

ГИДРОЛОГИЯ СУШИ И ГИДРОХИМИЯ

УДК 556.5, 551.324.63, 551.324.86

DOI: 10.30758/0555-2648-2019-65-1-34-45

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛЕДНИКОВОГО СТОКА РЕК В БАССЕЙНЕ ЗАЛИВА ГРЁН-ФЬОРД (ЗАПАДНЫЙ ШПИЦБЕРГЕН)

К.В. РОМАШОВА¹, Р.А. ЧЕРНОВ², И.И. ВАСИЛЕВИЧ^{}*

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

² — ФГБУН «Институт географии» РАН, г. Москва, Россия

**vasilevich@aari.ru*

STUDY OF THE GLACIAL FLOW OF RIVERS IN THE GRØNFJORD BAY BASIN (WESTERN SVALBARD)

K.V. ROMASHOVA¹, R.A. CHERNOV², I.I. VASILEVICH^{}*

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

² — FSBI “Institute of Geography”, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**vasilevich@aari.ru*

Received February, 8, 2019

Accepted March, 15, 2019

Keywords: ablation, average summer air temperature, general runoff, glacier, river beds.

Summary

The melting of glaciers in the Arctic archipelagoes provides glacier runoff, which must be considered when assessing river flow. Glacial runoff, as a component of the total river flow, directly affects the thermal and ice conditions of the bays, the productivity and species composition of the marine biota. Also, this process is broadly related to the livelihoods of the Arctic villages. Furthermore, it acts as the important factor for the development of transport and tourism. Melted water of Svalbard glaciers is a significant contribution in total runoff of the local rivers. The issue of this study is to assess this contribution. Grønfjord Bay was selected for assessment because of the fact of regular measurements of water discharge in the river estuaries from June to October. Among 7 rivers flowing into the bay, 6 have glacial runoff. Despite the fact that only small mountain glaciers are common in this area, its melting largely determines the water regime of the rivers. The value of the glacier runoff in Grønfjord Bay was calculated based on an estimation of the glaciers melting by average summer air

Citation: Romashova K.V., Chernov R.A., Vasilevich I.I. Study of the glacial flow of rivers in the Grønfjord bay basin (Western Svalbard). *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2019, 65, 1: 34–45. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2019-65-1-34-45

temperature in 2017 and 2018. Comparison of the amount of glacial and total flow was carried out on the rivers flowing into the Grøn fjord Bay. The comparative analysis of the glacial and total river flows size along the 6 rivers of the Grøn fjord Bay: Grøndalselva, Grøn fjorddalselva, Bretjørna, Aldegonda, Brydebekken, Vasstakelva showed significant differences in the glacier runoff content depending on the area of glaciation in the catchment of rivers. The content of glacial runoff in the total freshwater discharge by rivers into the bay in 2017 and 2018 vary from 20 to 90 %. The largest glacier runoff is observed on the Bretjørna river — 90 %, the Grøndalselva, Brydebekken and Vasstakelva have the smallest glacier runoff — 20 %. The average total glacial runoff of the rivers varied from 41 to 53 % of the total discharge of the rivers of the gulf.

Поступила 8 февраля 2019 г.

Принята к печати 15 марта 2019 г.

Ключевые слова: абляция, ледник, общий сток, речные русла, средняя летняя температура воздуха.

Таяние ледников на территории арктических архипелагов обеспечивает ледниковый сток, который необходимо учитывать при оценке речного стока. Целью данной работы является оценка доли ледникового стока в общем стоке рек, впадающих в залив Грён-фьорд. Для расчета количества стока ледников были использованы данные о средней летней температуре воздуха в 2017 и 2018 гг. Сравнение количества ледникового и общего стока было проведено на реках, впадающих в залив Грён-фьорд, где регулярно измеряется расход воды в устьях рек с июня по октябрь. Сравнительный анализ размеров ледниковых и суммарных речных потоков по шести рекам залива Грён-фьорд: Грён, Грён-фьорд, Брехьёрна, Альдегонда, Брюде, Васстак — показал существенные различия в доле ледникового стока в зависимости от площади оледенения в водосборах рек. Доля ледникового стока в общем объеме стока пресной воды реками в залив в 2017 и 2018 гг. колебалась от 20 до 90 %. Средний суммарный ледниковый сток рек колебался от 41 до 53 % от общего стока рек залива.

