

ГЛЯЦИОЛОГИЯ И КРИОЛОГИЯ

УДК 551.324.433 (984)

DOI: 10.30758/0555-2648-2019-65-4-438-448

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОВЕРХНОСТНОЙ АБЛЯЦИИ ГОРНЫХ ЛЕДНИКОВ ЗАПАДНОГО ШПИЦБЕРГЕНА

О.Р. СИДОРОВА¹, Г.В. ТАРАСОВ¹, С.Р. ВЕРКУЛИЧ¹, Р.А. ЧЕРНОВ²

¹ — ГНЦ РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
Санкт-Петербург, Россия

² — Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

*olsid@aari.ru

SURFACE ABLATION VARIABILITY OF MOUNTAIN GLACIERS OF WEST SPITSBERGEN

O.R. SIDOROVA¹, G.V. TARASOV¹, S.R. VERKULICH¹, R.A. CHERNOV²

¹ — State Scientific Center of the Russian Federation Arctic and Antarctic
Research Institute, St. Petersburg, Russia

² — FSBI "Institute of Geography", Russian Academy of Science, Moscow, Russia

*olsid@aari.ru

Received September, 29, 2019

Accepted October, 15, 2019

Keywords: ablation, glacier aspect, mountain glaciers, summer air temperature, sun radiation, West Spitsbergen.

Summary

Measurements of surface ablation in 2016–2018 on the neighboring glaciers Aldegondabreen, Austre and Vestre Grønfjordbreen (West Spitsbergen) revealed significant differences in its magnitude both within the same altitude zones for one year, and on an interannual scale. Comparison of the region's common variations in climatic conditions (air temperature, rainfall) and ablation data showed a significant contribution of the following additional factors of melting: aspect, size, altitude range, surface slope, the rocky bordering of glaciers. The maximum ablation were measured on the Aldegondabreen (with the smallest area and altitude range), which has a northeastern aspect; the average value over three years of observations was 1947 mm w.e. Austre Grønfjordbreen and Vestre Grønfjordbreen had in 2016–2018 average ablation values 1512 and 1385 mm w.e., respectively. The largest Vestre Grønfjordbreen has the lowest values of average ablation also because it lies higher

Citation: Sidorova O.R., Tarasov G.V., Verkulich S.R., Chernov R.A. Surface ablation variability of mountain glaciers of West Spitsbergen. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2019, 65 (4): 438–448. doi: 10.30758/0555-2648-2019-65-4-438-448.

then neighboring glaciers. Interannual variations of mean ablation in the same altitudinal zones show: the minimum scatter of values for the Aldegondabreen (130–370 mm w.e.); higher scatter of values for the Austre Grønfyordbreen (200–450 mm w.e.); the maximum scatter of values for the Vestre Grønfyordbreen (from 400–600 mm w.e. in most altitude zones to 1000 mm w.e. at altitudes of 250–350 m). Due to the influence of additional factors, the maximum average ablation was observed on the Aldegondabreen in 2016, on the Vestre Grønfyordbreen in 2017, and on the Austre Grønfyordbreen in 2017 and 2018. The results of the study indicate the need to take into account the contribution of these factors to the ablation parameters of the region's glaciers in model calculations, as well as the relevance of a detailed study of the distribution of solar radiation on glaciers.

Поступила 29 сентября 2019 г.

Принята к печати 15 октября 2019 г.

Ключевые слова: абляция, горные ледники, Западный Шпицберген, летняя температура воздуха, солнечная радиация, экспозиция ледников.

Измерения значений абляции на соседних ледниках Альдегонда, Восточный и Западный Грёнфьорд (Западный Шпицберген) в 2016–2018 гг. показали наличие заметных вариаций в параметрах таяния, которые, помимо общих для района межгодовых изменений климатических условий (температура воздуха, осадки), обусловлены характеристиками экспозиции, размеров, высотных диапазонов, уклонов поверхности, скального обрамления ледников. Результаты исследования указывают на необходимость учета вклада этих характеристик в оценку абляции ледников района при модельных расчетах, а также на актуальность детального изучения распределения солнечной радиации на рассматриваемых ледниках.

ВВЕДЕНИЕ

Ледники являются важнейшим элементом природной системы архипелага Шпицберген и занимают около 60 % его поверхности [1]. Их динамика зависит, прежде всего, от ежегодного накопления снежного покрова и таяния в период абляции. Потепление климата в Арктике, которое началось в первой половине XX в., привело к значительному сокращению площади и объема оледенения Шпицбергена [2, 3]. Наиболее чувствительными к климатическим изменениям оказались горные ледники Западного Шпицбергена, расположенные в пределах Земли Норденшельда, Земли Принца Карла, Земли Диксона: за последнее столетие площадь горного оледенения этих территорий сократилась более чем вдвое [4]. Прямые наблюдения за летним таянием на ледниках и накоплением на них снега показали, что их баланс массы становится все более отрицательным на протяжении нескольких десятилетий [5].

