

Перспективы применения природного сырья для строительства временных сооружений в северных и арктических условиях

С. Н. Попов*, О. Н. Буренина, А. В. Андреева, М. Е. Саввинова

Институт проблем нефти и газа СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

✉ *savvapopov49@mail.ru

Аннотация

В связи с интенсификацией промышленного освоения Арктики возобновлен интерес к возможностям применения наиболее распространенных в северных районах природных материалов (снега и льда) при строительстве временных зданий и сооружений. Технические характеристики снега и льда (прочность, теплопроводность) соответствуют аналогичным показателям многих строительных материалов и в арктических условиях могут эксплуатироваться в течение достаточно продолжительного времени. В предлагаемой статье представлены результаты исследований по разработке технологии производства строительных блоков из природного сырья (снега), прочностные характеристики которых достаточны для возведения временных малоэтажных сооружений (складов, гаражей, ангаров, капониров и т. п.). Прочность замороженных снеговодяных блоков обеспечивается на уровне 3,1–6,4 МПа, теплопроводность – 1,38 Вт/(м·°C). Для внешнеармированных снеговых блоков натурными испытаниями показана достаточная прочность для сооружения одноэтажных зданий. Технологической особенностью изготовления блоков является возможность их производства без использования специализированного оборудования. Определены технологические режимы формования блоков и их теплофизические и прочностные характеристики. Проведены испытания блоков на стойкость к потеплению в весенний период, а также макета одноэтажного здания размерами 3×4,2×2,3 м, показавшие возможность широкого применения предлагаемых технологий в условиях Севера и Арктики.

Ключевые слова: строительство, снег, композит, блок, прочность, теплопроводность

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (№ 122011100162-9) с использованием научного оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ ЯНЦ СО РАН.

Для цитирования: Попов С.Н., Буренина О.Н., Андреева А.В., Саввинова М.Е. Перспективы применения природного сырья для строительства временных сооружений в северных и арктических условиях. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2022;27(3):450–458. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-450-458>

Prospects for the use of natural raw materials for temporary constructions in northern and arctic conditions

S. N. Popov*, O. N. Burenina, A. V. Andreeva, M. E. Savvinova

*Institute of Oil and Gas Problems, Siberian Branch
of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation*

✉ *savvapopov49@mail.ru

Abstract

The industrial development of the Arctic has increased interest in the use of the most common natural materials (snow and ice) for the construction of temporary buildings in northern regions. The technical characteristics of the snow and ice (strength, thermal conductivity) correspond to similar properties of other construction materials. These characteristics allow to use them in the Arctic conditions for a long period of time. We studied the strength characteristics of building blocks made from natural raw materials (snow), which are sufficient for the construction of temporary low-rise buildings (warehouses, garages, hangars, caponiers, etc.). The strength of frozen snow-water blocks is provided at 3.1–6.4 MPa, while heat content at 1.38 W/(m·°C). Full-scale tests of the externally reinforced snow blocks prove their sufficient strength for the construction of one-story buildings. Technological features of the blocks allow their

production without specialized equipment. We determined technological modes for blocks forming, their thermo-physical and strength characteristics. The units were tested for their resistance to the warming in spring. We also tested one-story building model (size 3×4,2×2,3 m). The results of both tests showed the possibility of widespread use of the technology in the North and the Arctic.

Keywords: construction, snow, composite, block, robustness, thermal conductivity

Funding. This study was carried out within the framework of the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (number 122011100162-9). We used the scientific equipment of the Center for Collective Use of the Federal Research Center of the SB RAS.

For citation: Popov S.N., Burenina O.N., Andreeva A.V., Savvinova M.E. Prospects for the use of natural raw materials for temporary constructions in northern and arctic conditions. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2022; 27(3):450–458. (In Russ.) <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2022-27-3-450-458>

Введение

В настоящее время в северных и арктических регионах в связи с удаленностью от основных промышленных центров и высокой стоимостью завозимых строительных материалов вновь возник интерес к инженерным сооружениям из льда и снега – практически единственных природных материалов, которые имеются в неограниченном количестве и могут заготавливаться с минимальными затратами. Северные и арктические климатические условия позволяют эксплуатировать сооружения из льда и снега в течение достаточно продолжительного периода (до 10 месяцев). По истечении срока эксплуатации сооружения самоликвидируются, что может являться их дополнительным преимуществом.

