились. А в месте слияния ледников № 34 и 32 эта комбинированная морена представляет собой единую левую морену ледника № 32. Талая вода с ледника № 32а не течёт вдоль боковой морены, а вытекает на край ледника № 34. Максимальная высота ледника — 2440 м, т.е. вся поверхность ледника полностью находится в области абляции.

Ледник № 34. Это — простой ледник, не разветвлённый; он служит правым притоком ледника № 32, а его цирк расположен к северу от вершины горы Мус-Хая. В средней части он имеет две субгоризонтальные ступени, разделённые крутыми участками, не относящимися к ледопадам. На второй субгоризонтальной площадке по правому борту ледника имеется расширение — своеобразный «залив» льда. Когда ледник был обширнее, из залива вытекал небольшой язык льда, спускавшийся в боковую долину. В малый ледниковый период левый борт этого языка достигал гребня водораздела и талые воды с него стекали прямо к языку основного тела ледника. На западном склоне скальной гряды видны глубокие врезы этих водотоков. Судя по их глубине, малый язык существовал длительное время. Воды с него стекали по боковой долине к правой части языка ледника № 34, где формировали ледниково-подпрудное озеро, которое дренировалось переливом через ледяную плотину к месту слияния ледников № 34 и 32, и попадали в правый боковой канал ледника № 32. Уровень воды в озере по характерной ступеньке на склонах удалось проследить во время наших полевых работ. Максимальная глубина озера составляла 30 м. В настоящее время ледник № 34 в районе своего правого залива настолько понизился, что уровень льда не достигает дна боковой долины примерно на 7 м. Летом 2013 г. вся поверхность ледника оказалась в области абляции, область аккумуляции отсутствовала.

Таяние льда на ледниках в 2013 г. и балансовые наблюдения на ледниках в 2011–2013 гг. Величина альбедо поверхности ледников, расположенных в северном массиве гор Сунтар-Хаята, изменяется от 0,24 до 0,79. Изучались рассматриваемые здесь ледники при открытом небе. Самые высокие значения альбедо имели поверхности снега (0,75) и коры таяния по наложенному льду (0,79), распо-

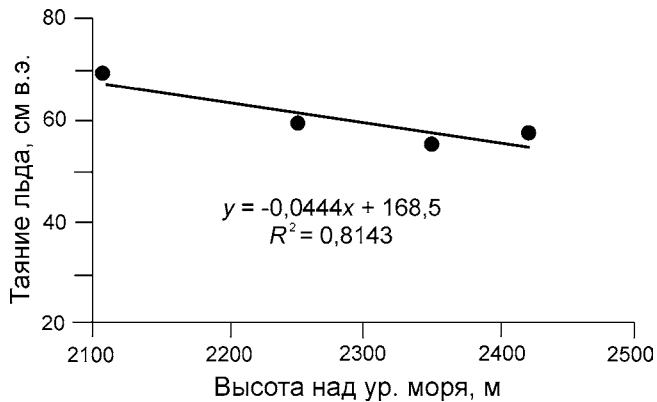


Рис. 4. Изменение таяния льда с высотой на леднике № 31 в период с 30 июля по 17 августа 2013 г.

Fig. 4. The change of ablation with altitude on the Glacier № 31 in the period from 30 of July to 17 of August, 2013

ложенные на высотах около 2600 м, а самые низкие — сильно заморенный лёд (0,24), лёд с криоконитом (0,32) на языках ледников на высотах 2000–2100 м. Все обследованные поверхности в верхних частях ледников имеют довольно высокое альbedo: наложенный лёд — 0,63; голубое болото на льду — 0,64; свежий снег на льду — 0,63. При этом собственно ледниковый лёд в средней части ледников имел две разные градации альbedo: чистый крупнозернистый лёд — 0,64, а серый мелкозернистый лёд — 0,5. Измерения альbedo распластанного водотока шириной 0,5 м и глубиной около 1 см показало значение 0,5, т.е. близкое к альbedo окружающего льда, а собственно текущая вода в русле неглубокого ледяного каньона на поверхности ледника имела значение 0,36, что ниже альbedo окружающего ледникового льда. Как и на ледниках других горных регионов, общее понижение альbedo вниз по леднику наравне с влиянием вертикального градиента температуры воздуха обеспечивает уменьшение таяния снега и льда с высотой.

Измерение *таяния по рейкам*, установленным в 2012 г. на ледниках японскими учёными, проводилось нерегулярно, поэтому в нашем распоряжении оказался лишь массив разрозненных данных, из которых наиболее представительными были сведения по ледникам № 31 и 32. Полученные материалы для ледников № 29 и 30 недостаточны для каких-либо заключений.