ВВЕДЕНИЕ

Ледники являются важнейшим элементом водной системы арктического архипелага Шпицберген. Оледенение архипелага охватывает до 60 % его территории, однако в западных районах Шпицбергена (Земля Норденшельда, Земля Принца Карла, Земля Диксона) распространены лишь горные ледники, которые занимают около 15 % площади [1]. В настоящее время на этой территории наблюдается интенсивное сокращение горных ледников, начало которого было отмечено в первой половине XX в. [2]. Количественная оценка потери массы ледников, связанной с таянием (масс-балансовые измерения), требует значительных материальных и трудовых затрат, и могут быть реализованы при условии проведения регулярных наблюдений. В то же время реакция ледников непосредственно отражается на величине речного стока. Поэтому одной из практически осуществимых задач, связанных с оценкой изменений климата в Арктике, является мониторинг общего речного стока исследуемых территорий в период таяния.

Наибольший интерес представляет горное оледенение Шпицбергена, расположенное в его центральной части, так как сокращение ледников в этом районе происходит наиболее быстрыми темпами [3]. По данным метеостанций Лонгйира и Баренцбурга с середины 1980-х гг. в этой части архипелага отмечен положительный тренд годовой температуры воздуха со средним значением 0,8 °С за десятилетие, который стал очевидным также для всего Западного Шпицбергена [4]. Потепление обусловило интенсивное сокращение горного оледенения [3, 4, 5, 6]. Ледники Земли Норденшельда за последние 30 лет потеряли в среднем около 40 % площади, при

этом горные ледники небольших размеров сократились до 70 % [3, 7]. Таяние ледников обуславливает сокращение их площади и уменьшение объема, в то же время происходит увеличение расхода воды в реках, поэтому реакция этих элементов водной системы на потепление климата может быть различной.

Среди отечественных исследований наиболее масштабные гидрологические работы были связаны с деятельностью Шпицбергенской гляциологической экспедиции Института географии АН СССР и охватывали период с 1976 по 1990 г. [2]. Были рассмотрены вопросы о распространении наледей на Земле Норденшельда [8], дана оценка баланса массы горных ледников Земли Норденшельда [9]. В 1984 и 1985 гг. гидрологические наблюдения были продолжены и охватывали р. Грэн и р. Мимер (пос. Пирамида) вблизи их устьев. На основе этих наблюдений были рассчитаны основные характеристики стока воды указанных рек, элементы водного баланса. Более подробные сведения о выполненных гидрологических и воднобалансовых работах приведены в [8, 10, 11], режим стока рек Шпицбергена и водноледовый баланс Шпицбергена охарактеризованы в [8, 11, 12]. Мониторинговые гидрологические исследования на Шпицбергене имеют относительно короткий ряд наблюдений (с 1990 г.) и сосредоточены в районе пос. Лонгйир и пос. Нью-Олесунн [13]. В настоящее время работы по изучению процессов формирования элементов гидрологического цикла на островах Западного Шпицбергена проводятся в основном силами норвежских (NPI, UNIS и др.), польских (Institute of Geophysics Polish Academy of Sciences) и российских ученых (ААНИИ).

С начала 2000-х гг. и по настоящее время в районе пос. Баренцбург сотрудниками ААНИИ проводятся регулярные гидрологические исследования, которые охватывают бассейн залива Грэн-фьорд. В то же время на этой территории ведутся экспедиционные гляциологические исследования Института географии РАН. В связи с развитием научных программ, которые стали возможны в последние годы, возникла необходимость объединить полученные данные с целью обобщения результатов полевых исследований.

Современное состояние региона значительно отличается по количественным показателям от исследований в конце XX в., так как значительно сократилась площадь оледенения, а отрицательный баланс массы ледников увеличился в 2–3 раза, изменился речной сток. По мнению большинства авторов, наибольшая неопределенность в расчете водного баланса рек Шпицбергена определяется ледниковым стоком. Это связано с тем, что прямые измерения баланса массы на ледниках крайне трудоемки и возможны лишь на отдельных объектах.

В настоящей статье рассматривается вопрос оценки величины ледникового стока рек, впадающих в залив Грэн-фьорд (рис. 1). Несмотря на то, что в этом районе распространены лишь небольшие горные ледники, их таяние во многом определяет водный режим рек. Оценка ледникового стока была проведена на основе регулярных измерений общего стока на реках бассейна и расчетов летнего таяния (поверхностной абляции) на ледниках бассейна по данным средней летней температуры воздуха. Расчет абляции на ледниках был проверен по данным измерений абляции на леднике Восточный Грэнфьорд, относящемся к бассейну р. Брехьёрна.