Одним из мест долговременных гляциологических исследований на архипелаге является район пос. Баренцбург (Земля Норденшельда). Сначала в 1965 г., а затем с 1976 по 1990 г. сотрудниками Института географии АН СССР изучались характеристики местного оледенения, в том числе периодически определялись параметры летнего таяния и зимнего накопления снега, — эти исследования также выявили тенденцию убыли массы горных ледников [6, 7].

В последнее десятилетие прямые измерения абляции на горных ледниках Альдегонда, Западный и Восточный Грёнфьорд (Земля Норденшельда) выполняются сотрудниками ФГБУ «ААНИИ» и ИГ РАН. Полученные результаты в целом указывают на продолжение резкого сокращения ледников: отрицательные значения баланса массы ледников выросли в 2–3 раза по сравнению с данными измерений в 1980-х гг. [8]; в последние годы регистрируются рекордные показатели убыли массы на ледниках Восточный Грёнфьорд [9] и Альдегонда [10].

Имея общую тенденцию сокращения, каждый из ледников, безусловно, характеризуется индивидуальными особенностями абляции, изучение которых важно для оценки роли крупномасштабных процессов и локальных факторов, влияющих на деградацию оледенения архипелага, для уточнения модельных расчетов. Информация о таких особенностях может быть получена только при проведении прямых, в достаточной степени детальных измерений. В настоящем исследовании представляются и сравниваются результаты трехлетнего цикла измерений абляции на соседних ледниках, анализируется соотношение установленных параметров абляции с пространственным расположением и высотными характеристиками ледников.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение масс-балансовых характеристик ледников основывалось на измерениях величины летнего таяния льда (снижения поверхности) с использованием абляционных реек. Измерения выполнялись в июле–сентябре и охватывали большую часть периода абляции, так как во второй половине сентября таяние на ледниках обычно прекращается или становится минимальным из-за начала преобладания отрицательных температур воздуха и снегопадов. Следует отметить, что сроки проведения измерений на каждом леднике несколько различались в зависимости от метеорологических условий и состояния поверхности ледника, что, безусловно, привносит некоторую погрешность при сравнении полученных данных.

Абляционные рейки (деревянные) устанавливались на ледниках в вертикальных скважинах сечением 50 мм и глубиной до 4 м, полученных с помощью ручного ледобура. При установке рейки заклинивались в скважинах во избежание их всплывания в первые часы, до примерзания к стенкам. Фиксация высоты стаявшего слоя (снижения поверхности) производилась по рейкам с использованием рулетки, с точностью 1 см от поверхности льда или снега; в течение сезона абляции на каждый ледник совершались 2–3 маршрута с измерениями.

Оценка суммарных значений поверхностной абляции на ледниках проводилась на основе данных измерений по рейкам, установленным на разных высотах (рис. 1), и расчета площадей высотных зон ледников. На ледниках Альдегонда и Восточный Грэнфьорд, которые полностью лежат в области абляции, рейки распределены по всей их площади, тогда как на леднике Западный Грэнфьорд выставлен линейный профиль. В 2016–2018 гг. на леднике Альдегонда данные снимались по 14 абляционным рейкам, расположенным на высотных уровнях в диапазоне от 157 до 458 м над уровнем моря, на леднике Восточный Грэнфьорд использовалось 11 реек в диапазоне высот от 106 до 398 м, на леднике Западный Грэнфьорд — 7 реек в диапазоне высот от 36 до 591 м. Площади высотных зон подсчитывались по норвежским топографическим картам [11], наложенным на спутниковые снимки Sentinel-2. Сокращение площади ледников было получено ранее по данным обработки космических снимков 2017 г. и норвежским картам, построенным на основе аэрофотосъемки 1936–1938 гг. [4]. Характеристики ледников и значения площади высотных зон приведены в таблицах 1, 2.

В апреле 2015 г. на морене перед фронтом ледника Восточный Грэнфьорд и на нунатаке над ледником были установлены две автоматические метеостанции (АМС). В том же году около ледника Альдегонда была установлена АМС. Данные записи температуры воздуха по АМС в сравнении с данными с метеостанции ГМО «Баренцбург» показали, что различия летних температур между Баренцбургом и предпольем ледников составляет около 2,0 °С. Средний градиент температуры воздуха

в зоне ледника Восточный Гренфьорд был получен на основании данных двух АМС. В летний период эта величина изменялась в диапазоне от $-0,7$ до $-1,0$ °С на каждые 100 м подъема в зависимости от погодных условий, что соответствует классическому значению уменьшения температуры с высотой.