Основные особенности льда как строительного материала обобщены в работах К.Ф. Войтковского [1–3], И.С. Песчанского [4], Б.А. Савельева [5] и др. Вопросами получения композитов с ледяной матрицей и их использования в строительстве занимаются не одно десятилетие. Подавляющее большинство исследований ориентировано на разработку и изучение армированных композитов для строительства зимних дорог, ледовых переправ, плотин и дамб [6–8]. В результате проведенных исследований для армирования льда и уплотненного снега было предложено использовать всевозможные материалы: рисовую солому, ветки, стекловолокно, целлюлозу, пластмассовые прутья, стальные тросы, пульпу из газетной бумаги, листы пергамента и т. п. Во многих публикациях, посвященных армированию льда, отмечается положительный эффект, заключающийся в повышении несущей способности и долговечности.

В настоящее время разработкой и исследованием физико-механических свойств композитов с ледяной матрицей занимаются во ВНИИ авиационных материалов совместно со специалистами

ми Национального исследовательского Томского государственного университета, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Института лазерных и информационных технологий и др. Однако предлагаемые перечисленными организациями композиты отличаются сложностью состава, включающего дорогостоящие наполнители, в том числе полимерные, и химические модификаторы [9, 10]. Известны работы по армированию пресного льда наполнителями природного происхождения [11]. При этом разрабатываемые композиты предназначены для строительства как зданий и сооружений, так и зимних автомобильных дорог и ледовых переправ.

Следует отметить, что предлагаемые различными авторами технологии производства композитов на ледяной основе достаточно трудоемки, что в значительной мере понижает производительность работ по изготовлению строительных материалов. Возможность производства и применения композитов на основе снега для формирования мелкоштучных строительных материалов проведенный анализ научно-технической литературы и патентной информации не выявил. Также отсутствуют сведения о технологиях и применении снеговых блоков во внешних армирующих оболочках.

Таким образом, целью настоящего исследования является разработка легко реализуемых технологий производства стеновых материалов на основе снега для строительства временных сооружений в северных и арктических климатических условиях.

Методы и материалы исследования

При проведении лабораторных исследований для изготовления опытных образцов была использована водопроводная вода согласно ГОСТ Р 51232 [15], снег и опилки древесины хвойных пород, а также полипропиленовая мешкотара.

Определение прочности для опытных образцов проводилось согласно ГОСТ 8462-85 [16] на испытательном прессе ИТ-1А-1000, измерения теплопроводности осуществлялись по ГОСТ 7076-87 [17] на измерителе теплопроводности ИТП-МГ 4 «100». Изготовление опытных образцов мелкоштучных строительных блоков размерами 200×200×400 мм и 250×300×600 мм осуществлялось в деревянных прессформах. Продолжительность выдержки опытных образцов перед прочностными испытаниями и измерениями теплопроводности составляла после изготовления 7 суток.

Для проведения исследований были изготовлены три типа материалов:

- замораживаемая снеговодяная смесь с содержанием снега от 10 до 70 %;
- снеговодяная смесь с добавлением опилок с соотношением массовых частей вода/ снег/ опилки от 5/5/1 до 5/5/4;
- внешнеармированные снеговые блоки.

Результаты и обсуждение

Для исследования прочностных свойств снеговодяных смесей были изготовлены образцы кубической формы размером 100×100×100 мм. Снеговодяные образцы изготавливались следующим образом. В полиэтиленовую форму заливалась вода, добавлялся снег и перемешивался с водой до получения однородной массы. Затем смесь слегка уплотнялась, поверхность разравнивалась, образец извлекался из формы и замо-

раживался в свободном состоянии при температуре окружающего воздуха от –15 °С до –25 °С. Продолжительность выдержки в этих условиях до испытаний составляла 7 суток. При добавлении в воду снега его температура понижается практически до 0 °С, что способствует заметному ускорению получения замороженного образца.

