

## ГЛЯЦИОЛОГИЯ И КРИОЛОГИЯ ЗЕМЛИ

УДК 551.324.3

DOI: 10.30758/0555-2648-2018-64-1-5-15

### К ОЦЕНКЕ СНЕГОЗАПАСОВ В РУСЛОВЫХ ВРЕЗАХ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ НА ТЕРРИТОРИИ АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА

*И.И. ВАСИЛЕВИЧ<sup>1</sup>, Р.А. ЧЕРНОВ<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>— Государственный научный центр РФ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>— Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт географии Российской академии наук, Москва, Россия

*\*ii.vasilevich@gmail.com*

### ESTIMATION OF SNOW RESERVES IN THE WATERCOURSE BY THE GEORADIOLOCATION METHOD IN THE ARCTIC REGION

*I.I. VASILEVICH<sup>1</sup>, R.A. CHERNOV<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>— State Research Center Arctic and Antarctic Research Institute, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>— Federal State Budgetary Institute "Institute of Geography", Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*\*ii.vasilevich@gmail.com*

*Received January, 11, 2018*

*Accepted March, 17, 2018*

*Keywords:* ground-penetrating radar, Northern Land archipelago, river beds, snow cover.

#### Summary

For a reliable estimate of snow reserves in the Arctic Archipelago proper allowance must be made for snow accumulation in the areas of relief lowering such as riverbeds, ravines and canyons. As applied to calculating the water yield from the catchment area, unaccounted reserves in the channels may be even larger than recorded. For thickness of the snow cover on similar objects measuring was used Picor-Led ground-penetrating radar. Test measurements of the thickness of the snow cover performed both by radar and manually showed good repeatability of measurements. Data on snow reserves in the catchments of the Mushketov and Amba rivers were obtained using the radar method for northern part of Bolshevik Island in spring 2017.

Measurements results has revealed significant differences in the amount of snow reserves between the plateau sections and the river valleys. The thickness of seasonal snow cover in the riverbeds and canyons varied widely and reached 10.5 meters depth. The average values of snow thickness cover on the plateau and in the riverbeds of the Mushketov and Amba rivers were 0.37, 1.80 and 1.86 m respectively during the period of maximum snow accumulation. Our estimates showed that snow deposits in riverbeds have specific snow reserves 6.5–7.5 times higher than specific snow reserves on the plateau. In addition,

**Citation:** *Vasilevich I.I., Chernov R.A.* Ground-penetrating Radar Estimation of Snow Reserves in Watercourses in the Arctic Region. *Problemy Arktiki i Antarktiki*. Arctic and Antarctic Research. 2018, 64 (1): 5–15. [In Russian]. doi: 10.30758/0555-2648-2018-64-1-5-15

the radar survey revealed the possibility not only to determine the actual thickness of seasonal snow cover but also to study the structure of perennial snowfields and their ice nuclei.

Поступила 11 января 2018 г.

Принята к печати 17 марта 2018 г.

*Ключевые слова:* георадар, речные русла, Северная Земля, снегозапас, толщина снежного покрова.

Для достоверной оценки снегозапасов на территории арктических архипелагов необходимо учитывать накопление снега на участках понижения рельефа, таких как: речные русла, овраги и каньоны. Для измерения толщины снежного покрова на подобных объектах был применен метод радиолокации при использовании георадара «Пикор-Лед» (ООО «ФПК “ЭКСТРА”», г. Москва). Весной 2017 г. в северной части о. Большевик методом радиолокации были получены данные о снегозаписах в водосборах рек Мушкетова и Амба. В период максимального снегонакопления средние значения толщины снега на плато и в руслах рек Мушкетова, Амба составляли 0,37, 1,80 и 1,86 м соответственно.

### ВВЕДЕНИЕ

При оценке снегозапасов в условиях арктических архипелагов следует учитывать влияние метелевого переноса снега на их распределение. На территории, где присутствуют речные русла, овраги и глубокие каньоны, происходит значительная аккумуляция твердых осадков в местах понижения рельефа. В сравнении с окружающим рельефом, в таких местах величина снегозапасов может в десятки раз превышать фоновые значения.