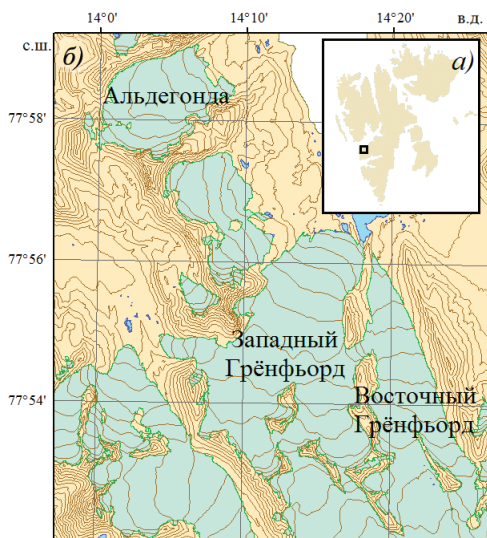


Рис. 1. Район исследований на архипелаге Шпицберген (а) и расположение исследуемых ледников (б)

Fig. 1. The study area in Spitsbergen archipelago (a), and the location of glaciers (b)

Таблица 1

Характеристики исследуемых ледников залива Гренфьорд (по состоянию на 2017 г.)

Название ледника	Экспозиция ледника	Площадь ледника 2017 г., км ²	Высотный диапазон ледника, м	Максимальная длина ледника, км	Сокращение площади ледника с 1937 по 2017 г., %
Западный Гренфьорд	ССВ	16,6±0,4	70–720	6,3	33,1
Восточный Гренфьорд	С	6,7±0,2	140–500	6,0	44,3
Альдегонда	СВ	5,4±0,2	200–450	3,2	50,5

Таблица 2

Площади высотных зон (на 2017 г.) и максимальное количество абляционных рек на ледниках Западный Гренфьорд, Восточный Гренфьорд и Альдегонда

Высотная зона, м	Западный Гренфьорд	Восточный Гренфьорд	Альдегонда
	Площадь высотной зоны, км ² / количество рек, шт.		
50–150	1,53/1	1,07/1	—
150–250	2,75/2	1,69/5	1,13/5
250–350	4,92/1	2,35/4	3,69/5
350–450	4,43/1	1,60/3	0,56/3
450–550	2,75/1	0,01/0	0,03/1
550–600	0,29/1	—	—

Определенные трудности при оценке величин абляции в верхних зонах ледников, особенно на леднике Западный Грэнфьорд, возникли из-за наличия здесь многочисленных трещин, порою препятствующих безопасному подходу к рейкам и прямым измерениям в летнее время. В связи с этим ограниченный по высоте ряд наблюдений 2017 г. на леднике Западный Грэнфьорд был дополнен расчетом летнего таяния в верхней зоне (350–450 м). Расчет проводился по формуле Ходакова–Кренке со степенным показателем 3,25 [6]. Для него были приняты следующие значения: средняя летняя температура воздуха равна 5,0 °С, температурный скачок у края ледника равен 1,0 °С, высотный градиент температуры равен 0,7 °С на каждые 100 м подъема, разница среднесуточных температур воздуха в Баренцбурге и на западном берегу около ледника составляет 2,2 °С.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Значения летней абляции получены на основе разности в измерениях длины абляционных рек над ледниковой поверхностью в начале сезона таяния и по окончании летнего периода [12, 13, 14]. Усредненные по высотным зонам значения летней абляции для каждого года в период 2016–2018 гг. показаны в табл. 3. Для каждой высотной зоны даны средние значения абляции по количеству рек, установленных в зоне. При пересчете слоя стаявшего льда в водный эквивалент его плотность принята равной 0,88 г/см³, так как ледниковый лед имеет некоторое количество воздушных включений и его плотность несколько меньше плотности чистого льда 0,92 г/см³.

Таблица 3

Значения летней абляции на различных высотных уровнях ледников Западный Грэнфьорд, Восточный Грэнфьорд и Альдегонда в 2016, 2017 и 2018 гг.