Результаты прочности при сжатии полученных образцов при температуре –20 °С представлены в табл. 1.

После извлечения из формы при содержании снега 40–60 % геометрические размеры снеговодяных блоков практически не изменяются, изделие свободно извлекается из формы, что обеспечивает возможность замораживания в свободном состоянии. При содержании снега более 60 % и менее 40 % после выемки из формы геометрические размеры блоков не сохраняются и замораживание в свободном состоянии практически исключается.

Измерения геометрических размеров полученных образцов блоков после замораживания показали достаточную стабильность. Разброс геометрических размеров образцов не превышает 1,5 %, что соответствует требованиям по точности размеров кирпичей или бетонных блоков и полублоков, предусмотренным ГОСТ 503-2012 и ГОСТ 21520-89 [17,18].

Показатели прочности при сжатии образцов, содержащих по массе от 40 до 60 % снега, составляют от 3,1 до 6,4 МПа, что вполне достаточно для строительства малоэтажных сооружений.

Таблица 1

Прочность образцов из снеговодяных смесей

Table 1

Strength of samples from snow-water mixtures

Состав смеси вода/снег, масс. % / The composition of the mixture water/snow, weight%	Прочность при сжатии, МПа / Compressive strength, MPa	Сохраняемость формы блока / Block shape persistence
90/10	0,45	Форма не сохраняется
80/20	0,68	Форма не сохраняется
60/40	3,3	Образец сохраняет форму
55/45	3,3	Образец сохраняет форму
50/50	6,4	Образец сохраняет форму
45/55	5,0	Образец сохраняет форму
40/60	3,1	Образец сохраняет форму
30/70	–	Форма не сохраняется

**Прочность при сжатии и теплопроводность
наполненных древесными опилками снеговодяных образцов**

Table 2

Compression strength and thermal conductivity snow-water samples filled with wood sawdust

Состав смеси вода/снег/опилки, масс. частей / The composition of the mixture water / snow / sawdust, in mass parts	Теплопроводность, Вт/(м °С) / Thermal conductivity, W / (m °C)	Прочность при сжатии, МПа / Compressive strength, MPa
5/5/1	1,5076	7,99
5/5/1,5	1,1505	5,97
5/5/2	1,5182	6,43
5/5/2,5	0,7906	5,57
5/5/3	0,7859	4,41
5/5/4	0,5259	3,67

Для определения коэффициента теплопроводности снеговодяных материалов по описанной выше технологии были изготовлены образцы размером 100×100 мм, толщиной 10 мм.

Результаты экспериментов показали, что теплопроводность снеговодяного материала несколько ниже, чем у пресноводного льда (2,2–3,5 Вт/(м·°С), и составляет от 1,38 Вт/(м·°С) при одинаковом содержании воды и снега. Для изучения возможности повышения теплозащитных свойств в снеговодяную смесь добавляем опилки древесины.

Состав снеговодяной смеси содержал по пять массовых частей воды и снега, в который добавлялось от одной до четырех массовых частей опилок древесины хвойных пород. Дисперсность частиц опилок составляла 2,5 мм. При добавке более четырех частей опилок образец при вынимании из формы не сохранял геометрические размеры.

Измерения теплопроводности показали, что добавка древесных опилок существенно повышает теплозащитные свойства композиционного материала. Если минимальная теплопроводность у снеговодяных смесей при одинаковом соотношении масс воды и снега устанавливается на уровне 1,38 Вт/(м·°С), то при добавлении в такую смесь четырех массовых частей древесных опилок с теплопроводностью 0,07 Вт/(м·°С) коэффициент теплопроводности снижается до 0,526 Вт/(м·°С). Следует отметить, что при введении в снеговодяную смесь опилок с увеличением их содержания прочность композиционного материала монотонно снижается, т. е. эффекта упрочнения не наблюдается. Возможно, это свя-

зано с понижением прочности отдельных частиц древесины после воздействия режущего инструмента. Однако, прочность снеговодяного материала с добавками менее четырех массовых частей опилок не ниже 3,67 МПа и достаточна для строительства малоэтажных сооружений.