Гляциологические и гидрологические исследования территории о. Большевик проводились в рамках экспедиции «Север-2017», организованной ААНИИ. Экспедиция базировалась на НИС «Ледовая база “Мыс Баранова”», расположенной на берегу пролива Шокальского. Основными целями исследований были оценка пространственной изменчивости снегозапасов на территории острова и выявление основных закономерностей залегания снежного покрова. Для выполнения гляциологической части исследований были проведены снегомерные маршруты в центральной части острова в период максимального снегонакопления, в которых проводились измерения как традиционным методом (измерения рейкой), так и с использованием метода радиолокации [1].

По результатам измерений выявлены заметные различия в величине снегозапасов между пологими участками плато и долинами рек, имеющими узкие и глубокие каньоны. При расчете водного баланса пренебрежение этими объектами может приводить к ошибочным результатам. В северной части острова Большевик речные каньоны в глубину достигают 30 метров и в отдельных местах полностью или частично заполнены снегом. Применительно к расчетам влагоотдачи с площади водосборного бассейна в условиях арктических пустынь, где преобладают равнинные типы рельефа, со средней высотой снежного покрова 20–50 см, неучтенные запасы могут быть даже больше, чем учтенные. Для уточнения и учета снегозапасов, как сезонных, так и многолетних, залегающих в руслах рек и каньонах рек, наиболее эффективным оказалось использование радиолокационных методов.

### ОПИСАНИЕ РАЙОНА И ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Остров Большевик является вторым по величине островом архипелага Северная Земля и располагается на его южной части. На западе он отделен проливом Шокальского от острова Октябрьской Революции, на юге пролив Вилькицкого разделяет остров с материком. Центральная часть острова возвышена и представляет собой

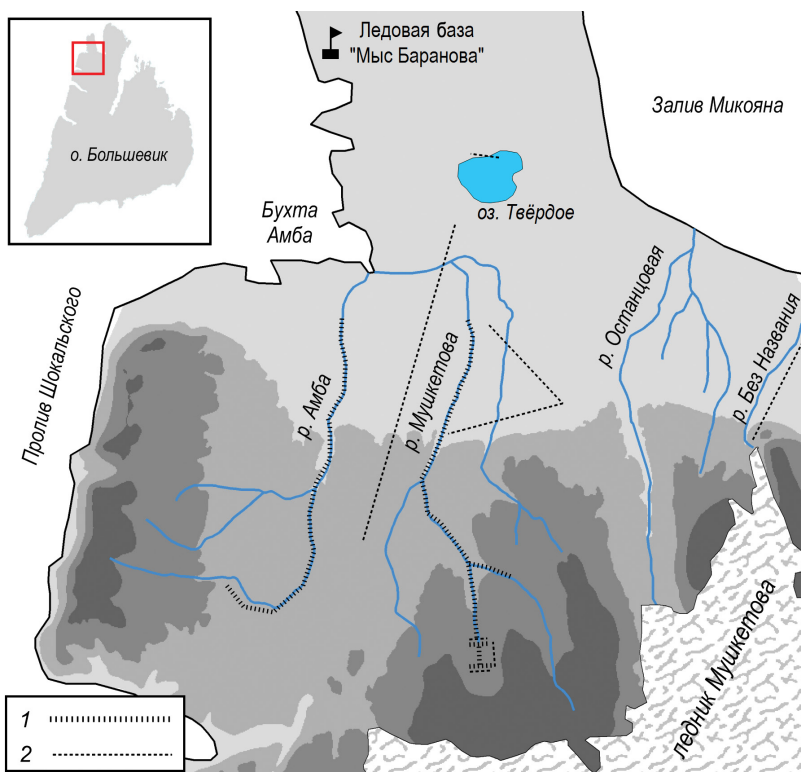


Рис. 1. Карта-схема северной части острова Большевик.

