

## СНЕЖНЫЙ ПОКРОВ И ЛЕДНИКИ

УДК 551.324

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2018-6(55-63)

ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОТЫ ГРАНИЦЫ ПИТАНИЯ ЛЕДНИКОВЫХ СИСТЕМ  
НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ СИБИРИ В КОНЦЕ XX–НАЧАЛЕ XXI ВЕКА

М.Д. Ананичева

*Институт географии РАН, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29, Россия; maria\_anan@rambler.ru*

Рассмотрены пространственные закономерности изменения высоты границы питания ледниковых систем Сунтар-Хаята, Черского, Орулгана и в целом на северо-востоке Сибири для трех периодов наблюдений: 1930–1960, 1961–1990, 1991–2012 гг. Установлено, что потепление в XXI в. в Северо-Восточной Сибири стало более интенсивным, чем в предыдущие 50 лет. Средние годовые и средние летние температуры росли по всей территории, суммы годовых осадков по данным большинства метеостанций также увеличивались, а количество твердых осадков уменьшалось. Климатические изменения стали причиной почти повсеместного повышения высоты границы питания и роста абляции, равной аккумуляции на этой высоте; в среднем подъем границы питания по расчетам составил ( $200 \pm 50$ ) м, диапазон значений абляции–аккумуляции – от 100 до 450 мм. Эти величины на средней высоте границы питания ледниковых систем изменялись на 50–250 мм в разные периоды. Гляциологические характеристики, рассчитанные по климатическим данным, являются фоновыми величинами, они позволяют судить об изменении ледниковых систем в этом малоизученном регионе.

*Ледник, ледниковые системы, высота границы питания, климат, тренд, криосфера, Северо-Восточная Сибирь*

CHANGES IN EQUILIBRIUM LINE ALTITUDE OF GLACIER SYSTEMS  
IN NORTHEASTERN SIBERIA FOR THE LATE 20th–EARLY 21st CENTURIES

M.D. Ananicheva

*Institute of Geography, RAS, 29, Staromonetny per., Moscow, 119017, Russia; maria\_anan@rambler.ru*

Changes in the equilibrium line altitude (ELA) of glacier systems have been studied in the Suntar-Khayata, Chersky and Orulgan mountains, as well as over the whole territory of Northeastern Siberia, for three periods of time: 1930–1960, 1961–1990 and 1991–2012. Northeastern Siberia has undergone warming in the 21st century which became more rapid than in the previous fifty years. Records at most weather stations show increasing trends in mean annual and summer air temperatures and in total atmospheric precipitation but a decreasing trend in solid precipitation. The climate change has led to a rise of glacier ELA almost all over the Northeastern Siberia and to an increase in ablation which is in balance with accumulation at this altitude. The ELA rise is from 100 to 450 mm,  $200 \pm 50$  m on average, while the ablation (accumulation) increase is 50 to 250 mm in different periods. The glacier parameters inferred from climatic data are background values, which provide a general idea of current and potential changes in glacier systems in this poorly studied region.

*Glacier, glacier system, equilibrium line altitude, climate, trend, cryosphere, Northeastern Siberia*

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе продолжены исследования пространственного распределения характеристик ледниковых систем [Ананичева, Кренке, 2005]. В статье 2005 г. был представлен опыт одновременного построения полей пространственного распределения климатической снеговой линии (КСЛ) и высоты границы питания (ВГП). Оценены их изменения на основе данных метеостанций (средняя летняя температура, определяющая величину абляции, и количество твердых осадков, определяющих аккумуляцию) в малоизученном с гляциологической точки зрения регионе северо-

востока Сибири. Это территория, ограниченная хребтами, покрытыми ледниками (хребты Верхоянский, Сунтар-Хаята, Черского), и прилегающими к ним областями (рис. 1).

Автором использованы данные имеющихся в этом районе метеостанций с периодом наблюдений 1930–2012 гг. В табл. 1 приведены сведения, полученные на 20 метеостанциях, работающих по настоящее время (см. рис. 1).

Оледенение хребтов Сунтар-Хаята, Черского и Орулгана изучалось со времени Международного геофизического года [Корейша, 1963, 1991;



Рис. 1. Местоположение районов, для которых получены высотные профили температуры ( $T_{sum}$ ) и осадков ( $P_{sol}$ ).

1 – границы и номера районов (см. табл. 2), 2 – метеостанции.