Как указывалось выше, для повышения прочности и теплозащитных свойств получаемых из снеговодяной смеси ледяных блоков возможно дополнительное введение в их состав армирующих и теплоизолирующих добавок, но эта операция для ледовых материалов весьма затруднительна. При добавлении в воду снега вязкость смеси значительно увеличивается и при дополнительном введении ингредиентов обеспечивается их равномерное распределение после смешивания. Возможность такого подхода показана на примере изготовления снеговодяных смесей с добавкой древесных опилок в количестве от одной до пяти массовых частей. Фрактографический анализ срезов образцов показал достаточно равномерное распределение опилок в снеговодяной смеси.

Исследования прочностных свойств и теплопроводности снеговодяных замороженных образцов после семисуточной выдержки привели к результатам, представленным в табл. 2.

Для проведения натурных испытаний и определения стойкости к весеннему потеплению из льда и снеговодяных смесей, включающих опилки, были изготовлены блоки, размеры которых и другие характеристики приведены в табл. 3. Всего было изготовлено три вида материалов – блоки из замороженной в формах водопроводной воды, блоки из снеговодяной смеси с содер-

Характеристики ледовых и снеговодяных блоков

Table 3

Characteristics of ice and snow-water blocks

Состав блока / Block composition	Габаритные размеры, мм / Overall dimensions, mm	Вес, кг / Weight, kg	Объем, дм ³ / Volume, dm ³	Плотность, г/см ³ / Density, g/cm ³
Лед	180×200×400	13,66	14,4	0,975
Снеговодяная смесь	200×200×400	11,46	16	0,716
Снеговодяная смесь с опилками	200×200×400	11,94	16	0,746

жанием 50 % воды и 50 % снега, а также снеговодяные блоки, содержащие 5 массовых частей воды, 5 массовых частей снега и 1 массовой части древесных (сосновых) опилок.

Из изготовленных блоков были построены три макета стеновых ограждающих конструкций длиной 1, высотой 1, толщиной 0,2 м. Длинные стороны макетов были обращены на юг. Фотографии макетов приведены на рис. 1.

Испытания макетов были начаты в начале весны и продолжались практически до полного растаивания конструкций. Наименьшую долговечность показали конструкции из снеговодяных блоков, содержащих древесные опилки. Несмотря на их более низкую теплопроводность, интенсивность их таяния, по нашему мнению, больше зависит от степени черноты композиционного материала.

Технология изготовления мелкоштучных строительных блоков полностью идентична технологии изготовления опытных образцов. Для изготовления форм возможно применение древесины, объем формы не должен превышать 30 л, так как допустимый предел поднятия и переноса тяжестей по действующим правилам и нормам охраны труда – 30 кг. С целью исключения примерзания и прилипания снеговодяной массы к стенкам формы рекомендуется нанесение на ее внутреннюю поверхность покрытия из полиэтиленовой пленки. По сравнению с блоками, получаемыми после замораживания воды в формах, у снеговодяных блоков практически полностью отсутствует коробление в процессе ледообразования, и изделия получаются строго прямоугольными с плоскими поверхностями. Выемка легко осуществляется при переворачивании формы и ее легком потряхивании.

Несмотря на простоту и доступность технологии производства снеговодяных блоков, ее характеризуют два недостатка – продолжительность

замерзания и необходимость использования воды. Кроме того, желательно дополнительное снижение трудоемкости, повышение производительности и улучшение теплозащитных характеристик.

Как известно, у североамериканских индейцев для строительства временного жилья ранее широко использовались снеговые блоки, выпиленные из естественно уплотненного снежного покрова. Однако, прочность таких блоков очень низкая и составляет 0,5–0,8 МПа [1–3].