Используемая в статье формула Ходакова–Кренке широко применяется в гляциологических расчетах и имеет практическое значение для вычисления абляции на поверхности ледников [14, 15]. Ледники залива Грэн-фьорд потеряли область

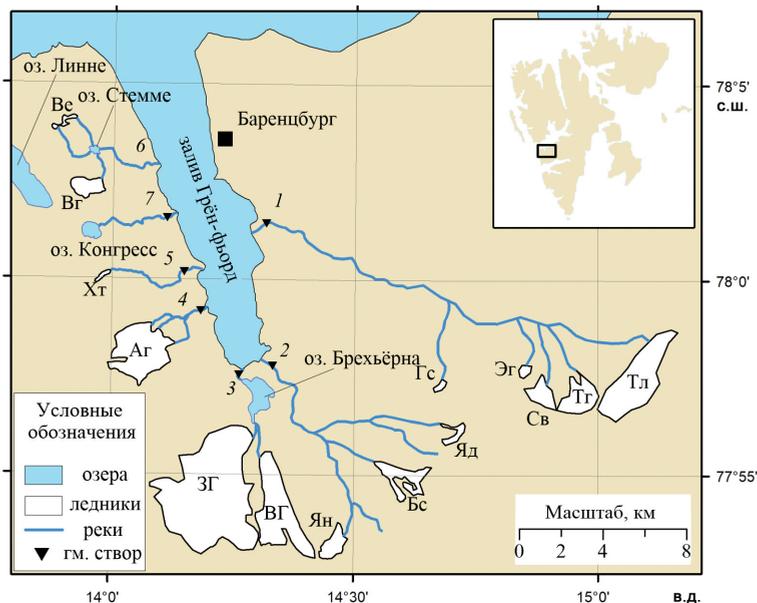


Рис. 1. Схема района исследований.

Цифрами обозначены реки: 1 — Грэн, 2 — Грэн-фьорд, 3 — Брехьёрна, 4 — Альдегонда, 5 — Брюде, 6 — Васстак, 7 — Конгресс

Fig. 1. The area of the study.

The numbers indicate: 1 — Grøndalselva, 2 — Grøn fjorddalselva, 3 — Bretjørna, 4 — Aldegonda, 5 — Brydebekken, 6 — Vasstakelva, 7 — Congresselva

питания и полностью расположены в области абляции [7]. Исключение составляет ледник Западный Грэнфьорд, область питания которого составляет менее 2 % площади ледника. Формула Ходакова–Кренке позволяет проводить оценочные расчеты в области абляции ледников, учитывая высотный градиент температуры. На основе многочисленных измерений температуры воздуха на леднике Восточный Грэнфьорд установлено, что в летний период температура с высотой понижается в диапазоне от 0,7 до 1,0 °C на 100 м подъема. Средняя величина за летние периоды в 2017 и 2018 гг. была равна 0,8 °C на 100 м подъема [16, 17].

Ледниковый сток, как составляющая общего речного стока, непосредственно влияет на термические и ледовые условия морских заливов, продуктивность и видовой состав морской биоты в них, необходимо связан с жизнедеятельностью арктических поселков и имеет значение для развития транспорта и туризма. Результаты исследования дают основу для модельных расчетов водного режима рек в районе горного оледенения Шпицбергена.

МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ И РАСЧЕТОВ

Измерения расхода воды в реках выполнялись методом «скорость – площадь». Применялся сокращенный способ, который предусматривает измерение скоростей течения в одной точке на скоростной вертикали — 0,6 глубины потока (средняя скорость течения на вертикали) на выбранных промерных вертикалях. Измеренный расход воды определяется как средний за время измерения объем воды, про-



Рис. 2. Измерение расхода воды реки Грён-фьорд 30.07.2018 12:40

Fig. 2. Measurement of water flow of the Grönfjorddalselva 30.07.2018 12:40

текающий через поперечное сечение потока за одну секунду. Общий расход воды представляется в виде суммы частичных расходов $q_s = v_s \cdot f_s$, где частичные расходы воды (q_s) приурочены к отсекам живого сечения между скоростными вертикалями f_s , на которых производится измерение средней по глубине скорости потока, а общий расход при этом равен: $Q = \Sigma q_s$. Глубина на установленных вертикалях определялась с помощью металлической рейки ГР-104. Для измерений скоростей течения использовались гидрометрические вертушки ИСП-1М с лопастным винтом диаметром 70 мм. Производство работ и обработка полученных полевых материалов производились в соответствии с [18]. Регулярные наблюдения, с периодичностью не реже раза в неделю, производились на следующих реках: Грён, Грён-фьорд, Брехьёрна, Альдегонда, Брюде, Конгресс (рис. 2).

Для определения площади ледников в настоящей работе использованы спутниковые снимки Sentinel-2 (территория Земли Норденшельда, уровень обработки L1C (13.09.2017 и 23.08.2016), пространственное разрешение 10 м). Описание методики и данные обработки спутниковых снимков представлены в работе [7].