Таблица 1. Метеостанции, данные которых использованы в работе ([www.meteo.ru](http://www.meteo.ru))

Номер	Название	Синоптический индекс	Высота, м	Широта, град	Долгота, град
1	Агаякан	24684	777	63.20	141.44
2	Верхоянск	24266	137	67.34	133.24
3	Западная	24678	851	63.08	138.17
4	Зырянка	25400	283	65.44	150.54
5	Иэма	24477	660	65.18	135.48
6	Магадан	25911	50	59.50	150.70
7	Оймякон	24688	740	63.15	143.09
8	Охотск	31088	6	59.22	143.12
9	Сеймчан	25703	206	62.55	152.25
10	Среднекан	25705	260	62.27	152.19
11	Томпо	24671	400	64.17	135.52
12	Усть-Мома	24382	195	66.27	143.14
13	Чокурдах	21946	45	70.60	147.90
14	Сусуман	24790	649	62.80	148.20
15	Вилойск	24641	107	63.80	121.60
16	Охотский перевоз	24871	141	61.90	135.50
17	Кюсюр	21921	30	70.70	127.40
18	Тонгулах	24843	205	61.90	124.60
19	Коркодон	25503	102	64.45	154.40
20	Омолон	25428	264	65.20	160.50

*Takahashi et al., 2011; Ananicheva, Karpachevsky, 2015*]. В настоящей статье поставлена задача продолжить рассмотрение пространственных закономерностей распределения важных гляциологических характеристик (высота границы питания, величины абляции и аккумуляции) для существующих ледниковых систем хребтов Сунтар-Хаята, Черского, Орулгана, северо-востока Сибири в целом и для современного периода времени. Ледниковые системы – это множество ледников, объединенных общими связями с подстилающей поверхностью, атмосферной циркуляцией и совместным влиянием на окружающие климатические условия, поверхностный сток и рельеф [*Кренке, 1982*].

В [*Ананичева, Кренке, 2005*] были проанализированы изменения взаимосвязи КСЛ и ВГП для двух периодов: 1930–1960 и 1961–1991 гг. Начало 1960-х гг. стало для исследуемого района временем явного климатического сдвига в сторону потепления, продолжающегося и поныне. Из сопоставления полей КСЛ и ВГП горно-ледниковых систем следует, что летнее потепление до 1992 г. в данном регионе было невелико (рост летних температур не превышал 2 °С, в среднем составляя 0.5 °С) и ограничивалось центральными частями хребтов и прилегающих внутренних котловин. Потепление сопровождалось увеличением количества твердых осадков за счет повышения зимних температур и усиления циклонической активности, отчасти компенсирующей повышение нижней границы хионосферы.

Основной характеристикой наземной криосферы, определяющей ее распространение и эволюцию, является положение нижней границы хионосферы – поверхности равных высот снеговой линии в атмосфере, где потенциальное накопление и таяние снега равны (термин введен С.В. Калесником [*1963*]). На ледниках же эта линия представляет собой среднюю многолетнюю высоту нулевого баланса, или высоту границы питания.

С периода 1960–1991 гг. прошло более 20 лет, это время характеризуется положительными трендами температур. Тренды средней летней ( $T_{\text{sum}}$ ), средней годовой температуры ( $T_{\text{year}}$ ), сумм осадков твердых ( $P_{\text{sol}}$ ) и жидких ( $P_{\text{liq}}$ ) за 50 лет (до 2012 г.) были получены по имеющимся данным метеостанций для рассматриваемого региона (см. рис. 1, а, б в [*Мавлюдов, Ананичева, 2016*]). Приведенные в этой статье карты-схемы показывают, что потепление в летний период в обширном районе гор Сунтар-Хаята–хр. Черского идет уже длительное время, но интенсивность его невелика: тренд  $T_{\text{sum}}$  – от 1 до 2 °С/50 лет. Тренды  $T_{\text{year}}$  также положительные – от 1 до 3 °С/50 лет.

Достаточно длительный период потепления, прошедший после оценки, сделанной в [*Ананичева, Кренке, 2005*], не мог не сказаться на режиме ледниковых систем. Поэтому в настоящей статье

дана оценка изменения одного из главных его параметров – высоты границы питания ледниковых систем в том же районе в XXI в., а также изменения абляции–аккумуляции на ВГП.

Карты высот границы питания широко использовались в качестве индикаторов климата и гидрологических условий в районах высокогорья при составлении карт режима ледников Атласа снежно-ледовых ресурсов мира (<http://www.webgeo.ru/index.php?r=50&page=1&id=5723>) и в монографии [*Кренке, 1982*]. Самая общая закономерность, полученная А.Н. Кренке, заключается в повышении ВГП от 200 м в высокой Арктике (минимум 150 м на юго-востоке Земли Франца-Иосифа) до 5000 м на крайнем юге бывшего СССР (Памир, максимум 5400 м на южных подветренных склонах Заалайского хребта).

В [*Ананичева, Кренке, 2005*], в отличие от указанных работ, для современных и прошлых условий представлен расчет основных гляциологических уровней – высот КСЛ и ВГП ледников по климатическим данным. Также авторами был использован подход, основанный на высотном положении ледников. В частности, значение ВГП отдельного ледника при наличии данных о его высотных отметках (нижние и верхние точки ледника) обычно рассчитывалось по методу Гефера–Куровского [*Кренке, 1982*] как среднее арифметическое между этими отметками. Метод Гефера–Куровского можно применять для горных ледников малых и средних размеров [*Braithwaite, 2015*]. Автором он был распространен на ледниковую систему и использован для построения современных полей ВГП разных ледниковых районов Северо-Востока России.