Значительное повышение прочности снеговых блоков можно обеспечить при внешнем армировании подтрамбованного снега даже мягкими оболочками, изготовленными из полимерных тканей, например полипропиленовых, с достаточно высокой прочностью [13]. Осуществляется это следующим образом. Мягкую оболочку, например мешкотару, помещают в деревянную прямоугольную форму и, периодически подтрамбовывая, заполняют снегом, закупоривают (завязывают горловину), извлекают из формы и получают готовый строительный блок, который можно сразу укладывать в стену строящегося сооружения.



Рис. 1. Макеты стеновых конструкций из снеговодяных (справа) и снеговодяных с добавкой опилок (слева) блоков.

Fig. 1. Models of wall structures made of snow-water (right) and snow-water (left) blocks with the addition of sawdust.



Рис. 2. Общий вид макета одноэтажного сооружения.

Fig. 2. General view of the layout of a one-story building.

Герметизация стыков блоков при этом может осуществляться незамерзшей снеговодяной смесью. При завершении зимнего сезона остатки подтаявшего снега и талой воды из оболочки удаляются, и после сушки она может в следующий сезон использоваться повторно.

Теплозащитные свойства такого рода ограждений определяются теплопроводностью уплотненного снега, составляющей около $0,4 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$, что значительно ниже, чем у ледовых и снеговодяных материалов.

Для проведения испытаний были изготовлены внешнеармированные снеговые блоки размерами $250 \times 300 \times 600 \text{ мм}$, из которых построен макет одноэтажного здания площадью $4,2 \times 3 \text{ м}$ с высотой $2,3 \text{ м}$ и внутренним объемом 30 м^3 (рис. 2). Толщина стен – $0,6 \text{ м}$, толщина потолка – $0,25 \text{ м}$, перекрытие потолка – сосновые доски толщиной 40 мм . Сооружение было построено на грунтовом основании, теплозащита которого не предусматривалась. Отопление макета осуществлялось обогревателем ГИИ-3,65 «Сибирячка» с номинальной тепловой мощностью 3650 Вт .

Проведенные испытания показали следующее. При температуре окружающего воздуха и начальной температуре внутри помещения -40°C и включении обогревателя через 6 ч температура в сооружении стабилизируется и достигает под потолком $9-10^\circ\text{C}$, в метре от пола 7°C , на поверхности пола -8°C . По результатам испытаний в дальнейшем рекомендуется усиление теплозащиты потолочного перекрытия или увеличение мощности нагревательного оборудования.

Прочность внешнеармированных снеговых блоков достаточна для строительства одноэтаж-

ных сооружений. За время испытаний с начала декабря по апрель не выявлено ни одного дефектного блока с нарушением внешней армировки. С течением времени при воздействии постоянной нагрузки наблюдается постепенное проседание и некоторое уменьшение высоты сооружения вследствие уплотнения снега в блоках.

Дополнительно проведенные эксперименты по исследованию деформативности снеговых блоков при воздействии постоянной нагрузки показали следующее. При нагрузках $91,2 \text{ кг}$ и 190 кг на поверхность блока площадью 1800 см^2 уменьшение высоты блока наблюдается в течение одной недели и затем прекращается. Величины уменьшения высоты составляют 2 мм и 4 мм . При среднем весе одного блока 16 кг указанные нагрузки соответствуют стенам высотой $1,4 \text{ м}$ и $2,9 \text{ м}$.

Фактическое значение усадки макета по высоте в процессе 5 месяцев испытаний составило 25 мм , что вполне согласуется с результатами эксперимента с учетом понижения нагрузки в выше расположенных блоках. По результатам испытаний на широте г. Якутск эксплуатация сооружения из внешнеармированных снеговых блоков возможна до середины апреля. Севернее, на более высоких широтах, эксплуатация может быть продлена до мая.