Расчет величины абляции (A) на ледниках выполнен по модифицированной формуле Ходакова–Кренке [15]:

$$A = (T_s + 9,5)^{3,25}, \quad (1)$$

где T_s — температура воздуха над ледниковой поверхностью, рассчитывается по среднему высотному уровню каждого ледника.

Для ледников Восточный Грёнфьорд и Западный Грёнфьорд в бассейне р. Брехьёрна средний высотный уровень принят 250 и 270 м соответственно. Для ледников западного берега залива Грён-фьорд — Альдегонда, Брюде, Веринг и Варде — 270, 310, 300, 300 м соответственно. Для восточного берега залива в бассейне р. Грён-фьорд средний уровень ледников равен 420 м, в бассейне р. Грён — 450 м. Средний высотный уровень ледников определялся на основании электронных карт данного региона, построенных по данным 2008 г. [19].

Для расчета температуры использовался средний высотный градиент температуры воздуха, который принят равным $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ на 100 м подъема, и величина скачка температуры при переходе с каменистой поверхности на ледниковую, которая равна $1,0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Данные о величине скачка и высотном градиенте температуры получены из прямых измерений на леднике Восточный Грэнфьорд в летний период с использованием регистраторов температуры *i-butun* и данных автоматической метеостанции, установленной перед фронтом ледника. Разница температур воздуха в Баренцбурге и на побережье у подножия ледников принята равной $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ на основании сравнения данных о температуре воздуха в летние периоды 2016 и 2017 гг. Расчеты абляции с помощью формулы (1) показали наилучшее совпадение с натурными наблюдениями таяния на леднике Восточный Грэнфьорд в 2017 г. [16]. Степенной показатель в формуле равен 3,25, т.е. формула Ходакова–Кренке модифицирована с учетом местных условий на основании реальных измерений таяния на леднике Восточный Грэнфьорд.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Залив Грэн-фьорд принимает шесть крупных рек. Силами ААНИИ наиболее полные наблюдения за изменением элементов водного баланса ведутся с 2017 г. на реках Грэн, Грэн-фьорд, Брехьёрна, Альдегонда, Брюде и Конгресс. Исследуемые водотоки имеют различную протяженность — от $0,6\text{ км}$ (р. Брехьёрна) до $23,5\text{ км}$ (р. Грэн). Большинство рек характеризуется быстрым течением $1,0\text{--}2,5\text{ м/с}$ со средними глубинами $1,0\text{--}1,5\text{ м}$ [8]. Русла горных рек часто порожистые, с водопадами, высота которых достигает нескольких метров. Реки, текущие по плоским широким долинам, сильно меандрируют, делятся на отдельные рукава и в период половодья несут большое количество наносов.

Выделяются два периода существования стока рек — весенний, когда происходит таяние снега, и летне-осенний, в этот период питание рек осуществляется за счет талых вод ледников и выпадения жидких осадков. Таяние снега на водосборах рек начинается во второй половине мая и к первой половине июня совместно с увеличением положительных температур воздуха вызывает пиковые расходы половодья. Максимальные расходы воды в это время изменяются от $2\text{ м}^3/\text{с}$ в реке Брюде до $18\text{ м}^3/\text{с}$ в реке Брехьёрна. После прохождения пика заснеженность территории и расходы воды быстро снижаются. Дальнейший режим стока на водосборах с большой степенью оледенения в теплый период в целом зависит от реакции ледников на метеорологические условия. Таяние ледника, вызванное воздействием на него атмосферных факторов, является важнейшим компонентом приходной части уравнения водного баланса. Меженный сток рассматриваемых рек составляет $0,3$ до $3,0\text{ м}^3/\text{с}$ для рек Брюде и Брехьёрна соответственно. В конце лета и в начале осени формируются экстремальные паводки, вызванные интенсивными осадками в дни с высокой температурой воздуха. Расходы рек в этот период иногда могут превышать максимальные расходы половодья.

Постоянный сток на реках продолжается около пяти месяцев и обычно заканчивается к началу октября. За три летних месяца проходит более 90% стока [20]. Сток с водосборов с большой степенью оледенения в течение теплого периода года распределяется более равномерно, основные его объемы проходят в период с середины июня до середины августа.

Река Грэн — наиболее крупный и единственный водоток, впадающий в залив Грэн-фьорд с востока, протяженностью $23,5\text{ км}$, площадь водосбора 98 км^2 . Степень

оледенения водосбора составляет всего 10 %. Истоком реки является ледник Тавле. В верховьях река течет в узком каньоне, в среднем и нижнем течении долина расширяется, и в русле реки развивается пойменная многорукавность. На всем протяжении река имеет плоскую широкую долину и принимает множество стекающих с гор водотоков. При впадении реки в залив образована широкая дельта, на десятки метров выдвинутая в залив.