1 — профили, измеренные георадаром «Пикор-Лед», 2 — маршрутные снегомерные съемки

Fig. 1. Map-scheme of the northern part of Bolshevik Island.

1 — profiles measured by the “Picor-Ice” georadar, 2 — route snow surveys

пологое каменистое плато, на котором лежат ледниковые купола — Ленинградский, Семенова-Тян-Шанского, Аэрофотосъемки и Мушкетова. В северной части острова рельеф понижается и переходит в холмистые равнины. Речная сеть хорошо развита по всему острову, крупнейшие реки — Студеная, Обрывистая, Базовая, Амба, Мушкетова. Реки практически на всем своем протяжении имеют русло в виде каньона с глубиной от 2–3 м до 30 м и шириной от 10 до 100 м.

Исследования на архипелаге Арктический и антарктический научно-исследовательский институт проводит начиная с 1962 г. В 1968 и 1969 гг. впервые проведено радиолокационное зондирование ледников, а в 1974 г. был открыт гляциологический стационар «Купол Вавилова» [2].

Объектом наших исследований был водосбор рек Мушкетова и Амба, которые лежат в северной части острова. На его площади организован гидрологический полигон ААНИИ на о. Большевик. Река Мушкетова берет свое начало у подножия ледника Мушкетова и впадает в бухту Амба пролива Шокальского. Река Амба протекает параллельно с рекой Мушкетова, исток реки начинается у вершины мыса Визе, впадает река также в бухту Амба. В верховьях рек расположены крупные многолетние снежники, таяние которых обеспечивает летний сток. Протяженность обеих рек около 20 км (рис. 1).

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Работа была выполнена в рамках программы гидрологических исследований о. Большевик в 2016 и 2017 гг. Были проведены снегомерные съемки северной территории острова в береговой линии, на возвышенном плато и на ледниковом куполе Мушкетова. Протяженность исследуемой территории с юга на север составляла 25 км с общей площадью около 500 км<sup>2</sup>. В качестве основы снегомерных съемок были проложены линейные профили по основным формам рельефа, включая поверхность ледникового купола. Снегомерная съемка проводилась вручную и с использованием георадара на снегоходах по многокилометровым профилям, а также пешком на тестовых площадках, размером 100×100 м.

Измерения толщины снега проводились с помощью металлического щупа и посредством устройства снежных шурфов. По результатам измерений была проведена оценка толщины, плотности и стратиграфии снежного покрова. Основная часть работ была выполнена в мае, в период максимального снегонакопления, что дает истинные значения снегозапасов на исследуемой территории. Особенности распределения снежного покрова на территории показали, что значительные снегозапасы аккумулируются в руслах рек и каньонах. При этом ручные измерения таких объектов становятся чрезвычайно трудоемкими и малоэффективными уже при толщине снежного покрова более 1,5 м.

Для измерения толщины снега в руслах рек был успешно применен метод радиолокации снежного покрова. Для этого использовался георадар ООО «ФПК “ЭСТРА”» (г. Москва) «Пикор-Лед» [3].

Программное обеспечение георадара позволяет вести непрерывную запись результатов измерений со скоростью от 8 кадров в секунду. Радиолокация проводилась по оси речных долин и каньонов от истока до нижней точки каньона. Также был выполнен ряд поперечных промеров толщины снежного покрова. Уже непосредственно в ходе измерений выяснилось, что на записи отражаются как сезонные снегозапасы, так и многолетние. Таким образом, в ходе однократного измерения удавалось оценить и толщину снежного покрова, и мощность снежника.

Радиозондирование на профилях проводилось сериями в движении до момента остановки транспортного средства. Радар был закреплен вертикально на санях в кормовой части. Расстояние от нижней части подвешенного на кронштейне прибора до снежной поверхности в результате составляло 40 см. Скорость движения снегохода с санями во время измерений поддерживалась 20 км/ч. В силу характера рельефа в случае непредвиденной остановки запись радара прерывалась до момента начала движения.