Для анализа изменений температурного и влажностного режимов региона использованы ряды суточных температур и осадков для метеостанций (данные ВНИГМИ–МЦД, г. Обнинск), а также среднемесячные значения для двух станций – Агаякан, 777 м над уровнем моря (н.у.м.), и Сунтар-Хаята, 2068 м н.у.м. (данные Якутской гидрометслужбы). Эти станции наиболее близко расположены к ледникам Сунтар-Хаята. По данным метеостанций были построены высотные профили температур воздуха и сумм осадков, в результате удалось выявить районы с однозначными высотными зависимостями  $T_{\text{sum}}$  и  $P_{\text{sol}}$ . Таких районов выделено 16 (см. рис. 1, с учетом районов с номерами 6а, 7а, 7б).

Проанализированы средняя температура воздуха для летнего периода (июнь–август) как основного индикатора величины таяния и количество твердых осадков, необходимых для определения аккумуляции на ВГП. По способу Э.Г. Богдановой [*1977*], основанному на зависимости доли твердых осадков от температуры воздуха на определенных высотах, рассчитана  $P_{\text{sol}}$ . Зависимости

Таблица 2. Изменения высоты границы питания (ВГП) ледников за рассматриваемые периоды для существующих и потенциальных ледниковых систем на северо-востоке Сибири

Но- мер	Район	ВГП, м			Изменение ВГП, м		
		1930–1960	1961–1990	1991–2012	1930–1960/ 1961–1990	1961–1990/ 1991–2012	1930–1960/ 1991–2012
1	Бассейн р. Яма	2450	2500	2500	50	0	50
2	Сунтар-Хаята, южный массив, бассейн р. Юдома	2450	2500	2550	50	50	100
3	Хребты Улахан-Бом, Сегте-Дабан	2750	2850	2900	100	50	150
4	Хр. Черский, южная часть, запад	2250	2300	2400	50	100	150
5	Хр. Сунтар-Хаята, северный массив	2350	2400	2550	50	150	200
6	Момский хребет	2150	2100	2250	–50	150	100
6а	Хр. Черский, южная часть, восток	2250	2300	2500	50	200	250
7	Омсукчанский хребет	1650	1750	2000	100	250	350
7а	Бассейны рек Кедеон, Омолон	1700	1800	2150	100	350	450
7б	Юкагирское нагорье	1800	1900	2250	100	350	450
8	Хр. Черский, центральная часть	2350	2300	2400	–50	100	50
9	Оймяконское и Эльгинское плато	2400	2450	2500	50	50	100
10	Верхоянский хребет	2000	2100	2200	100	100	200
11	Верхоянское плато	2550	2600	2650	50	50	100
12	Момо-Селеняхская низменность	1750	1850	1930	100	80	180
13	Хребет Орулган	1700	1750	2100	50	350	400
	Среднее значение	2172	2219	2364	47	145	192

получены по массиву фактических данных для регионов мира.

Выявленные районы охватывали основные хребты и котловины Верхояно-Колымской области. Каждый район был представлен метеостанциями в диапазоне высот от 100 до 1500 м, и только в северном массиве Сунтар-Хаята имелась метеостанция, расположенная у ледника 31, на высоте 2068 м н.у.м. (табл. 2). Для каждого района по климатическим данным (температура и осадки) рассчитывались профили абляции и аккумуляции (методика расчета дана ниже).

#### КЛИМАТ РЕГИОНА И ЕГО ИЗМЕНЕНИЯ

Общие черты климата подробно описаны в [Ананичева, Кренке, 2005]. Характерная его черта – контраст между очень холодными и сухими котловинами, межгорными долинами северо-востока Сибири и более влажным высокогорьем с менее суровыми температурными условиями.

Период 1930–1960 гг. характеризовался похолоданием, которое началось в конце 1930-х для территории от 59 до 63° с.ш. и в начале 1950-х – от 63 до 73° с.ш. Оно продолжалось дольше в центральной и юго-западной частях исследуемой области. Но уже в начале 1950-х гг. в приохотском секторе началось потепление, которое все еще продолжается. С начала 1960-х гг. потепление охватило почти всю Верхояно-Колымскую область, преимущественно континентальные районы (это почти вся территория северо-востока Сибири). Оно длилось до начала 1990-х гг., в основном за

счет довольно резкого повышения температуры холодного периода.

Анализ разницы средней летней температуры воздуха ( $T_{\text{sum}}$ ) между периодами 1930–1960 и 1961–1992 гг. показывает, что максимальная летняя аномалия наблюдалась в самых высоких частях региона – в центральной части хр. Черского, в районе Улахан-Чистайского хребта и северном массиве Сунтар-Хаята (3.9–2.2 °С). Меньшая аномалия отмечалась в южных частях этих горных систем, а также на юге Момского хребта и в районе Колымского нагорья (до 2 °С) [Ананичева, Кренке, 2005].

По данным низкогорных метеостанций, на северо-востоке Сибири за год выпадало от 25 до 50 % твердых осадков в зависимости от суровости климата. Максимум осадков приходился на переходные сезоны – май, сентябрь, октябрь. Абсолютная величина количества твердых осадков менялась от 250 мм (юг Момского хребта, подветренный склон Верхоянского хребта) до 60–70 мм в котловинах. В высокогорье Сунтар-Хаята они достигали 200–300 мм (50–60 % от общей суммы) [Васильев, Торговкин, 2002].