Для ледника № 31 сведены данные по наблюдениям за 18 дней — с 30 июля по 17 августа 2013 г., когда преобладала малооблачная и облач-

ная погода (рис. 4). Как видим, величина стаивания льда за этот период составила от 77 см (при плотности льда 0,9 — 69,3 г в.э.) на высоте 2107 м до 64 см (57,6 г в.э.) на высоте 2422 м, что соответствует интенсивности таяния от 4,3 до 3,6 см/сут. на этих высотах (3,9–3,2 г в.э.). Высотная зависимость таяния имеет место, но она не очень явная. Неодинаковое таяние на разных высотах связано как с вертикальным температурным градиентом, так и с высотным изменением структуры поверхности ледника и соответственно с его альbedo. Установлено, что интенсивность таяния льда на леднике № 31 выше, чем на леднике № 32. На леднике № 29 на высоте 2168 м интенсивность таяния льда составила 2,8 см/сут., что равно таянию на той же высоте на леднике № 32.

Баланс массы льда на ледниках этого района в полевых условиях мы специально не изучали. Однако по абляционным рейкам, установленным на ледниках японскими учёными в 2012 г., в следующем году можно было видеть, что происходит полное стаивание снега во всех высотных зонах. К концу сезона абляции на поверхности ледников снега не остаётся и начинает таять ледниковый лёд (рис. 5). Всё это показывает, что баланс массы всех ледников отрицателен. По космическим снимкам, выполненным в конце сезона абляции 2011 г., хорошо видно, что и тогда снег на поверхности ледников не сохранился, т.е. баланс массы всех ледников был отрицательным. Наблюдения В.А. Шишкова, сотрудника Института географии РАН, который участвовал в полевых работах на северном массиве гор Сунтар-Хаята летом 2012 г., показали аналогичную картину (устное сообщение). Таким образом, по крайней мере с 2011 по 2013 г., высота границы питания ледников этого района летом смещалась до их верхней высотной отметки; ледники теряли область аккумуляции, а баланс массы был устойчиво отрицательным.

Информацию о толщине *наложенного льда* на ледниках мы получили по фрагментарным данным, собранным на краях отдельных нерастаявших снежников и около русел водных потоков на поверхности ледников. Выполнено 50 измерений толщины наложенного льда на ледниках № 29–34 на разных высотах. Средняя толщина наложенного льда составила 17,5 см при разбросе от 3 до 30 см (коэффициент вариации 36,7). Анализ полученных данных показал, что тол-

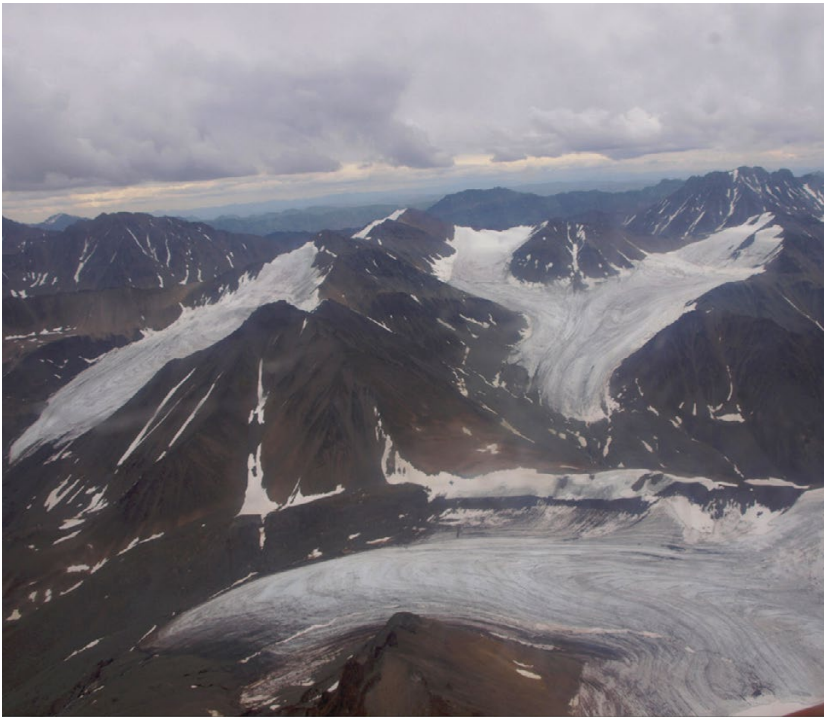


Рис. 5. Ледники северного массива гор Сунтар-Хаята в конце периода абляции

Fig. 5. Glaciers of the northern massif of the Suntar-Khayata Mountains at the end of ablation

щина наложенного льда примерно одинакова в разных высотных зонах ледника и сравнима с толщиной наложенного льда в других регионах, например на ледниках Шпицбергена [10]. При этом оказалось, что, как и в районе северного массива гор Сунтар-Хаята, в этих регионах на ледниках также отсутствует высотная изменчивость толщины наложенного льда.