Река Грэн-фьорд впадает в залив Грэн-фьорд в его кутовой части. Истоком реки являются ледники Янсон и Баалсруд, ее длина составляет 8,5 км, площадь водосборного бассейна составляет 70,1 км², степень оледенения — 8,8 %. В нижнем течении русло реки Грэн-фьорд подходит к моренному комплексу, образованному ледниками Западный и Восточный Грэнфьорд. В нижнем течении происходит разделение реки на несколько неустойчивых рукавов.

Река Брехьёрна также впадает в залив Грэн-фьорд в его кутовой части. Река вытекает из одноименного приледникового озера, образовавшегося при отступлении ледника Западный Грэнфьорд. Протяженность ее составляет всего 660 м. Площадь водосбора реки 45 км², большая часть которого представлена двумя расположенными на нем ледниками: Западный (16,2 км²) и Восточный (6,5 км²) Грэнфьорд.

Река Альдегонда является самым крупным водотоком западного берега залива. Она образуется при слиянии трех водотоков, берущих свое начало на леднике Альдегонда, площадь водосбора составляет 9,4 км². В связи с отступлением ледника длина реки увеличивается год от года, а степень оледенения ее водосбора уменьшается. Степень оледенения водосборного бассейна 56 %. Река протекает по долине, сложенной моренными отложениями, местами на поверхность водосбора выходят коренные породы, которые стесняют русло реки. На водосборе имеется несколько небольших озер, площадью до 100 м². Река имеет достаточно большой уклон и бурное течение. При впадении в залив Грэн-фьорд река Альдегонда образует небольшую дельту, положение которой нестабильно.

Река Брюде — второй по величине стока западный приток залива Грэн-фьорд, берет свое начало при слиянии ручьев, текущих с ледников Брюде и Хефтье, длина реки составляет 4,3 км, площадь водосбора 13,4 км², а степень его оледенения 5 %. В среднем течении река протекает в каньоне глубиной более 15 м и имеет несколько водопадов. При впадении в залив река образует широкую дельту.

Река Конгресс вытекает из одноименного озера, расположенного в глубокой горной впадине. В водосборе реки нет ледников, и его площадь составляет 4,7 км². Длина реки 3,9 км.

Река Вастак вытекает из озера Биенда-Стемме, расположенного в пределах широкой круглой долины. Озеро площадью около 0,12 км² питается за счет снеготаяния, летних осадков и таяния ледников Вёринг и Вёрде (южная часть ледника). Сброс воды из озера является зарегулированным, так как на озере расположена водозаборная станция пос. Баренцбург. В летний период потребление поселком воды из озера составляет 0,05–0,06 млн м³, что существенно меньше величины общего стока реки. Длина р. Вастак составляет 3,4 км. Площадь водосбора 10,3 км², а степень его оледенения 7 %.

Наиболее полные гидрологические исследования на водных объектах проводились в 2017–2018 гг. Данные измерений площади бассейнов рек, площади ледников в бассейнах рек, величина общего стока и расчет ледникового стока для шести рек показаны в таблицах 1 и 2 для 2017 и 2018 гг. соответственно.

Таблица 1

Характеристики водосборных бассейнов рек залива Грэн-фьорд в 2017 году

Название реки (речной долины)	Площадь речного бассейна, км ²	Площадь ледников в бассейне, км ²	Высотный диапазон ледника, м	Доля площади ледников, %	Общий сток реки, млн м ³	Ледниковый сток, млн м ³	Доля ледникового стока, %
Грэн	98,0	7,40	240/865	7,6	41,2	10,0	24,3
Грэн-фьорд	70,1	6,20	175/550	8,8	21,3	10,7	50,2
Брехьёрна	45,0	22,7	43/720	50,4	44,0	39,7	90,2
Альдегонда	9,4	5,25	140/560	55,8	23,2	11,0	47,4
Брюде	13,4	0,63	240/450	4,7	5,3	1,1	20,8
Васстак	10,3	0,71	210/430	6,9	5,0	1,4	28,0

Таблица 2

Характеристики водосборных бассейнов рек залива Грэн-фьорд в 2018 году

Название реки (речной долины)	Площадь речного бассейна, км ²	Площадь ледников в бассейне, км ²	Высотный диапазон ледника, м	Доля площади ледников, %	Общий сток реки, млн м ³	Ледниковый сток, млн м ³	Доля ледникового стока, %
Грэн	98,0	7,40	240/865	7,6	52,3	10,2	19,5
Грэн-фьорд	70,1	6,20	175/550	8,8	31,6	10,8	34,2
Брехьёрна	45,0	22,7	43/720	50,4	66,2	40,4	61,0
Альдегонда	9,4	5,25	140/560	55,8	28,1	12,3	43,8
Брюде	13,4	0,63	240/450	4,7	5,4	1,2	22,2
Васстак	10,3	0,71	210/430	6,9	5,0	1,5	30,0