О климатических тенденциях за период с начала 1990-х гг. до 2012 г. можно судить по рассчитанным значениям температуры  $T_{\text{sum}}$ ,  $T_{\text{year}}$  и осадков  $P_{\text{sol}}$ ,  $P_{\text{year}}$ . По данным всех метеостанций, за 1991–2012 гг.  $T_{\text{sum}}$  и  $T_{\text{year}}$  увеличились по сравнению с 1960–1990 гг., причем средняя годовая температура повысилась с 0.7 до 1.8 °С. Максимум увеличения отмечен для северо-западной части

региона. Средняя летняя температура, что важно для процесса абляции ледников, возросла с 0.4 до 1.5 °С, максимально в районе “Полюса холода” и северо-западной части региона, т.е. в области ледниковых систем Северо-Восточной Сибири. Осадки в сумме за год, по данным большинства станций, возросли на 5–60 %, осадки же холодного периода уменьшились на 4–65 % примерно в тех же областях, где произошло наибольшее увеличение  $T_{sum}$ ,  $T_{year}$ .

Интересно, что оценки атмосферного водного цикла по семи различным ре-анализам для Арктики, в том числе северо-востока Сибири, охватывающие период 1979–2013 гг. из [Dufour et al., 2016], показывают, что транспортировка влаги в этот регион уменьшилась по всем моделям.

Таким образом, климатические изменения последних десятилетий не способствуют сохранению и, тем более, наступанию ледников.

### МЕТОДИКА ПОСТРОЕНИЯ ПОЛЕЙ ВГП И РАСЧЕТ АККУМУЛЯЦИИ–АБЛЯЦИИ НА ЭТОМ УРОВНЕ

Для указанных 16 районов были рассчитаны высотные профили абляции и аккумуляции по климатическим данным, охватывающим основные хребты и котловины Верхояно-Колымской области. Пересечение этих профилей определяет значения ВГП ледников как в случае реального существования ледников в этом районе в настоящее время, так и в случае их отсутствия вследствие недостаточной высоты для формирования ледников. Каждый район был представлен несколькими метеостанциями в диапазоне высот от 100 до ~900 м, кроме одной станции возле ледника 31.

Таблица 3. Величина абляции (аккумуляции) на высоте границы питания в целом для ледниковых систем, мм/год

Номер	Ледниковая система	1930–1960	1961–1990	1991–2012
1	Бассейн р. Яма	500	500	750
2	<b>Сунтар-Хаята, южный массив, бассейн р. Юдома</b>	550	670	600
3	Хребты Улахан-Бом, Сегте-Дабан	350	500	700
4	<b>Черский, южная часть, запад</b>	450	480	500
5	<b>Сунтар-Хаята, северный массив</b>	450	580	650
6	Момский хребет	550	600	650
6а	<b>Черский, южная часть, восток</b>	440	500	540
7	Омсугчанский хребет	750	750	650
7а	Бассейны рек Кедеон, Омолон	600	550	600
7б	Юкагирское нагорье	700	600	600
8	<b>Черский, центральная часть, запад</b>	350	350	400
9	Оймяконское и Эльгинское плато	370	440	400
10	Верхоянский хребет	410	470	510
11	Верхоянское плато	600	600	550
12	Момо-Селеняхская низменность	380	400	420
13	<b>Хребет Орулган</b>	580	560	600

Примечание. Существующие ледниковые системы выделены жирным шрифтом.

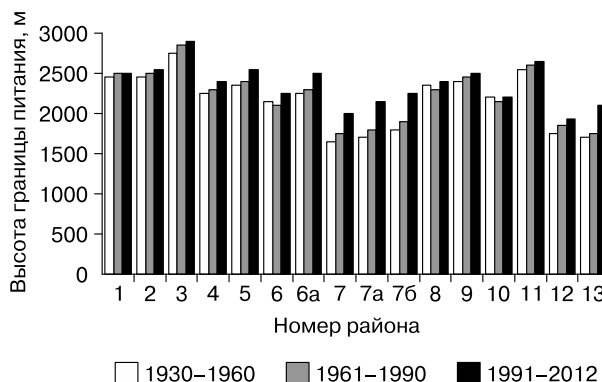


Рис. 2. Сравнение значений высоты границы питания, полученных в результате расчетов, для трех периодов.

Поэтому вертикальное распределение  $T_{sum}$  на высотах более 1 км принималось подобным их профилю в районе этой станции с учетом градиентов температуры для каждого района.

При расчете абляции ( $A$ , г/см<sup>2</sup>) по формуле М.М. Корейши [1991]:

$$A = 0.1(T_{sum} + 7)^3,$$

учитывающей свойство ледников данного региона – образование наложенного льда, был принят во внимание скачок температуры при переходе на ледниковую поверхность, определенный по формуле Н.В. Давидович [1983]:

$$T_{gl} = 0.85T_{nongl} - 1.2,$$

где  $T_{gl}$ ,  $T_{nongl}$  – температура на ледниковой и неледниковой поверхностях соответственно.