Программное обеспечение радара «Пикор-Лед» позволяет производить пространственную привязку каждого кадра. Однако сигнал радара создавал помехи для работы встроенного в полевой ноутбук GPS-приемника, находящегося рядом. Поэтому координаты движения были записаны отдельно на GPS-приемник водителя снегохода, и в дальнейшем была осуществлена пространственная привязка по времени движения. Точность пространственной привязки зависит от устройства, используемого в работе. Средняя погрешность у навигаторов марки «Garmin» (США), применяемых в работе, ±3,6 м.

Георадар «Пикор-Лед» является высокочастотным антенным модулем с центральной неизменяемой частотой 1600 МГц. В настройках антенного модуля можно изменять масштаб и усиление принятого сигнала. При максимальном усилении сигнала было достигнуто значение максимальной глубины в 11 м, которое явля-

ется пределом аппаратных возможностей. Георадар отображает границы между различными по диэлектрической проницаемости средами, что на практике означает возможность изучения стратиграфии снега или льда.

Физические основы применимости радиолокационных средств в гляциологии приведены в классической монографии [4], где показано, что для пресноводных льдов и снежного покрова можно ожидать получение оценок морфометрических параметров подстилающей поверхности толщиной от единиц до десятков метров на частотах радарных сигналов 100...1000 МГц. Основной физической характеристикой, определяющей качество отображения отраженного сигнала, является диэлектрическая проницаемость среды  $\epsilon$ , на изменчивость которой и, соответственно, на точность полученных результатов влияют (для льда и снега) температура, пористость, плотность, соленость, кристаллическое строение. В [4] показано, что при отсутствии солевых включений и незначительных изменениях температуры вариации других указанных факторов несущественно влияют на качество измерений. Указанные физические принципы использованы разработчиками георадара «Пикор-Лед» для составления встроенных алгоритмов обработки и визуализации радарограмм, при этом учет фактических значений природных факторов предлагается выполнять корректировкой значения  $\epsilon$ . По результатам шурфирования средняя плотность снега в руслах рек и каньонах была равна 0,42 г/см<sup>3</sup>. Такому значению плотности сухого снега соответствует значение диэлектрической проницаемости, равное 2,0 Ф/м [5], которое было предустановлено в настройках георадара и использовано при выполнении данных наблюдений.