Название ледника	Год	Средние значения абляции льда в период таяния по высотным зонам в 2016/ 2017/ 2018 гг., мм в.э.					Средняя абляция на леднике, мм в.э.
		50–150 м	150–250 м	250–350 м	350–450 м	выше 450 м	
Западный Грэнфьорд	2016	2814	1878	1223	827	871	1256
	2017	3054	2548	2200	1050	—	1613
	2018	3221	2576	1782	440	—	1287
Восточный Грэнфьорд	2016	2468	1899	1052	642	—	1391
	2017	2334	1934	1364	939	—	1559
	2018	2517	1690	1484	1014	—	1586
Альдегонда	2016	—	2772	1961	1211	1179	2048
	2017	—	2558	1888	1258	1285	1959
	2018	—	2401	1776	1126	994	1835

Сравнение значений абляции и зависимостей среднегодовых потерь льда от высоты по данным измерений у абляционных рек показывает, что убыль льда во всех общих высотных зонах ледников в 2016–2018 гг. была максимальной на леднике Альдегонда и среднегодовые величины потери льда на леднике Альдегонда превышали абляцию на соседних ледниках на 250–790 мм в.э. (см. табл. 3, рис. 2). Вероятно, это связано с тем, что ледник Альдегонда является наименьшим по площади из рассматриваемых ледников и единственный имеет северо-восточную экспозицию по всей своей длине. Параметры абляции на двух других ледниках были более схожими (разница среднегодовых значений варьирует в пределах 55–300 мм в.э.), хотя в большинстве зон эти величины были выше на леднике Западный Грэнфьорд,

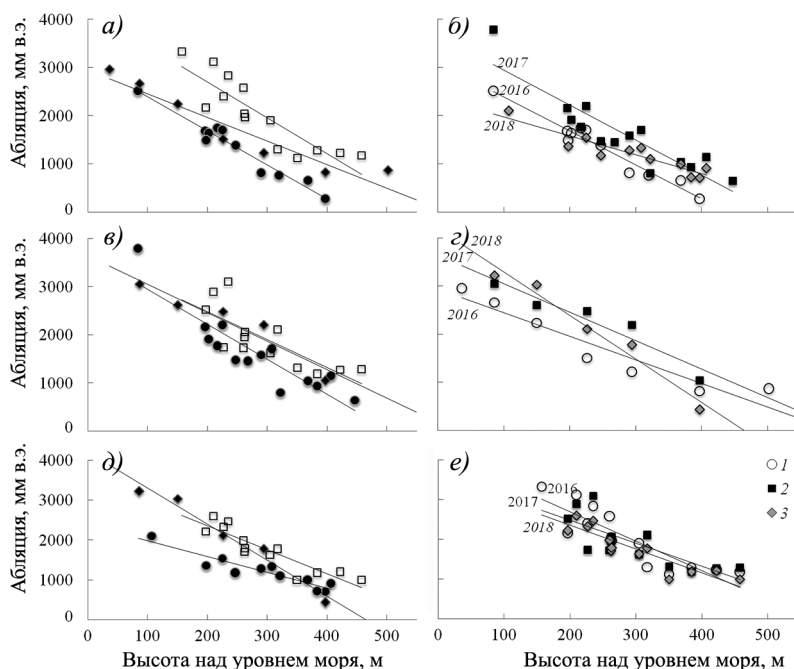


Рис. 2. Значения абляции по результатам измерений абляционных реек по годам: в 2016 г. (а), 2017 г. (в), 2018 г. (д) на ледниках Восточный Грөнфьорд (1), Западный Грөнфьорд (2), Альдегонда (3) и на ледниках Восточный Грөнфьорд (б), Западный Грөнфьорд (г), Альдегонда (е) в 2016 г. (1), 2017 г. (2), 2018 г. (3)

Fig. 2. Ablation measured with ablation stakes by years: in 2016 (a), 2017 (в), 2018 (д) on Austre Grønfyordbreen (1), Vestre Grønfyordbreen (2), Aldegondabreen (3) and on Austre Grønfyordbreen (б), Vestre Grønfyordbreen (г), Aldegondabreen (е) in 2016 (1), 2017 (2), 2018 (3)

и лишь в интервале высот 350–540 м отмечается резкое уменьшение разницы величин абляции на двух ледниках. Первой из причин подобных различий может служить то, что ледник Восточный Грөнфьорд по всей длине имеет северную экспозицию, тогда как экспозиция нижней части ледника Западный Грөнфьорд ближе к северо-восточной, а значительной доли его верхней части — к северной. Кроме того, нижняя и средняя части ледника Восточный Грөнфьорд довольно узкие и обрамлены с востока высокой, затеняющей поверхность ледника скальной грядой, что также может ухудшать здесь условия инсоляции в летнее время.