Аккумуляция  $C$  определялась введением коэффициента концентрации снега  $K_{\text{сн}}$  на ледниках, который учитывает переотложение со склонов, метелевый и лавинный перенос, его величина добавлялась к значениям количества твердых осадков. Коэффициент  $K_{\text{сн}}$  зависит от преобладающего типа ледников в группе [Кренке, 1982].

Необходимо отметить, что построенные таким способом вертикальные профили  $A$  и  $C$  полностью соответствуют истинным только вблизи ВГП, поскольку именно для этой высоты выведено уравнение связи средней летней температуры и абляции. Подробно методика описана в работах [Ананичева, Кренке, 2007; Ananicheva et al., 2010].

Таким образом, были получены значения ВГП, по которым можно построить условное поле распределения высоты границы питания как реальных, так и “потенциальных” групп оледенения.

Сравнение значений ВГП, полученных в результате расчетов для трех периодов, показано на рис. 2 (см. также табл. 2). Ошибка расчета высоты границы питания, полученная по методу наименьших квадратов отклонения точек на высотных профилях, составляет ~50 м.

Была рассчитана абляция и равная ей аккумуляция на высоте границы питания ледниковых систем за разные периоды. С построенных профилей балансовых кривых по климатическим данным были сняты значения аккумуляции (абляции) на ВГП для трех периодов (табл. 3). Методика расчета этих параметров приведена выше.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Максимальный подъем ВГП характерен для восточных частей региона – Омсукчанского хребта, Юкагирского нагорья, бассейнов рек Кедеон, Омолон (к 1960–1991 гг. – до  $(350 \pm 50)$  м, к 2012 г. – до  $(450 \pm 50)$  м), в случае если бы в этих регионах были достаточные высоты рельефа для развития ледников, а также для региона севера Верхоянского хребта. Минимальный подъем ВГП характерен для южных частей хребтов Сунтар-Хаята и Черского (на 50 и 100 м соответственно). Эти районы получают больше осадков с Охотского моря. Повышение или понижение ВГП на 50 м находится в пределах точности метода расчета, тем не менее даже этот показатель говорит о тенденции изменений данного гляциологического уровня.

В обоих случаях та или иная величина изменения ВГП, по-видимому, обусловлена количеством твердых осадков. Полученные автором тренды осадков и разница между этими значениями для двух климатических периодов (см. выше) являются подтверждением того, что количество твердых осадков имеет тенденцию к убыванию. О пространственной картине распределения ВГП

для трех периодов в этом крупном регионе России можно судить по полям данного параметра для реальных и потенциальных ледниковых систем (рис. 3).