Полученные данные очевидно указывают, что чем больше площадь покрыта ледниками, тем больше доля ледникового стока в общем стоке. Для рек Брехьёрна и Альдегонда доля ледникового стока достигает 90 %, при доле оледенения около 50–55 %. Долины, ледники которых занимают небольшие площади, такие как Грэн, Грэнфьорд, Брюде и Васстак, имеют долю ледникового стока менее 25 %. Коэффициент корреляции между долей площади ледников и долей ледникового стока в общем стоке для рек Грэн-фьорда составил 0,74 и 0,86 в 2017 и 2018 гг. соответственно. Межгодовые различия общего стока рек, по-видимому, обусловлены погодными условиями в летний период. Несмотря на то, что средняя летняя температура воздуха в 2017 и в 2018 гг. мало отличалась (4,95 и 5,00 °С соответственно), количество осадков в летний период было различным. В 2017 г. общее количество осадков с мая по октябрь составило 404 мм, в то время как в 2018 г. за тот же период выпало 578 мм. Главные различия были в середине лета: максимальное количество

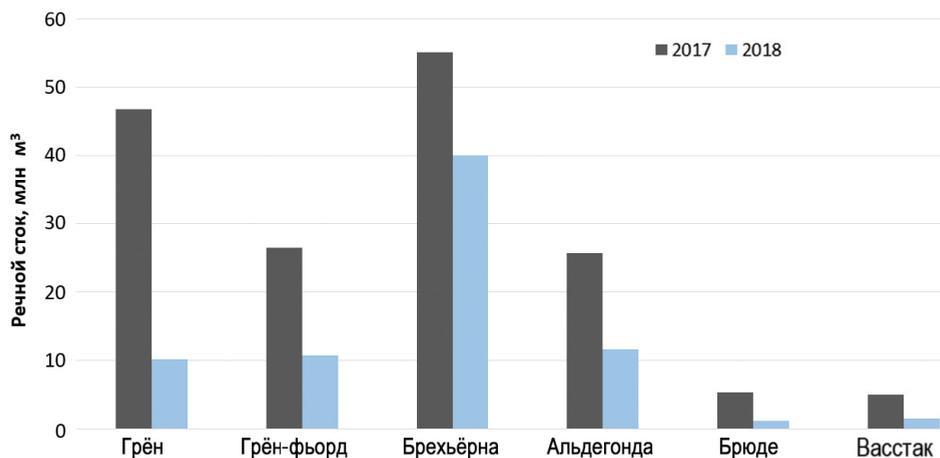


Рис. 3. Объемы общего и ледникового стоков (млн м³) по данным 2017 и 2018 гг. на реках Грён-фьорда

Fig. 3. Volumes of total and glacial flows (million m³) according to data for 2017 and 2018 on the Grønfyord rivers

осадков в 2017 г. зафиксировано в сентябре — 162 мм, наиболее обильным месяцем с дождевым стоком в 2018 г. был июль — 161 мм. С мая по середину августа 2017 г. сумма осадков за сутки превысила отметку в 5 мм лишь дважды, в 2018 г. наблюдалось 15 таких суток. Нередко дожди были затяжными, увеличивая объемы воды, поступающей в реки.

В среднем за два года измерений (в периоды таяния) соотношения общего и ледникового стока для рек залива Грён-фьорд показаны на рис. 3.

Основной вклад речного стока в залив дает река Брехьёрна, имеющая наибольшее ледниковое питание (в среднем 80 % от общего стока реки за 2017–2018 гг.). Второй по величине речного стока является река Грён, степень оледенения ее водосбора невелика, питание ледниками составляет приблизительно пятую часть. Практически одинаковые объемы пресной воды за сезон выносят реки Альдегонда и Грён-фьорд и имеют порядка 40–45 % стока ледника от общего. Наименее водными являются реки Брюде и Васстак, годовой вынос пресной воды составляет 5–5,5 млн м³ из которых 1–1,5 млн м³ — ледниковые воды. Следует отметить, что р. Стемме имеет регулировку стока, среднее суточное потребление воды поселка Баренцбург составляет около 500 м³. Фактически ледниковый сток многократно покрывает потребности поселка в воде в летний период, и, таким образом, забор воды не оказывает существенного влияния на величину общего стока.