Межгодовые различия средней абляции на каждом из ледников оказались сравнительно небольшими, в пределах 30–350 мм в.э., однако в высотных зонах вариации часто превышали 400 мм в.э. (см. табл. 3, рис. 2). Минимальный разброс значений отмечен для высотных зон ледника Альдегонда (в пределах 130–370 мм в.э.); для высотных зон на леднике Восточный Грөнфьорд разброс значений был немного выше (200–450 мм в.э.); максимальный разброс значений зарегистрирован на леднике Западный Грөнфьорд: от 400–600 мм в.э. (в большинстве высотных зон) до 1000 мм в.э. на высотах 250–350 м. Если принять схожесть летних метеорологических условий в районе, то объяснение межгодовых различий таяния в высотных зонах ледников следует искать в экспозиции, размерах, рельефе поверхности, скальном обрамлении.

Как упоминалось, ледник Альдегонда отличается от двух других меньшими размерами и, в дополнение, характеризуется одинаковой экспозицией, уклоном своей поверхности, т.е. весьма однородными условиями инсоляции на большей части своей площади, не затененной из-за окружающих хребтов. Небольшая по площади, узкая в нижней части с расширением к верхней части, испытывающая большее влияние скального обрамления поверхность ледника Восточный Грэнфьорд, безусловно, характеризуется более значительными вариациями условий инсоляции и температур. Ледник Западный Грэнфьорд больше и шире двух других ледников (особенно выше 350–400 м). Он отличается сменой экспозиции нижней и верхней частей, незначительной затененностью, сложной линией уклона, обширной зоной потенциального положительного баланса массы на высотах более 500 м (см. табл. 1, рис. 1). Такие отличия, вероятно, обуславливают преобладающее влияние распределения инсоляции по поверхности ледника на изменчивость абляции в его высотных зонах: в пределах высот 150–350 м ее значения обычно превышают показатели ледника Восточный Грэнфьорд, а иногда и ледника Альдегонда. Выше, особенно в зоне потенциальной годовой аккумуляции, значения абляции становятся ниже, чем на леднике Восточный Грэнфьорд.

Рассматривая параметры и факторы изменчивости абляции, нельзя не отметить, что максимальные величины средней (удельной) абляции наблюдались на леднике Альдегонда в 2016 г., на леднике Западный Грэнфьорд в 2017 г., на Восточном Грэнфьорде в 2017 и 2018 гг. (см. табл. 3). Как видно из рис. 3, среднесуточные температуры воздуха в рассматриваемом районе были наиболее высокими в 2016 г. (среднее значение за три летних месяца составило 5,8 °C); в 2017 и 2018 гг. ход и амплитуды колебаний температуры воздуха были более низкими (средние значения 5,38 °C и 4,54 °C соответственно). Приходящая солнечная радиация характеризова-

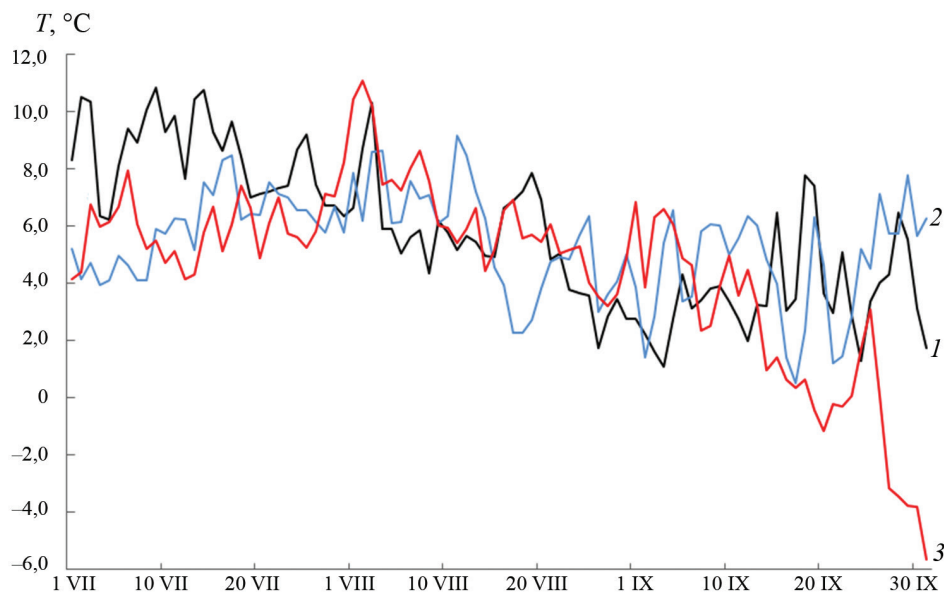


Рис. 3. Среднесуточные температуры воздуха в 2016 (1), 2017 (2), 2018 (3) гг. по данным метеостанции ГМО п. Баренцбург [15]

Fig. 3. Daily average air temperatures in 2016 (1), 2017 (2), 2018 (3), weather station Barentsburg [15]