Анализ изменения площади ледников дан в работе [6]. Здесь мы остановимся на *изменении толщины ледников*. Приведённые ранее данные о понижении поверхности ледников со времени максимального оледенения (см. табл. 3) сведены на рис. 6, среднее нулевое понижение поверхности в верховьях ледников должно было бы располагаться на высоте около 2710 м. Средний градиент изменения понижения поверхности ледников составляет 13,7 м на 100 м высоты. Согласно этим данным, среднее понижение поверхности льда на высоте 2400 м (средняя высота ледников № 28–31) составило около 42,5 м. Зная площадь поверхности ледников № 28–31 (9,05 км²), можно приблизительно оценить суммарную потерю объёма льда этих ледников со времени малого ледникового периода. Она составляет около 0,38 км³.

Гидрология поверхности ледников. Ледники северного массива гор Сунтар-Хаята имеют очень низкую среднюю годовую температуру

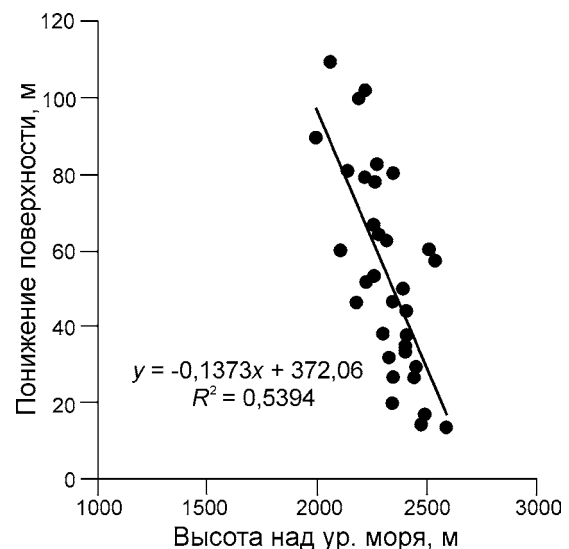


Рис. 6. Связь понижения поверхности изучаемых ледников со времени максимума оледенения с высотой над уровнем моря

Fig. 6. Relationship of the surface lowering of the glaciers studied from the period of their maximum extension with altitude

льда $T_{\text{лед}}$; согласно круглогодичным измерениям 2012–2013 гг. по термоксам, средняя $T_{\text{лед}}$ составила $-9,0 \div -10,0$ °C на глубине 10 м от поверхности на высотах 2250 и 2450 м на леднике № 31 (П.Н. Константинов, 2013 г., устное сообщение).

Поэтому, в соответствии с выводами П.А. Шумского [11] и нашими [12, 13], такие ледники в основном не имеют внутреннего дренажа, поскольку все возникающие во льду трещины не расширяются талой водой, а заполняются формирующимся льдом. Это подтверждается прямым наблюдением на ледниках как исследуемого массива гор, так и других районов. На всех обследованных ледниках присутствуют исключительно поверхностные водотоки, которые собирают талую воду с поверхности льда или дренируют воды ледниково-подпрудных озёр, как отмечалось ранее (ледники № 28, 31 и 34).

Тем не менее, в некоторых случаях можно наблюдать участки внутрилёдных каналов, которые возникают на боковых или реже на центральных водотоках. Причин возникновения таких каналов две. Первая – врезание поверхностных каналов в лёд (если скорость врезания водотока больше скорости поверхностной абляции); в дальнейшем канал закрывается наметаемым снегом и наложенным льдом [13]. Вторая – превращение поверхностного канала во внутрилёдный из-за пластической деформации каналов при движении льда. Мы наблюдали такое явление на языках ледников № 29, 30, когда один из центральных дренажных каналов смещался к правому борту ледника. При этом верхняя часть ледяного каньона сомкнулась, а нижняя успела расшириться за счёт текущей воды. Особняком стоит внутрилёдный канал на языке ледника № 31, который возник на месте излучины поверхностного водотока.