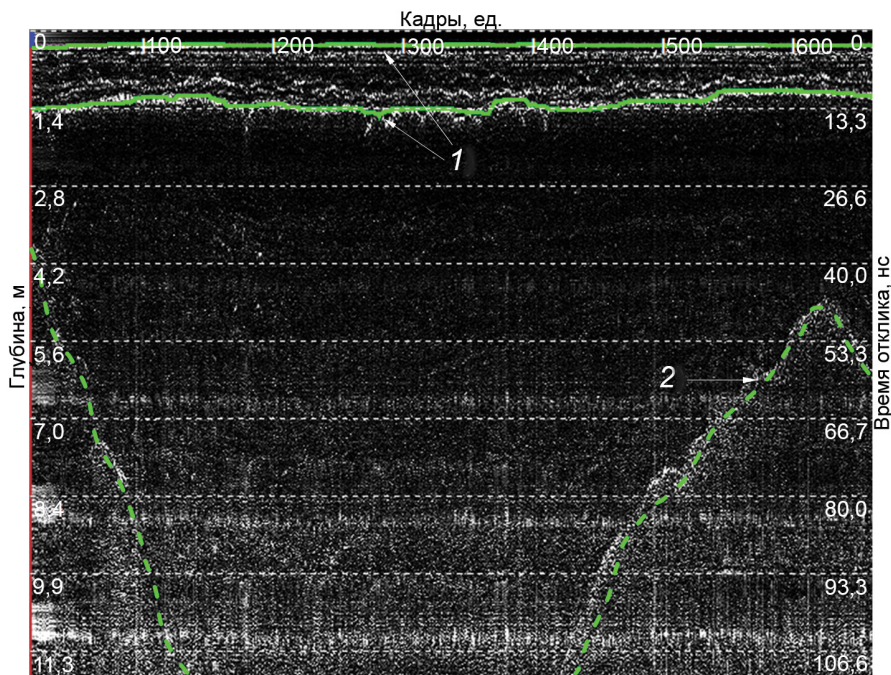


Рис. 2. Радарограмма с указанием границ слоев снега и подстилающей поверхности.  
1 — верхняя и нижняя границы снежного покрова, 2 — подстилающая поверхность

Fig. 2. Radarogram with boundaries of snow layers and underlying surface.  
1 — upper and lower boundaries of the snow cover, 2 — underlying surface



Рис. 3. График распределения снега на снежнике у подножия ледника Мушкетова

Fig. 3. The snow distribution schedule on the snowfield at the foot of the Mushketov glacier

Результаты записи радиолокации записываются в бинарные файлы, на основе которых при обработке формируются двумерные радарограммы. Численная информация о толщине слоев хранится в форме таблиц формата Excel с пространственной привязкой по данным GPS-приемника.

Тестовые измерения толщины снежного покрова георадаром «Пикор-Лед» были проведены на стометровом профиле, захватывающем поверхность ледового покрова на озере и его пологий берег. Радарные записи толщины снега были сравнены с ручными промерами толщины снега с шагом 5 м. Тест показал, что запись радара достаточно хорошо определяет толщину снега, которая на этом профиле изменялась от 27 до 55 см. Среднеквадратическое отклонение разностей результатов измерений рейкой и радаром оказалось равно 7 см. Результат радарной записи сравнения представлен на рис. 3.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Промеры в верховье реки Мушкетова показали, что слой снега в 1–1,5 метра лежит на снежнике (см. рис 2), толщина которого варьируется от 7 и более метров. В верхней части радарограммы показана толща снега, которая неоднородна по своей структуре до глубины около 1,4 м. Подстилающий слой увеличивается по толщине от 1,5 на краю до 9 м в середине долины. Нижняя граница характеризует подстилающую поверхность — грунт, которая во всех случаях записей определяется однозначно. Согласно инструментальным измерениям на этом участке сезонный снежный покров лежит поверх фирна и льда.

Общая длина измеренных профилей на реке Мушкетова составляет 20 км. После первичной обработки и интерпретации данных измерений [6] на профилях р. Мушкетова было получено, что средняя толщина снега в истоке реки составляет около одного метра. В русле р. Мушкетова были выполнены серии измерений толщины сезонного снега, результаты отражены в таблице 1.

**Результаты измерений толщины снежного покрова в долине р. Мушкетова  
(о. Большевик)**

Профиль	Количество промеров на профиле, шт	Длина профиля, м	Средняя толщина снега, см	Минимальная толщина снега, см	Максимальная толщина снега, см
14	2549	560	108	80	146
15	1370	300	114	83	149
16	1473	550	109	75	111
17	764	220	96	71	133
18	7331	3300	176	68	283
19	1920	700	170	134	201
20	5824	1700	202	90	281
21	6308	2300	260	48	720
22	5600	2300	250	42	589
23	4421	1700	152	9	352
Среднее	3756	1363	164	70	296

По данным радарограмм, в верховье реки лежит многолетний снежник шириной до 600 м и протяженностью 5 км. На этом участке сезонный слой снежного покрова имеет среднюю толщину около 1,5 м (см. табл. 1, профили 14–17). В среднем и нижнем течении средняя высота снега на этом участке составляет 2,5 м. На отдельных участках каньона максимальная толщина снега составляла 7 м (см. табл. 1). При этом ледяные многолетние снежники становятся редкими. Таким образом, толщина снега во врезках увеличивается вниз по течению от истока реки.