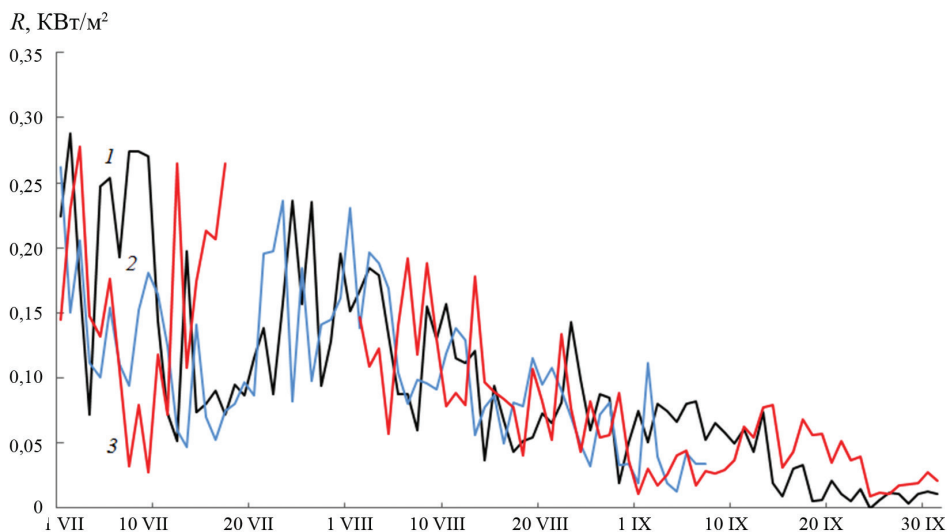


Рис. 4. Среднесуточные значения радиации в 2016 (1), 2017 (2), 2018 (3) гг. по данным АМС на леднике Альдегонда

Fig. 4. Daily average incoming radiation in 2016 (1), 2017 (2), 2018 (3), data from AWS on Aldegondabreen

лась в целом наиболее продолжительными высокими значениями также в 2016 г., но при этом 2017 г. был отмечен повышенными значениями солнечной радиации в августе (рис. 4). Суммарные значения выпавших в сезон абляции в рассматриваемом районе осадков отличались мало, составив 111,6 мм в 2016 г., 89,0 мм в 2017 г. и 110,6 мм в 2018 г. по данным метеостанции ГМО пос. Баренцбург [15]; следует отметить, что выпадение осадков в сентябре ежегодно было большим, чем в летние месяцы, и обеспечивало дополнительное таяние на ледниках.

Приведенные метеорологические характеристики не могут полностью объяснить межгодовой разницы в максимумах средней абляции на соседних ледниках, что свидетельствует о влиянии дополнительных, локальных факторов. Самой простой реакцией на межгодовые вариации метеорологических условий отличается небольшой, низко расположенный, имеющий северо-восточную экспозицию ледник Альдегонда — максимум таяния на нем отмечен в год наиболее высоких температур и повышенных значений солнечной радиации, причем дополнительный вклад в суммарную величину абляции внесло повышенное таяние в 2016 г. в пределах высот 150–350 м (см. табл. 3). Поверхность двух других ледников простирается выше, приближаясь к области потенциального накопления, что уменьшает влияние температуры воздуха и, соответственно, повышает вклад солнечной радиации в суммарное годовое таяние. Косвенным подтверждением роли солнечной радиации может служить то, что максимальные величины средней абляции на обоих ледниках были достигнуты в 2017 г. (для ледника Восточный Грэнфьорд также в 2018 г.), т.е. когда температуры воздуха были ниже, а августовские значения солнечной радиации были выше показателей 2016 г. Кроме того, наибольший вклад в повышение значений средней абляции на леднике Западный Грэнфьорд в 2017 г. и на леднике Восточный Грэнфьорд в 2017, 2018 гг. внесло таяние поверхностей, располо-

женных в интервале 250–450 м (см. табл. 3), где влияние температурного градиента в целом меньше, чем в пределах высотного интервала 150–350 м.

Сравнения метеоданных показали, что для оценки летнего таяния ледников необходимо учитывать их высотное и пространственное положение. Несмотря на то, что летние температуры воздуха и осадки могут быть сравнимы по величине на близкорасположенных ледниках, а их высотный диапазон подобен, различие в экспозиции ледников и теневой эффект от скального обрамления приводят к локальной изменчивости абляции на ледниках, что в конечном счете определяет их баланс массы. В дальнейшем для модельных расчетов необходимо получить значения солнечной радиации на исследуемых ледниках на различных высотных уровнях.