Обсуждение

Ледяные блоки являются одним из наиболее дешевых материалов для строительства временных сооружений в северных и арктических условиях, но их извлечение из ледовых покровов водоемов является весьма трудоемким процессом и осложняется необходимостью обеспечения необходимой размерной точности. Замораживание воды в формах характеризуется продолжительностью замерзания воды, сложностью извлечения блока при его примерзании к поверхности формы и возможностью ее разрушения из-за объемного расширения при ледообразовании. При этом ледяные блоки имеют достаточно высокую теплопроводность, которая может быть снижена за счет введения теплоизоляционных наполнителей, которые одновременно будут являться армирующими компонентами.

Однако, изготовление ледяных блоков путем замораживания смеси воды с армирующими и теплоизоляционными элементами затрудняется сложностью обеспечения равномерного распределения в объеме льда армирующих компонентов, связанной с всплыванием веществ с низким

удельным весом на поверхность воды и погружением на дно формы армирующих ингредиентов с плотностью более плотности воды. Технология изготовления ледяных блоков значительно упрощается при использовании в качестве сырья снеговодяных смесей [12]. Так, применение в качестве матрицы снеговодяной смеси, характеризующейся высокой вязкостью, может обеспечить равномерное распределение армирующих компонентов в объеме.

Несмотря на определенные преимущества, в том числе обеспечение достаточной прочности и существенное улучшение теплозащитных свойств (снижение коэффициента теплопроводности льда от 2,2–3,5 Вт/(м·°С) до 0,5–1,5 Вт/(м·°С) у снеговодяных с добавками древесных опилок), технология получения таких блоков остается достаточно сложной. В основном это касается необходимости доставки в арктические районы древесных опилок и трудоемкости смешения их со снегом и водой.

Наиболее рациональной из рассмотренных, на взгляд авторов, является технология изготовления внешнеармированных строительных блоков из подтрамбованного снега. Теплопроводность уплотненного снега составляет 0,4 Вт/(м·°С), что значительно ниже, чем у ледовых и снеговодяных смесей с древесными опилками. Для внешней армировки целесообразно использовать полипропиленовую техническую ткань или применять готовую мешкотару, выпускаемую по ГОСТ 32522-2013 [19].

Изготовление внешнеармированных снеговых блоков не требует никакого специального технологического оборудования и может быть освоено неквалифицированным техническим персоналом. Согласно опыту, полученному при сооружении экспериментального объекта, одним работником за рабочий день возможно изготовление до 5 м³ строительных блоков. Такая производительность является достаточно высокой и может обеспечить оперативное строительство необходимых временных сооружений – утепленных гаражей, складов, капониров и других необходимых объектов.

Следует отметить, что применение «мокрого» снега (по терминологии В.Л. Серошевского [20]) для повышения эффективности теплозащиты жилья и сельскохозяйственных построек использовалось якутами издревле. Такая же информация известна из трудов Р.К. Маака [21], где «мокрый» снег в те же времена использовался в виде обмазки, наносимой на внешние стены.

В настоящее время возможно возвращение к давно забытым технологическим решениям, но по новым технологическим принципам.

Выводы

1. Разработана технология производства снеговодяных мелкоштучных строительных материалов, включающая подготовку смеси воды и снега в формах, выемку отформованных изделий и замораживание в свободном состоянии. Наиболее оптимальным является состав, содержащий в одинаковых по массе количествах воду и снег, обеспечивающий прочность при сжатии 6,4 МПа с коэффициентом теплопроводности 1,38 Вт/(м·°С). Показана возможность добавки в снеговодяную смесь дополнительных ингредиентов для понижения теплопроводности и улучшения теплозащитных свойств. При добавке древесных опилок возможно снижение теплопроводности в 2–2,5 раза, интенсивность таяния таких блоков в весенний период повышается.

2. Разработана технология производства блоков из утрамбованного снега, отличающаяся тем, что снег уплотняют в помещенной в форму мягкой оболочке, создающей его внешнюю армировку. Прочность внешнеармированных снеговых блоков достаточна для строительства одноэтажных зданий и сооружений. Теплопроводность понижается до 0,4 Вт/(м·°С).