В целом основные водные потоки на поверхности ледников мало изменяют свои русла во времени. Тем не менее, это иногда происходит, поскольку при сходе снежного покрова весной изменяются условия стока воды. Так, по сравнению со снимками 2011 г. в период между 2011 и 2013 гг. изменилось положение ледяного каньона центрального водного потока на леднике № 30, который в 2011 г. уходил к правому борту ниже места разъединения ледников № 30 и 31 и далее проходил вдоль правого борта ледника № 30. В 2013 г. этот ледяной каньон располагался посередине ледника № 30 и после слияния ледников № 29 и 30 впадал в центральный каньон. Об изменении траектории водных потоков на поверхности ледника в недалёком прошлом говорит и положение остатков «муравьиных куч», трас-

сирующих положение поверхностных водотоков в прошлом. Судя по ним, центральный водный поток ледника № 30 около 20 лет назад у южной кромки нунатака, разделяющего ледники № 29 и 30, попадал на поверхность ледника № 29 и тёк по ней. Это показывает, что ледники № 29 и 30 гидрологически тесно связаны.

Обсуждение

В настоящее время ледники северного массива гор Сунтар-Хаята отступают. Анализ строения моренных комплексов обследованных ледников позволяет утверждать, что ледники массива испытывали колебания с максимума последнего оледенения, который пришёлся, вероятно, на малый ледниковый период. На это указывают многочисленные боковые морены максимальной стадии оледенения. Если считать, что верхняя боковая морена образовалась в малый ледниковый период, как это предполагается в работе [6], то за прошедшее время отмечено ещё два периода активизации после максимального, каждый из которых был меньше предыдущего. Понижение поверхности изученных ледников колеблется от 14 до 110 м со времени последнего максимума оледенения в данном районе. Имеющиеся материалы позволяют оценить и объём потерянной массы льда. Наши оценки показали, что со времени малого ледникового периода ледники № 28–31 потеряли около 0,38 км³ льда (№ 28 – 0,02, № 29–30 – 0,27, № 31 – 0,09 км³). Площадь ледников, изученных в полевой сезон 2013 г., такова, км²: № 28 – 0,5, № 29 – 2,8, № 30 – 3,63, № 31 – 2,12 (см. табл. 2).

Поскольку ледники изучаемого массива в 2011–2013 гг. полностью потеряли область аккумуляции, высота их границы питания в этот период располагалась у верхней кромки ледников, т.е. на высоте около 2700 м, а не на высоте около 2400 м, как это утверждается в работе [6] для 2011 г. Состояние ледников здесь во многом определяется колебаниями климата в северной части Тихого океана (и в частности Охотского моря). Согласно [14], Тихий океан пока ещё не начал активно охлаждаться. Это означает, что ледники гор Сунтар-Хаята в ближайшем будущем продолжат своё отступление, а высота их границы питания по-прежнему будет находиться у верхней

границы ледников, т.е. вся поверхность ледников будет располагаться в области абляции. И только после того, как воды северной части Тихого океана начнут охлаждаться, высота границы питания ледников начнёт опускаться. Процесс будет происходить быстро, потому что при похолоданиях начинает увеличиваться вертикальный градиент изменения температуры.

Тихоокеанская декадная осцилляция – The Pacific Decadal Oscillation (PDO) – климатическое явление, наблюдаемое преимущественно в северной части Тихого океана (в противоположность Эль Ниньо – Южная осцилляция) [8]. Она имеет две фазы. Тёплая фаза PDO называется положительной, а холодная – отрицательной. Как правило, пребывание в одной из фаз продолжается довольно долго: от 10 до 40 лет. В 1905 г. PDO находилось в тёплой фазе, в 1946 г. оно перешло в холодную фазу, а в 1977 г. вновь наступила тёплая фаза. Поскольку холодные фазы совпадают с периодами похолодания (1946–1977 гг.), а тёплые фазы соответствуют периодам потепления (1905–1946, 1977–2008 гг.), то начавшаяся с 2008 г. холодная фаза PDO может означать начавшееся похолодание в этом регионе.

По данным Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии, примерно с 2013 г. аномалии температуры поверхности океана в районе Охотского моря имеют отрицательные значения для весенних месяцев и начала лета на большей части Охотского моря и прилегающей океанической акватории [15–18]. Всё это может служить осторожным подтверждением нашей гипотезы о возможном начале похолодания северной части Тихого океана в районе влияния воздушных масс, формирующихся над этой акваторией, которое повлияет на ледники гор Сунтар-Хаята.