На плато, по которому протекают реки Мушкетова и Амба, наблюдается противоположная картина распределения снежного покрова. Снегомерные маршруты на плато показали, что толщина снега равномерно растет с абсолютной высотой, достигая максимума на вершине купола Мушкетова. Однако прирост толщины снега с высотой сравнительно небольшой — всего 7 см на каждые 100 м подъема. Наши измерения на поперечном профиле в верховье речной долины показали среднюю толщину снежного покрова 128 см, а средняя плотность снега, измеренная по шурфам, была равна 0,42 г/см<sup>3</sup>. На этом профиле также были проведены тестовые измерения толщины снега двумя способами. Сравнение результатов измерений радаром и при помощи рейки показано на рис. 3. Ручной способ измерений является наиболее точным, но чрезвычайно трудоемким. Его применение при толщине снега более 2 м невозможно, так как большая плотность снега препятствует глубокому проникновению рейки в его толщу, поэтому граница сезонного снега и фирна не определяется. Различия в определении толщины снега на выбранном профиле не превышают в среднем 10 см, что соизмеримо с пространственной изменчивостью толщины снега в радиусе 1–2 м от точки измерения. Помимо границы снежного покрова была определена нижняя граница многолетнего снежника (см. пункт на рис. 2), это дает представление об общих снегозапасах в верхнем течении реки.

Характер продольного распределения толщины снежного покрова в русле реки Амбы схож с его распределением на р. Мушкетова. В истоке реки на пологом склоне мыса Визе средняя высота снега в верхнем течении составляет 1 м. Ниже по течению снегозапасы увеличивались, достигая максимальных значений на среднем участке

## Результаты измерения снегозапасов в руслах рек Мушкетова и Амба

Место измерения	Длина профиля, км	Средняя толщина снега, см	Максимальное значение толщины снега, см	Средняя плотность снега, г/см <sup>3</sup>	Средний влагозапас, мм
р. Мушкетова	9,8	180	720	0,36	648
р. Амба	8,7	186	1049	0,40	750
Плато	15,0	37	125	0,27	100

течения. Толщина снежного покрова в среднем течении достигает 4 м. В нижнем течении река Амба имеет заполненный снегом каньон шириной до 50 м с практически вертикальными склонами глубиной до 10–20 м. Обобщенные результаты промеров по руслам рек и на плато отражены в таблице 2.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Период летнего таяния на о. Большевик начинается в первой декаде июня и продолжается до конца августа [7]. Средние летние температуры на уровне моря по данным метеостанции НИС «Ледовая база “Мыс Баранова”» не превышают 0,5 °С. Тем не менее таяние снега идет достаточно интенсивно, и снежный покров сходит уже к концу июня в береговой линии и к середине июля на возвышенном плато. Однако значительная часть русел рек и оврагов остается заполненной снежниками, многие из которых сохраняются до конца лета. Основная часть стока в реках обеспечивается их таянием.

Общая протяженность снегомерных маршрутов на плато составила 15 км. По руслам рек измерено 39 км профилей. На плато и на прибрежной территории в бассейне исследуемых рек средняя толщина снежного покрова составляла 37 см, при его средней плотности 0,27 г/см<sup>3</sup>, что соответствует снегозапасу 100 мм в.э. Средние снегозапасы по р. Мушкетова и р. Амбе в конце зимнего сезона были равны 648 и 750 мм в.э. соответственно. Таким образом, величина снегозапасов в руслах превышала средние показатели по территории более чем в 7 раз. Согласно подсчетам, применительно к участку исследуемого полигона площадью 100 км<sup>2</sup>, который сочетает в себе такие элементы рельефа, как плато и русловые врезы, доля снегозапасов последних составляет 10 % от общих снегозапасов полигона. В период многоснежных зим этот показатель может быть больше, так как зима 2016/17 г. была малоснежной и русла были заполнены снегом лишь наполовину.