3. Натурные испытания макетов стеновых сооружений и одноэтажного здания, изготовленных из замороженных снеговодяных блоков и блоков из уплотненного внешнеармированного снега, позволяют рекомендовать их для строительства временных зданий и сооружений в арктических условиях.

Список литературы / References

1. Войтковский К.Ф. *Механические свойства льда*. М.: Изд-во АН СССР; 1960. 100 с.
[Voytkovskiy K.F. *Mechanical properties of ice*. Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1960. 100 p. (In Russ.)]
2. Войтковский К.Ф. Реология льда и снега. *Тр. Первого Всесоюзного симпозиума по реологии грунтов*. Ереван: Изд-во Ереван. ун-та; 1973. 292 с.
[Voytkovskiy K.F. Rheology of ice and snow. *Tr. Perвого Vsesoyuznogo simpoziuma po reologii gruntov*. Yerevan: Izd-vo Yerevan. un-ta; 1973. 292 p. (In Russ.)]
3. Войтковский К.Ф. *Механические свойства снега*. М.: Наука; 1977. 126 с.
[Voytkovskiy K.F. *Mechanical properties of ice*. Moscow: Nauka; 1977. 126 p. (In Russ.)]
4. Песчанский И.С. *Ледоведение и ледотехника*. Л.: Гидрометеиздат; 1975. 461 с.

[Peschanskiy I.S. *Ice science and ice engineering*. Leningrad: Gidrometeoizdat; 1975. 461 p. (In Russ.)]

5. Савельев Б.А. *Строение, состав и свойства ледяного покрова морских и пресных водоемов*. М.: Изд-во МГУ; 1963. 541 с.

[Savelev B.A. *Structure, composition and properties of the ice cover of marine and freshwater reservoirs*. Moscow: Izd-vo MGU; 1963. 541 p. (In Russ.)]

6. Васильев Н.К. Льдокомпозиаты, их свойства и технология получения. *Изв. ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева*. 1994;228:28–36.

[Vasilev N.K. Ice composites, their properties and production technology. *Proceedings of the VNIIG*. 1994; 228:28–36. (In Russ.)]

7. АС № 1600406 СССР МКИ E02B7/06. Способ возведения грунтовой плотины мерзлого типа / Васильев Н.К., Разговорова Е.Л., Шаталина И.Н., Портнягин Л.Г., Сидоров М.П. № 4616750 заявл. 05.12.88; зарегистр. 15.06.90.

[АС № 1600406 USSR MКИ E02B7/06. Method of a frozen-type soil dam construction. Vasilev N.K., Razgovorova Ye.L., Shatalina I.N., Portnyagin L.G., Sidorov M.P. № 4616750 appl. 05.12.88; registr. 15.06.90. (In Russ.)]

8. Способ изготовления водонепроницаемого экрана в низкотемпературных грунтовых материалах элементов гидротехнического сооружения: пат. 2276703 Рос. Федерация: E02B3/16/ Алтунина Л.К., Кувшинов В.А., Стасьева Л.А., Долгих С.Н., Мельник Г.А.; заявитель и патентообладатель Акционерная компания «АЛРОСА» (закрытое акционерное общество) (АК «АЛРОСА» (ЗАО) (RU), Институт химии нефти СО РАН (ИХН СО РАН) (RU). № 2004131314/03; заявл. 25.10.2014, опубл. 20.05.2006 Бюл. № 14.

[Method for water-tight screen forming in low-temperature ground substance of hydraulic structure members: pat. 2276703 Russian Federation: E02B3/16/ Altunina L.K., Kuvshinov V.A., Staseva L.A., Dolgikh S.N., Melnik G.A.; zayavitel i patentoobladatel Aktsionernaya kompaniya “ALROSA” (zakrytoe aktsionernoe obshchestvo) (AK “ALROSA” (ZAO) (RU), Institut khimii nefi SO RAN (IKhN SO RAN) (RU). - № 2004131314/03; appl. 25.10.2014, publ. 20.05.2006 Bul. № 14. (In Russ.)]