Заключение

Анализ имеющихся космических снимков и материалов, полученных в течение полевых работ, позволяет сделать ряд выводов.

1. На фоне наблюдающегося потепления ледники исследуемого района (северный массив гор Сунар-Хаята, Северо-Восток России) достаточно быстро деградируют, уменьшаясь не только по площади, но и по толщине. Характеристики

пространственного распределения трендов (за 45 лет, до 2012 г.) ключевых для оледенения факторов – средней летней температуры и твёрдых осадков, указывают на неблагоприятные условия существования ледников в настоящее время.

2. Полевые исследования показали, что все ледники этого района в 2011–2013 гг. имели отрицательный баланс массы, поскольку вся их поверхность к концу летнего сезона находилась в области абляции, а высота границы питания располагалась у верхней кромки ледников, т.е. на высоте около 2700 м над ур. моря.

3. С периода максимума последнего оледенения (предположительно в малый ледниковый период) понижение поверхности ледников достигло 102–117 м на ледниках № 30 и 31 с высотным градиентом от 10 до 26 м на каждые 100 м высоты. За время с малого ледникового периода ледники № 28–31 потеряли около 0,38 км³ льда.

4. Поскольку ледники изучаемого массива имеют очень низкую температуру льда на глубине 10 м от поверхности ($-9,0 \div -10,0$ °C), в них не формируются каналы внутреннего дренажа по трещинам. Все найденные фрагменты внутреннего дренажа образовались за счёт врезания каналов с поверхности и дальнейшего их закрытия наметаемым снегом и наложенным льдом. В результате все ледниковые озёра дренируются переливом.

Благодарности. Авторы выражают благодарность сотруднику лаборатории криогенных ландшафтов Института мерзлотоведения СО РАН П.Я. Константинову и коллективу японских коллег из Исследовательского института глобальных изменений (г. Йокосука, Япония) под руководством Т. Кадота за содействие и возможность проведения совместных полевых исследований ледников в районе горы Мус-Хая в августе 2013 г. Работа выполнена при поддержке программ Президиума РАН П-4 и ОНЗ-12.

Acknowledgments. We thank P.Y. Konstantinov from the Laboratory of cryogenic landscapes, Melnikov Permafrost Institute, and team of Japanese colleagues from the Research Institute for Global Change (Yokosuka, Japan) under the leadership of T. Kadota for their assistance and support in carrying out our joint field studies of glaciers on Mus-Khaya Mountain, August 2013. This work was funded by the Russian Academy of Sciences (programs P-4 and DES-12).