ВЫВОДЫ

Измерения абляции на ледниках Альдегонда, Западный и Восточный Грёнфьорд в 2016–2018 гг. показали, что наряду с общим фактом ежегодной убыли их массы, динамика и величины потерь льда различаются на них как в пределах одинаковых высотных зон в течение одного года, так и в межгодовом масштабе. Принимая схожесть основных условий абляции (температура воздуха, количество осадков), различия в таянии обусловлены рядом дополнительных факторов: экспозицией, размерами, высотным диапазоном, уклоном поверхности и характером скального обрамления ледников, что суммарно сказывается на распределении солнечной радиации.

Максимальные величины абляции показал наименьший по площади и имеющий северо-восточную экспозицию ледник Альдегонда, ее среднее значение за три года составило 1947 мм в.э. Ледники Восточный и Западный Грёнфьорд имели средние значения абляции в 2016–2018 гг. 1512 и 1385 мм в.э. соответственно. Самый крупный из рассматриваемых ледников (Западный Грёнфьорд) имеет наименьшие значения средней абляции еще и потому, что лежит выше соседних ледников, получая дополнительное выхолаживание воздуха над своей поверхностью. Вариации межгодовых значений средней абляции по одинаковым высотным зонам ледников были даже разнообразнее: минимальный разброс значений отмечен для ледника Альдегонда (130–370 мм в.э.); на леднике Восточный Грёнфьорд разброс значений составил 200–450 мм в.э.; на леднике Западный Грёнфьорд разброс значений составил от 400–600 мм в.э. (в большинстве высотных зон) до 1000 мм в.э. на высотах 250–350 м. Влияние дополнительных факторов отразилось и в том, что максимальные величины средней абляции наблюдались на леднике Альдегонда в 2016 г., на леднике Западный Грёнфьорд в 2017 г., на Восточном Грёнфьорде в 2017 и 2018 гг.

Таким образом, перечисленные дополнительные факторы обеспечивают заметные различия параметров летнего таяния и баланса массы соседних ледников, что, безусловно, необходимо учитывать при модельных расчетах. Полученные результаты указывают на необходимость изучения распределения солнечной радиации на исследуемых ледниках на различных высотных уровнях, при разных локальных условиях освещенности поверхности.

Благодарности. Гляциологические исследования на ледниках Альдегонда и Западный Грёнфьорд были выполнены в рамках работ по программе Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген (РАЭ-Ш) ФГБУ «ААНИИ» и темы 1.5.3.7 ЦНТП Росгидромета. На леднике Восточный Грёнфьорд исследования проводились в рамках Шпицбергенской экспедиции Института географии РАН. Ка-

меральные работы по расчету удельной абляции выполнены при поддержке гранта РФФИ Арктика № 18-05-60067.

Acknowledgments. Glaciological studies on the Aldegondabreen and Vestre Grøn fjordbreen were carried out as a part of the program of the Russian Arctic Expedition on the Spitsbergen Archipelago (RAE-S), FSBI AARI, and theme 1.5.3.7 of the Roshydromet program. The work on the ablation estimations was supported by the grant of the RFBR Arctic No. 18-05-60067.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / Под ред. В.М. Котлякова. М.: Изд-во Российской академии наук, 1997. 392 с.
2. Kohler J., James T.D., Murray T., Nuth C., Brandt O., Barrand N.E., Aas H.F., Luckman A. Acceleration in thinning rate on western Svalbard glaciers // *Geophys. Research Letters*. 2007. V. 34. L18502. doi:10.1029/2007GL030681.
3. Hagen J.O., Liestol O. Long term glacier mass balance investigations in Svalbard 1950–1988 // *Annals of Glaciology*. 1990. № 14. P. 102–106.
4. Чернов Р.А., Муравьев А.Я. Современные изменения площади ледников западной части Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) // *Лед и снег*. 2018. Т. 58. № 4. С. 462–472.
5. Nuth C., Kohler J., König M., von Deschanden A., Hagen J.O., Kääb A., Moholdt G., Pettersson R. Decadal changes from a multi-temporal glacier inventory of Svalbard // *The Cryosphere*. 2013. V. 7. P. 1603–1621.
6. Гляциология Шпицбергена / Под ред. В.М. Котлякова. М.: Наука, 1985. 199 с.
7. Оледенение Шпицбергена. М.: Наука, 1975. 276 с.
8. Гуськов А.С., Троицкий Л.С. Водно-ледовый баланс ледников Шпицбергена в 1980/81 и 1981/82 балансовых годах // *Материалы гляциол. исслед.* 1984. №. 51. С. 247–250.
9. Чернов Р.А., Кудилов А.В., Вишвецова Т.В., Осокин Н.И. Оценка поверхностной абляции и баланса массы ледника Восточный Грөнфьорд (Западный Шпицберген) // *Лед и снег*. 2019. Т. 59. № 1. С. 59–66.
10. Мавлюдов Б.Р., Саватюгин Л.М., Соловьянова И.Ю. Реакция ледников Земли Норденшельда (архипелаг Шпицберген) на изменение климата // *Проблемы Арктики и Антарктики*. 2012. № 1 (91). С. 67–77.
11. Картографические материалы Норвежского полярного института. URL: <https://toposvalbard.polar.no/> (дата обращения 20.04.2019).
12. Научно-технический отчет об экспедиции ФБГУ «ААНИИ» «Шпицберген-2016, третий этап»: 27.06 – 30.09.2016. СПб.: ААНИИ, 2016. 53 с. Фондовый номер: О-4006.
13. Научно-технический отчет о работах зимовочного состава РАЭ-Ш ФБГУ «ААНИИ» в 2017 году: 01.12.2016 – 01.12.2017]. СПб.: ААНИИ, 2018. 56 с. Фондовый номер: О-4039.
14. Отчет о работах зимовочного состава Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген (РАЭ-Ш) в 2018 году: 01.01.2018 – 31.12.2018. СПб.: ААНИИ, 2019. 70 с. Фондовый номер: О-4071.
15. Метеорологические данные: Электронный ресурс. URL: <https://pr5.ru/> (дата обращения 20.04.2019).