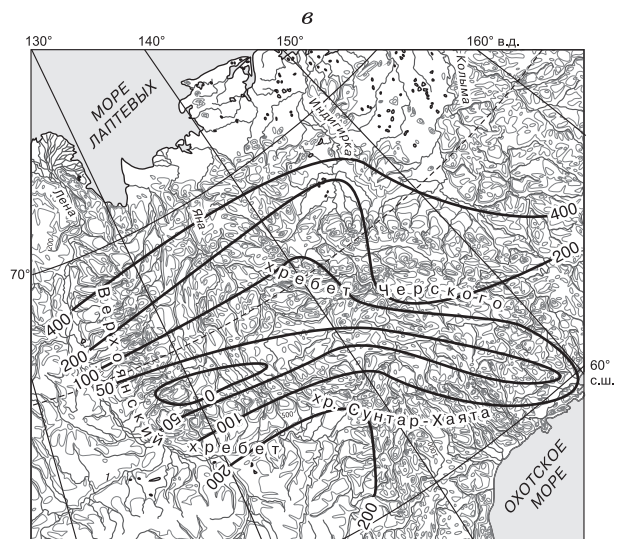
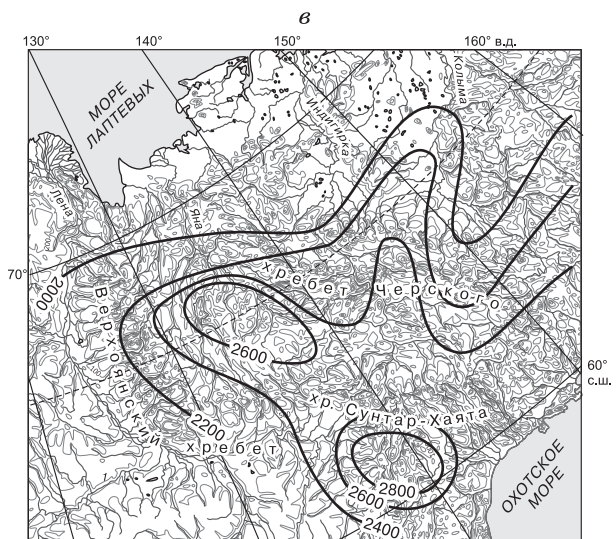
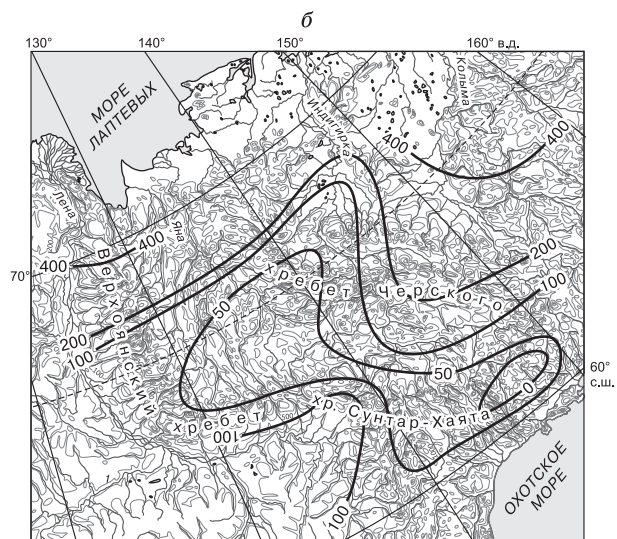
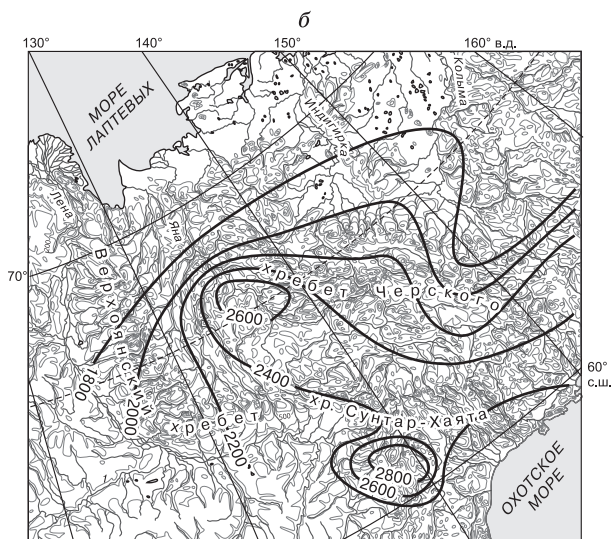
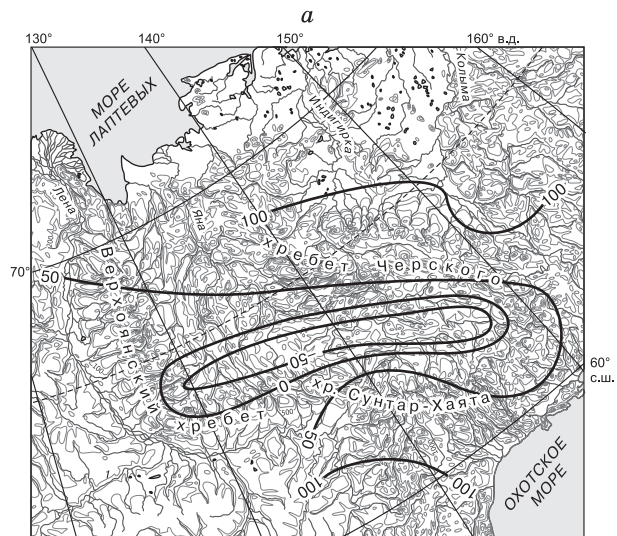
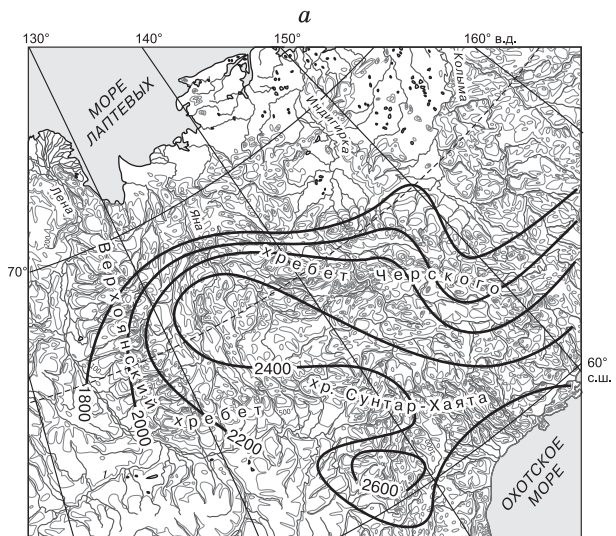
Пространственное распределение значений ВГП имеет сглаженный характер. Анализ карт на рис. 3 позволяет сделать следующие выводы: высота границы питания ледниковых систем неуклонно возрастает (максимально на 350–400 м, в среднем на 200 м); со временем “очаги” большего поднятия ВГП также становятся более выраженными и расширяются в силу происходящего потепления. Летнее потепление последних десятилетий (до 1990-х гг. и в XXI в.) в данном регионе становится от периода к периоду более выраженным.