Результаты радарной съемки показали, что применительно к руслам рек, где высота снега достигает 7 и более метров, измерение радиолокационным способом является единственным возможным методом измерений. Достоинством этого метода является также то, что по радарограммам можно выделить границы не только сезонного снежного покрова, но и многолетних снежников и таким образом оценить полностью запасы снега и льда во врезях. Заявленная производителем инструментальная точность радара позволяет оценить толщину слоев снега до 2 см. Однако точность в 10 см, по нашему мнению, является достаточной, учитывая пространственную изменчивость слоев снега на расстоянии 1–2 м и точность определения координат GPS-приемником. По нашим оценкам, при толщине снежного покрова около 2 м ошибка в измерениях составляет не более 10 см. Основной проблемой при обработке данных радарограмм остается привязка профилей к координатам дис-



танционного GPS-приемника. Очевидными преимуществами используемого радара «Пикор-Лед» являются быстрая подготовка к работе, ударозащищенность корпуса и возможность эксплуатации в режиме непрерывной профильной съемки даже при неблагоприятных погодных условиях.

В условиях образования многометровых толщ снега и льда в руслах наши измерения толщины сезонного снега с помощью радара были нацелены на определение границ сезонного снега, фирна, льда и грунта. Поэтому структурные особенности снежной толщи, такие как ледяные корки и границы слоев снега различной плотности, не учитывались. Настройка радара на максимальное усиление сигнала позволила проводить радиолокацию на глубину до 10 м. Для такого масштаба структурные особенности величиной в несколько сантиметров были трудноразличимы. Однако для развития метода необходимо было иметь данные о строении снежной толщи и плотности снега, которые были получены из описания стратиграфии снежного покрова в шурфах.

Стратиграфические исследования снежного покрова показали, что слои свежеснежавшего снега формируются из твердых осадков преимущественно в виде звездчатых кристаллов и пластин и их обломков. Метаморфизм кристаллов свежеснежавшего снега приводит к образованию мелкозернистого снега типа (3sg) в течение нескольких дней. Кристаллы снега преобразуются в округлые бесформенные зерна размерами около 0,5 мм. Этот тип снега чрезвычайно распространен на различных элементах ландшафта о. Большевик, большинство слоев снежной толщи сложены именно этим типом снега (получено нами по результатам описания 40 шурфов). Отдельные слои снега перешли в стадию конструктивного метаморфизма и были сложены ограниченными кристаллами и смешанными формами (4mx, 4fa) [8].

Как правило, начальная плотность свежеснежавшего снега была в диапазоне 0,18–0,22 г/см<sup>3</sup>. Без воздействия ветра верхние слои снега уплотняются незначительно, в среднем их плотность на плато и в прибрежной территории составляла 0,29 г/см<sup>3</sup>. На леднике плотность снега была всегда выше. На его склоне средняя плотность составляла 0,38 г/см<sup>3</sup>, а на плато купола, где сильные ветра наиболее вероятны, плотность снега достигала величины 0,45 г/см<sup>3</sup>. Полученные значения плотности снега были использованы при расчете снеготолщин (см. табл. 2).

В речных долинах, где повышенное накопление снега приводит к его уплотнению под действием весовой нагрузки, плотность снега также была максимальной — 0,40–0,45 г/см<sup>3</sup>. В шурфах наблюдается постепенное увеличение плотности снега с глубиной, границы соседних слоев снега слабо различимы между собой как по плотности, так и по структуре. В связи с этим на радарограмме структурные особенности сезонного снежного покрова были слабо выражены. Как правило, нижняя граница сезонного снега хорошо маркирована плотным фирном или льдом, не стаявшим в течение прошлого лета. Эта граница хорошо различима на радарограмме снежников, так как, кроме скачка плотности, в этом горизонте присутствует загрязнение минеральными частицами, нанесенными на поверхность в летний период с окружающих склонов. По-видимому, подобные маркеры годовых слоев накопления льда и снега мы встречаем в толще снежников на некоторых радарограммах.