REFERENCES

1. *Atlas snezhno-ledovykh resursov mira*. Atlas of snow and ice resources of the World. Ed. V.M. Kotlyakov. Moscow: Institute of Geography RAS, 1997: 392 p. [In Russian].

2. Kohler J., James T.D., Murray T., Nuth C., Brandt O., Barrand N.E., Aas H.F., Luckman A. Acceleration in thinning rate on western Svalbard glaciers. *Geophys. Research Letters*. 2007, 34: L18502. doi:10.1029/2007GL030681.
3. Hagen J.O., Liestol O. Long term glacier mass balance investigations in Svalbard 1950–1988. *Annals of Glaciology*. 1990, 14: 102–106.
4. Chernov R. A., Murav'ev A. Ia. Contemporary changes in the area of glaciers in the western part of the Nordenskjöld Land (Spitsbergen). *Led i sneg*. Ice and Snow. 2018, 58 (4): 462–472. [In Russian].
5. Nuth C., Kohler J., König M., von Deschwandten A., Hagen J.O., Kääb A., Moholdt G., Pettersson R. Decadal changes from a multi-temporal glacier inventory of Svalbard. *The Cryosphere*. 2013, 7: 1603–1621.
6. *Glyatsiologiya Shpitsbergena*. Glaciology of Spitsbergen. Ed. V.M. Kotlyakov. Moscow: Nauka, 1985: 199 p. [In Russian].
7. *Oledenenie Shpitsbergena*. The glaciation of Spitsbergen. Moscow: Nauka, 1975: 275 p. [In Russian].
8. Guskov A.S., Troitsky L.S. Ice-water balance of the Spitsbergen glaciers in the balance years 1980/81 and 1981/82. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1984, 51: 247–250. [In Russian].
9. Chernov R.A., Kudikov A.V., Vshivtseva T.V., Osokin N.I. Evaluation of surface ablation and mass balance of the East Grenfjord glacier (West Spitsbergen). *Led i sneg*. Ice and Snow. 2019, 59 (1): 59–66. [In Russian].
10. Mavludov B.R., Savatugin L.M., Solovyanova I.Yu. Reaction of Nordenskiöld land glaciers, Spitsbergen, on climate change. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Problems of the Arctic and Antarctic. 2012, 1 (91): 67–77. [In Russian].
11. Map materials of the Norwegian Polar Institute. Available at: <https://toposvalbard.npolar.no/>. (accessed 20.04.2019).
12. Scientific and technical report of the expedition of FSBI “AARI” “Spitsbergen-2016, third stage”: 27.06 – 09.30.2016. St. Petersburg: AARI funds, O-4006, 2016: 53 p. [In Russian].
13. Scientific and technical report of the work of the wintering team of the RAE-S FSBI “AARI” in 2017: 01.12.2016 – 01.12.2017. St. Petersburg: AARI funds, O-4039, 2017: 56 p. [In Russian].
14. Report of the work of the wintering team of the Russian scientific Arctic expedition on the Spitsbergen (RAE-S) in 2018: 01.01.2018 - 12.31.2018. St. Petersburg: AARI funds, O-4071, 2019: 70 p. [In Russian].
15. Meteorological data. Available at: URL: <https://pr5.ru/> (accessed 20.04.2019).