Высота границы питания ледниковых систем служит индикатором чувствительности ледниковых систем к климатическим долгопериодным изменениям, а поля ВГП – пространственным показателем влияния изменения климата на горные регионы. Что касается пространственных вариаций разницы ВГП от периода к периоду, то их можно проследить по полям разности значений ВГП.

На рис. 4 приведены изменения высоты границы питания за три периода. Разница в значениях ВГП для всех периодов увеличивается по мере приближения к морям Северного Ледовитого океана и к северу Дальнего Востока, где изменения климата идут интенсивнее. Минимальна она в межгорной котловине между хребтами Сунтар-Хаята и Черского и южнее. Эти изменения становятся более выраженными со временем, но к 2012 г. максимум изменений сместился от прибрежной части Охотского моря в глубь континента, что говорит о развитии тенденций к потеплению и влиянию его на оледенение.

Области большего изменения ВГП указывают на потенциальные места повышенного риска развития неблагоприятных явлений нивально-гляциальной зоны (гляциальные сели, ледниковые обвалы и т. п.). Но судить об этом лишь по изменению ВГП недостаточно, необходимо выяснить, как минимум, изменения абляции и аккумуляции в ледниковых системах. По климатическим данным можно определить эти значения на высоте границы питания. Что касается тенденции изменения величин абляции (аккумуляции) на ВГП (они равны на этом уровне), то она заключается в постепенном увеличении этих элементов баланса от периода к периоду в связи с повышением ВГП за счет таяния ледников и сокращения площадей распространения ледникового льда.

Исходя из опубликованных данных [Ананичева, Кренке, 2005], в период 1930–1960 гг. абляция и равная ей аккумуляция на ВГП принимали значения от 350 до 750 мм/год, но для существующих ледниковых систем (в табл. 3 выделены жирным



**Рис. 3. Поля высоты границы питания (м) для реальных и потенциальных ледниковых систем изучаемого региона за три периода:**

*a* – 1930–1960 гг.; *б* – 1961–1990 гг.; *в* – 1991–2012 гг.

**Рис. 4. Изменения высоты границы питания (м) ледников в 1961–1990 гг. по сравнению с 1930–1960 гг. (*a*), в 1991–2012 гг. по сравнению с 1961–1990 гг. (*б*) и в 1991–2012 гг. по сравнению с 1930–1960 гг. (*в*).**

шрифтом), диапазон значений составляет от 400 до ~600 мм, в период 1961–1990 гг. для существующих ледниковых систем – 350–580 мм. В последнее время величины абляции (аккумуляции) на ВГП возросли до 400–750 и 400–650 мм для существующих ледниковых систем.

Наибольшее увеличение этих величин произошло с 1930-х гг. до настоящего времени на юге региона, наименьшее вплоть до минимальных значений – на севере. В ледниковых системах Сунтар-Хаята и в восточных частях хр. Черского увеличение больше, чем в западных. Таким образом, к настоящему времени подъем ВГП и рост значений *A* и *C* уже характерен для внутренних, более континентальных частей хребтов и межгорных плато.

Гляциологические характеристики, полученные по климатическим данным, являются фоновыми величинами, плавно распределенными в пространстве, что позволяет судить об изменении режима ледниковых систем всего изучаемого региона.

### ВЫВОДЫ

1. В продолжение [Ананичева, Кренке, 2005] по данным метеостанций были рассчитаны значения высот границы питания и аккумуляции–абляции на этом высотном уровне для трех периодов 1930–1960, 1961–1990 и 1991–2012 гг. и дан анализ их изменений. Карты изолиний ВГП для каждого периода и разницы между ними построены для континентальной части севера-востока Сибири как для существующих, так и для потенциальных ледниковых систем.

2. Пространственное распределение ВГП определяется климатическими условиями: для периода до 1991 г. летнее потепление в данном регионе было невелико и ограничилось центральными частями хребтов и внутренних котловин. Потепление также сопровождалось ростом количества твердых осадков за счет повышения зимних температур и усиления циклонической активности. Потепление XXI в. в регионе стало более интенсивным, средние летние и годовые температуры воздуха повсюду увеличивались, значения годовых осадков, по данным большинства метеостанций, также увеличивались, а осадки холодного периода начали сокращаться, что приводит к неблагоприятной ситуации для сохранения и развития ледников региона.

3. Климатические изменения стали причиной почти повсеместного повышения высоты границы питания ледниковых систем, в среднем их подъем по расчетам составил  $(200 \pm 50)$  м. Значения абляции–аккумуляции на средней высоте границы питания ледниковых систем различались от периода к периоду (на 50–250 мм).

*Автор выражает благодарность Ю.М. Конову за научную и техническую помощь при подготовке статьи.*

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 16-05-00349).*

### Литература

**Ананичева М.Д., Кренке А.Н.** Эволюция высот климатической снеговой линии и границы питания ледников на Северо-Востоке Сибири в XX веке // *Материалы гляциол. исслед.*, 2005, вып. 98, с. 225–232.

Ananicheva, M.D., Krenke, A.N., 2005. The evolution of climatic snow line and equilibrium line altitudes of glaciers in Northeastern Siberia in the 20th century. *Mater. Glaciol. Issled.*, 98, 225–232.