Немалый интерес представляет исследование величины стока с ледника Альдегонда. Расчет величины летнего таяния на леднике Альдегонда выявил заметные отличия от величины общего стока, хотя доля оледенения в бассейне велика. Возможно, часть талой воды из верховья ледника дренируется в долину Линнея, также не исключен дополнительный приток воды в реку Альдегонда из озер, расположенных на ее водосборе. Тем не менее этот вопрос требует дополнительного исследования.

ВЫВОДЫ

Получены оценки доли ледникового стока рек залива на основе расчетов абляции на ледниках и по данным регулярных гидрологических измерений в летние периоды 2017 и 2018 гг. В залив Грэн-фьорд впадает 7 рек, 6 из которых имеют ледниковый сток. Доля ледникового стока рек изменяется от 20 до 90 % от общего стока, в зависимости от степени оледенения водосбора рек.

Наибольший ледниковый сток наблюдается на реке Брехьёрна, основное питание которой обеспечивают ледники Восточный и Западный Грэнфьорд. Степень оледенения водосбора реки составляет 50 %, доля ледникового стока достигает 90 %. Не меньшую степень оледенения имеет река Альдегонда, половину площади водосбора которой занимает ледник Альдегонда. Однако доля ледникового стока реки не так велика и составляет в среднем 45 %. Питание реки Грэнфьорд ледниками составляет около 40 % при степени оледенения всего 10 %. Наименьшую долю ледникового стока имеют реки Грэн, Брюде и Васстак — 20 %. Занятость водосбора этих рек ледниками составляет всего 5–7 %. В 2017 и 2018 гг. суммарный общий сток рек залива Грэн-фьорд составил 140 и 189 млн м³, а доля их ледникового стока 53 % и 41 % соответственно.

Благодарности. Гидрологические работы выполнены в рамках сезонных экспедиций «Шпицберген» Российской научной арктической экспедиции на архипелаге Шпицберген (РАЭ-Ш) ФГБУ «ААНИИ». Глациологические работы выполнены при поддержке гранта РФФИ Арктика № 18-05-60067.

Acknowledgments. Hydrological works were carried out with the seasonal expeditions “Spitsbergen” organized by Russian Scientific Arctic Expedition on the Spitsbergen Archipelago (RAE-S), AARI. Glaciological works were supported by the RFBR Arctic grant No. 18-05-60067 “Current State and Dynamics of Snow Cover and Glaciation archipelagoes and the mainland of the Eurasian Arctic and their impact on the environment”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира / Под ред. В.М. Котлякова. М.: Институт географии РАН, 1997. 392 с.
2. Троицкий Л.С., Зингер Е.М., Корякин В.С., Маркин В.А., Михалев В.И. Оледенение Шпицбергена (Свальбарда). М.: Наука, 1975. 275 с.
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. Nuth C., Kohler J., König M., von Deschwenden 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.
5. Malecki J. Accelerating retreat and high-elevation thinning of glaciers in central Spitsbergen // *The Cryosphere*. 2016. V. 10. P. 1317–1329.
6. 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.
7. 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.

8. Гохман В.В. Распространение и условия формирования ледниковых наледей Шпицбергена // Материалы гляциол. исслед. 1987. № 60. С. 68–76.
9. Гляциология Шпицбергена. М.: Наука, 1985. 198 с.
10. Мировой водный баланс и водные ресурсы Земли. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 640 с.
11. Гохман В.В., Ходаков В. Г. Вопросы анализа, прогноза и преобразования зимнего стока воды из ледника Бертиль на Шпицбергене // Материалы гляциол. исслед. 1983. № 46. С. 185–193.
12. Гохман В.В. Водно-ледниковый баланс Шпицбергена: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 1990. 20 с.
13. Killingtveit A., Pettersson L.E., Sand K. Water balance investigations in Svalbard // Polar Research. 2003. V. 22. P. 161–174.
14. Барбаиш В.Р., Бочарова Н.Г., Давидович Н.В., Кренке А.Н. Расчеты некоторых характеристик таяния и его тепловых ресурсов с помощью ЭВМ // Материалы гляциол. исслед. 1982. № 43. С. 114–118.
15. Кренке А.Н., Ходаков В.Г. О связи поверхностного таяния ледников с температурой воздуха // Материалы гляциол. исслед. 1966. № 12. С. 153–164.
16. Чернов Р.А., Кудиков А.В., Вшивцева Т.В., Осокин Н.И. Оценка поверхностной абляции и баланса массы ледника Восточный Грэнфьорд (Западный Шпицберген) // Лед и снег. 2019. Т. 59. № 1. С. 59–66.
17. Осокин Н.И., Сосновский А.В., Накалов П.Р., Чернов Р.А. Оценка абляции на ледниках архипелага Шпицберген в начале XXI века // Лед и снег. 2010. № 3 (111). С. 13.
18. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Вып. 6. Ч. 2. Гидрологические наблюдения и работы на малых реках. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 225 с.
19. Картографические материалы Норвежского полярного института. URL: <https://toposvalbard.polar.no/> (дата обращения 14.03.2019).
20. Третьяков М.В. Особенности речного стока архипелага Шпицберген // Географические и экологические аспекты гидрологии. Труды научной сессии, посвященной 90-летию кафедры гидрологии суши СПбГУ. Санкт-Петербург, 26–27 марта 2008 г. / Под ред. В.С. Вуглинского. СПб.: Изд-во СПбГУ, 2010. С. 217–221.