## ВЫВОДЫ

Применение радиолокации снежного покрова оказалось эффективным способом исследования распределения снежного покрова на тундровых территориях и для оценки их снеготолщин. Измерение толщины снега было проведено как

на плоских участках — плато и равнина, так и в местах повышенного снегонакопления — долины рек и каньоны. Использование радиолокации совместно с описанием снежной толщи в шурфах дает возможность оценить снеготпасы в исследуемом районе. Нами были получены данные о толщине снежного покрова и снежных наносов в руслах и каньонах р. Мушкетова и Амба. Наиболее вероятно, что массы снега и льда, накопленные в речных долинах, определяют летний сток в реках острова.

Для таких объектов применение радиолокации может быть единственным возможным методом, так как традиционные способы измерений рейкой не могут быть использованы. Кроме того, радиолокационная съемка выявила границы не только сезонного снега, но и многолетних снежников и их ледяных ядер, что в дальнейшем может быть отдельным элементом исследования изменений в нивально-гляциальной системе.

Оценка мощности снежных наносов в речных руслах имеет также большую практическую значимость для проведения изыскательских работ во врезках, где предполагается в дальнейшем добыча драгоценных металлов на о. Большевик.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках программы гидрологических исследований экспедиции «Север-2017», организованной ААНИИ на территории о. Большевик (архипелаг Северная Земля).

**Acknowledgments.** The work was carried out within the hydrological research program of the expedition “Sever-2017”, organized by AARI in the territory of Fr. Bolshevik (the Northern Land archipelago).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вознесенский А.С., Дручинин С.В., Изюмов С.В. Теория и методы георадиолокации. М.: Изд-во Московского государственного горного университета, 2008. 196 с.
2. Говоруха Л. С. Исследования Североземельского гляциологического стационара // Труды ААНИИ. 1981. Т. 367. С. 5–8.
3. Многофункциональный контрольно-измерительный прибор Пикор-Лед: Руководство по эксплуатации. URL: <http://uwbs.ru/texpodderzhka/> (дата обращения 08.01.2018)
4. Богородский В.В., Гаврило В.П. Лед. Физические свойства. Современные методы гляциологии. Л.: Гидрометеоздат, 1980. 384 с.
5. Мачерет Ю.Я. Радиозондирование ледников. М.: Научный мир, 2006. 389 с.
6. Старовойтов А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. М.: Изд-во МГУ, 2008. 187 с.
7. Атлас снежно-ледовых ресурсов мира. М.: Институт географии РАН, 1997. 392 с.

#### REFERENCES

1. Voznesenskii A.S., Druchinin S.V., Izumov S.V. Theory and methods of georadiolocation. Moscow: Moscow State Mining University, 2008: 196 p. [In Russian].
2. Govorukha L.S. Research of the Severozemel Glaciological Station. *Trudy AANII*. Proceedings of AARI. 1981, 367: 5–8. [In Russian].
3. Ice meter PikoR-ICE (ice thickness gauge). Manual. Available at: <http://uwbs.ru/texpodderzhka/> (accessed 08.01.2018). [In Russian].
4. Bogorodsky V.V., Gavrilov V.P. Ice. Physical properties. Modern methods of glaciology. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1980: 384 p. [In Russian].
5. Macheret Yu.Ya. Radio sounding of glaciers. Moscow: Nauchnyi mir, 2006: 389 p.
6. Starovoitov A.V. Interpretation of georadar locating data. Moscow: Moscow State University, 2008: 187 p. [In Russian].
7. Atlas of snow and ice resources world. Moscow: Institute of Geography RAS, 1997: 392 p. [In Russian].

8. Международная классификация для сезонно-выпадающего снега (руководство для описания снежной толщи и снежного покрова). Русское издание // Материалы гляциологических исследований. 2012. Вып. 2. 80 с.

8. International classification for seasonally falling snow (a guide for the description of the snow layer and snow cover). Russian Edition. *Materialy Glyatsiologicheskikh Issledovaniy*. Data of Glaciological Studies. 2012, 2: 80 p. [In Russian].