**Ананичева М.Д., Кренке А.Н.** Гляциологический прогноз. Горное оледенение (на примере Северо-Востока России и Камчатки) // *Оледенение Северной Евразии в недавнем прошлом и ближайшем будущем.* М., Наука, 2007, с. 277–293.

Ananicheva, M.D., Krenke, A.N., 2007. Glaciological projection. Valley glaciers (case studies of Northeastern Russia and Kamchatka), in: *Glaciation in Northern Eurasia in the Recent Past and in the Near Future.* Nauka, Moscow, pp. 277–293. (in Russian)

**Атлас** снежно-ледовых ресурсов мира [Электрон. ресурс]. – URL: <http://www.webgeo.ru/index.php?r=50&page=1&id=5723> (дата обращения: 10.03.2017).

World Snow and Ice Resources. An Atlas. – URL: <http://www.webgeo.ru/index.php?r=50&page=1&id=5723> (submittal date: 10.03.2017).

**Богданова Э.Г.** Методика расчета доли осадков разных видов (твердых, жидких и смешанных) в горных условиях // *Материалы гляциол. исслед.*, 1977, вып. 30, с. 126–129.

Bogdanova, E.G., 1977. Methods for estimating the shares of solid, liquid, and mixed precipitation types in highlands. *Mater. Glaciol. Issled.*, 30, 126–129.

**Васильев И.С., Торговкин Я.И.** Пространственное распределение осадков Якутии // *Метеорология и гидрология*, 2002, № 6, с. 23–32.

Vasiliev, I.S., Torgovkin, Ya.I., 2002. Spatial distribution of atmospheric moisture in Yakutia. *Meteorologiya i Gidrologiya*, No. 6, 23–32.

**Давидович Н.В.** Охлаждающее воздействие горных ледников умеренных широт // *Изв. АН СССР. Сер. геогр.*, 1983, № 5, с. 74–82.

Davidovich, N.V., 1983. The cooling effect of valley glaciers in mid-latitudes. *Izv. AN SSSR, Ser. Geogr.*, No. 5, 74–82.

**Калесник С.В.** Очерки гляциологии. М., Географгиз, 1963, 551 с.

Kalesnik, S.V., 1963. *Treatise on Glaciology.* Geografgiz, Moscow, 551 pp. (in Russian)

**Корейша М.М.** Современное оледенение хребта Сунтар-Хаята: результаты исследований по программе МГГ // *Гляциология*, М., Изд-во АН СССР, 1963, № 11, 170 с.

Koreisha, M.M., 1963. Modern glaciation of the Suntar-Khayata Range: results of the International Geophysical Year. *Glaciology.* Izd-vo AN SSSR, Moscow, No. 11, 170 pp.

**Корейша М.М.** Оледенение Верхояно-Колымской области. М., Изд-во Междувед. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР, 1991, 143 с.

Koreisha, M.M., 1991. *Glaciation of the Verkhoyansk-Kolyma Area.* Izd. Mezhdoved. Geofiz. Komiteta pri Prezidiume AN SSSR, Moscow, 143 pp. (in Russian)



**Кренке А.Н.** Массообмен в ледниковых системах на территории СССР. Л., Гидрометеиздат, 1982, 288 с.

Krenke, A.N., 1982. Mass Transfer in Glacial Systems within the USSR. Gidrometeoizdat, Leningrad, 288 pp. (in Russian)

**Мавлюдов Б.Р., Ананичева М.Д.** Ледники северного массива гор Сунтар-Хаята: современное состояние и динамика с конца 1950-х годов // Лед и снег, 2016, т. 56, № 3, с. 345–357.

Mavludov, B.R., Ananicheva, M.D., 2016. Glaciers of the northern Suntar-Khayata mountains: present state and dynamics since the latest 1950s. *Led i Sneg (Ice and Snow)* 56 (3), 345–357.

**Ananicheva, M.D., Krenke, A.N., Barry, R.G.** The Northeast Asia mountain glaciers in the near future by AOGCM scenarios // *The Cryosphere*, 2010, No. 4, p. 435–445.

**Ananicheva, M., Karpachevsky, A.** Glaciers of the Orulgan Range: assessment of the current state and possible development for the middle of the 21st century // *Environ. Earth Sci.*, 2015, vol. 74, No. 3, p. 1985–1995.

**Braithwaite, R.J.** From Doktor Kurowski's Schneegrenze to our modern glacier equilibrium line altitude // *The Cryosphere*, 2015, No. 9, p. 2135–2148.

**Dufour, A., Zolina, O., Gulev, S.K.** Atmospheric moisture transport to the Arctic: assessment of reanalyses and analysis of transport components // *J. Climate*, 2016, No. 29, p. 5061–5081.

**Takahashi, Sh., Sugiura, K., Kameda, T., Ananicheva, M., et al.** Response of glaciers in the Suntar-Khayata Range, Eastern Siberia, to climate change // *Ann. Glaciol.*, 2011, vol. 52, No. 58, p. 185–192.

*Поступила в редакцию  
14 апреля 2017 г.*