REFERENCES

1. Atlas of snow and ice resources of the world. Ed. V.M. Kotlyakov. Moscow: Institute of Geography RAS, 1997: 392 p. [In Russian].
2. The icing of Svalbard. Moscow: Nauka: 1975, 275 p. [In Russian].
3. Hagen J.O., Liestol O. Long term glacier mass balance investigations in Svalbard 1950–1988. Annals of Glaciology. 1990, 14: 102–106.
4. Nuth C., Kohler J., König M., von Deschwenden A., Hagen J.O., Käab A., Moholdt G., Pettersson R. Decadal changes from a multi-temporal glacier inventory of Svalbard. The Cryosphere. 2013, 7: 1603–1621.
5. Malecki J. Accelerating retreat and high-elevation thinning of glaciers in central Spitsbergen. The Cryosphere. 2016, 10: 1317–1329.
6. 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.
7. Chernov R. A., Murav'ev A. Ia. Contemporary changes in the area of glaciers in the western part of the Nordenskjöld Land (Svalbard). *Led i sneg*. Ice and Snow. 2018, 58, 4: 462–472. [In Russian].

8. Gokhman V.V. Spreading and formation conditions of glacial auffs in Svalbard. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1987, 60: 68–76. [In Russian].
9. *Gliatsiologiya Shpitsbergena*. Glaciology of Svalbard. Moscow: Nauka, 1985: 198 p. [In Russian]
10. *Mirovoi vodnyi balans i vodnye resursy Zemli*. World water balance and water resources of the Earth. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1974: 640 p. [In Russian].
11. Gokhman V.V., Khodakov V.G. Regime of the run-off from the Bertil Glacier, Svalbard: analyses and forecasts. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1983, 46: 185–193.
12. Gokhman V.V. *Vodno-lednikovyi balans Shpitsbergena*. Ice-water balance of Svalbard. PhD thesis. Moscow, 1990: 20 p. [In Russian].
13. Killington A., Pettersson L.E., Sand K. Water balance investigations in Svalbard. *Polar Research*, 2003, 22: 161–174.
14. Barbash V.R., Bocharova N.G., Davidovich N.V., Krenke A.N. Calculations of some characteristics of melting and its thermal resources using a computer. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1982, 43: 114–118. [In Russian].
15. Krenke A.N., Khodakov V.G. On the relationship of surface melting of glaciers with air temperature. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 1966, 12: 153–164. [In Russian].
16. 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 Svalbard). *Led i sneg*. Ice and Snow. 2019, 59, 1: 59–66. [In Russian].
17. Osokin N.I., Sosnovskii A.V., Nakalov P.R., Chernov R.A. Assessment of ablation on the glaciers of the Svalbard archipelago at the beginning of the XXI century. *Led i sneg*. Ice and Snow. 2010, 3 (111): 13–18. [In Russian].
18. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiiam i postam. Vyp. 6. Chast' 2. Gidrologicheskie nabliudeniia i raboty na malykh rekakh*. Manual for hydrometeorological stations and posts. Issue 6. Part 2. Hydrological observations and work on small rivers. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1972: 225 p. [In Russian].
19. Map materials of the Norwegian Polar Institute. Available at: <https://toposvalbard.npolar.no/>. (accessed 14.03.2019).
20. *Tret'iakov M.V.* Features of the river flow of the Svalbard archipelago. Geographical and environmental aspects of hydrology. *Trudy nauchnoi sessii, posviashchennoi 90-letiiu kafedry gidrologii sushy SPbGU. Sankt-Peterburg, 26–27 marta 2008 g.* Proceedings of the scientific session dedicated to the 90th anniversary of the Department of Land Hydrology, St. Petersburg State University. Saint Petersburg. March 26–27, 2008. Ed. V.S. Vuglinsky. St.-Petersburg: St. Petersburg State University, 2010: 217–221. [In Russian].