Литература

References

1. *Корейша М.М.* Современное оледенение хребта Сунтар-Хаята. (Результаты исследований по программе МГГ. Гляциология, № 11). М.: Изд-во АН СССР, 1963. 170 с.
2. *Лыткин В.М., Галанин А.А.* История открытия и исследования ледников хребта Сунтар-Хаята // Молодой ученый. 2013. № 1. С. 62–68.
3. *Виноградов О.Н., Голодковская Н.А., Корейша М.М., Серебряный Л.Р.* Новые данные о современном и древнем оледенении гор Сунтар-Хаята // МГИ. 1972. Вып. 19. С. 80–91.
4. *Ананичева М.Д., Давидович Н.В., Кононов Ю.М., Корейша М.М., Ямада Т., Такахаши Ш., Шираива Т.* Ледники северного массива Сунтар-Хаята: изменения со времени МГГ // МГИ. 2003. Вып. 95. С. 85–101.
5. *Ананичева М.Д., Капустин Г.А., Корейша М.М.* Изменение ледников гор Сунтар-Хаята и хр. Черского по данным Каталога ледников СССР и космическим снимкам 2001–2003 гг. // МГИ. 2006. Вып. 101. С. 163–169.
6. *Галанин А.А., Лыткин В.М., Федоров А.Н., Кадота Т.* Сокращение ледников гор Сунтар-Хаята и методические аспекты его оценки // Лёд и Снег. 2013. № 4 (124). С. 30–42.
7. Электронный ресурс: <http://www.bing.com/maps/>
8. Электронный ресурс: <http://www.meteo.ru>
9. Каталог ледников СССР. Т. 17. Вып. 3. Ч. 1; Вып. 7. Ч. 3; Т. 19. Ч. 3. Хребет Сунтар-Хаята. Л.: Гидрометеиздат, 1977.
10. *Соловьянова И.Ю., Мавлюдов Б.Р.* Изучение наложенного льда на ледниках Шпицбергена // Комплексные исследования природы Шпицбергена. 2006. Вып. 6. Апатиты: изд. КНЦ РАН. С. 279–290.
11. *Шумский П.А.* Основы структурного ледоведения. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 492 с.
12. *Мавлюдов Б.Р.* Движение воды в горном леднике // МГИ. 1997. Вып. 82. С. 13–17.
13. *Мавлюдов Б.Р.* Внутренние дренажные системы ледников. М.: изд. Института географии РАН, 2006. 396 с.
14. Электронный ресурс: <http://www.ipcc.ch>
15. Электронный ресурс: http://teradata.sakhniro.ru/site.php?Lang=RU&page=sst&template=rep_sst_anomalies_tenday_2013_jan-mar
16. Электронный ресурс: http://teradata.sakhniro.ru/site.php?Lang=RU&page=sst&template=rep_sst_anomalies_tenday_2013_apr-jun
17. Электронный ресурс: http://teradata.sakhniro.ru/site.php?Lang=RU&page=sst&template=rep_sst_anomalies_tenday_2014_jan-mar
18. Электронный ресурс: http://teradata.sakhniro.ru/site.php?Lang=RU&page=sst&template=rep_sst_anomalies_tenday_2014_apr-jun
1. *Koreysa M.M.* Modern glaciation of Suntar-Khayata Ridge (Results on investigations by program of IGY. Glaciology. 11). Moscow: Russian Academy of Sciences, 1963: 170 p. [In Russian].
2. *Lytkin V.M., Galanin A.A.* Hystory of opening and investigations of Suntar-Khayata Ridge. *Molodoy Uchenyi*. Young Scientist. 2013, 1: 62–68. [In Russian].
3. *Vinogradov O.N., Golodkovskaya N.A., Koreysa M.M., Serebryanyj L.R.* New data about modern and ancient glaciation of Suntar-Khayata Mountains. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1972, 19: 80–91. [In Russian].
4. *Ananicheva M.D., Davidovich N.V., Kononov Yu.M., Koreysa M.M., Yamada T., Takakhashi Sh., Shiraiva T.* Glaciers of the Northern Massif of Suntar-Khayata: changing from time of IGY. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 2003, 95: 85–101. [In Russian].
5. *Ananicheva M.D., Kapustin G.A., Koreysa M.M.* Glaciers changing of Suntar-Khayata Mountains and Cherskiy Ridge on the base of data of USSR Glaciers Inventory and space images of 2001–2003. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 2006, 101: 163–169. [In Russian].
6. *Galanin A.A., Lytkin V.M., Fedorov A.N., Kadota T.* Glaciers decreasing of Suntar-Khayata Mountains and methodological aspects of their estimation. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2013, 4 (124): 30–42. [In Russian].
7. <http://www.bing.com/maps/>
8. <http://www.meteo.ru>
9. *Katalog lednikov SSSR*. USSR Glacier Inventory. V. 17. Issue 1. Pt. 1; Issue 7, Pt. 3; V. 19. Pt. 3. Leningrad: Gidrometeoizdat. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1977. [In Russian].
10. *Solovyanova I.Yu., Mavlyudov B.R.* Study of superimposed ice on Spitsbergen glaciers. *Kompleksnyye issledovaniya prirody Spitsbergena*. Complex investigations of Spitsbergen nature. 2006. V. 6. Apatity: Cola Scientific Center RAS. 279–290. [In Russian].
11. *Shumskiy P.A.* Base of structural ice study. Moscow: Russian Academy of Sciences, 1955: 492 p. [In Russian].
12. *Mavlyudov B.R.* Water movement in mountain glacier. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1997, 82: 13–17. [In Russian].
13. *Mavlyudov B.R.* Internal drainage systems of glaciers. Moscow: Institute of Geography RAS, 2006: 396 p. [In Russian].
14. <http://www.ipcc.ch>
15. http://teradata.sakhniro.ru/site.php?Lang=RU&page=sst&template=rep_sst_anomalies_tenday_2013_jan-mar
16. http://teradata.sakhniro.ru/site.php?Lang=RU&page=sst&template=rep_sst_anomalies_tenday_2013_apr-jun
17. http://teradata.sakhniro.ru/site.php?Lang=RU&page=sst&template=rep_sst_anomalies_tenday_2014_jan-mar
18. http://teradata.sakhniro.ru/site.php?Lang=RU&page=sst&template=rep_sst_anomalies_tenday_2014_apr-jun