9. Бузник В.М., Ландик Д.Н., Ерасов В.С., Нужный Г.А., Черепанин Р.П., Новиков М.М., Гончарова Г.Ю., Разомасов Н.Д., Разомасова Т.С., Устюгова Т.Г. Физико-механические свойства композиционных материалов на основе ледяной матрицы. *Материаловедение*. 2017;2:33–40.

[Buznik V.M., Landik D.N., Yerasov V.S., Nuzhnyy G.A., Cherepanin R.P., Novikov M.M., Goncharova G.Yu., Razomasov N.D., Razomasova T.S., Ustyugova T.G. Physical-mechanical properties of ice matrix based composite materials. *Materialovedenie*. 2017;2: 33–40. (In Russ.)]

10. Черепанин Р.П., Нужный Г.А., Разомасов Н.А., Гончарова Г.Ю., Бузник В.М. Физико-механические свойства ледяных композиционных материалов, ар-

мированных волокнами РУСАР-С. *Материаловедение*. 2017;7:38–44.

[Cherepanin R.P., Nuzhnyy G.A., Razomasov N.A., Goncharova G.Yu., Buznik V.M. Physical-mechanical properties of glacial composite materials reinforced by RUSAR-S fibers. *Materialovedenie*. 2017;7:38–44. (In Russ.)]

11. Сыромятникова А.С., Алексеева А.В. Армирование композиционных материалов на основе пресного льда наполнителями природного происхождения. *EURASTRENCOLD-2018: Тр. VIII Евразийского симпозиума по проблемам прочности материалов и машин для регионов холодного климата, посвященные 80-летию академика В.П. Ларионова*. Якутск: 2018;402–407.

[Syromyatnikova A.S., Alekseeva A.V. Reinforcing of composite materials based of fresh ice, using natural origin fillers. *EURASTRENCOLD-2018: Tr. VIII Yevraziyskogo simpoziuma po problemam prochnosti materialov i mashin dlya regionov kholodnogo klimata, posvyashchennye 80-letiyu akademika V.P. Larionova*. Yakutsk, 2018:402–407. (In Russ.)]

12. ГОСТ 23732-2011 Вода для бетонов и строительных растворов. М.: 2019; 16 с.

[GOST 23732-2011 Water for concrete and mortar. Moscow: 2019; 16 p. (In Russ.)]

13. ГОСТ 8462-85 Материалы стеновые. Методы определения пределов прочности при сжатии и изгибе. М.: 7 с.

[GOST 8462-85 Wall materials. Methods for determining compressive and bending strength limits. Moscow: 7 p. (In Russ.)]

14. ГОСТ 7076-99 Материалы и изделия строительные. Метод определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном режиме. М.: 27 с.

[GOST 7076-99 Construction materials and products. Method for determining thermal conductivity and thermal resistance in stationary mode. Moscow; 27 p. (In Russ.)]

15. ГОСТ 503-2012 Кирпич и камень керамические. Общие технические условия. М.: 2012; 31 с.

[GOST 503-2012 Brick and stone are ceramic. General technical conditions. Moscow: 2012; 31 p. (In Russ.)]

16. ГОСТ 21520-89 Блоки из ячеистых бетонов стеновые мелкие. Технические условия. М.: 1990; 7 с.

[GOST 21520-89 Blocks of cellular concrete wall small. Technical conditions. Moscow: 1990; 7 p. (In Russ.)]

17. Способ изготовления блочного (мелкоштучного) строительного материала из снега: пат. 2714543 Рос. Федерация E04B 1/00, E04C 2/54 / Андреева А.В., Бочкарев В.Н., Буренина О.Н., Новгородов В.А., Попов С.Н., Саввинова М.Е., Слепцов С.Г.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». № 2018144885; заявл. 17.12.2018, опубл. 18.02.2020 Бюл. № 5.

[Method of making block (small-piece) construction material from snow: pat. 2714543 Russian Federation E04B 1/00, E04C 2/54 / Andreeva A.V., Bochkarev V.N., Burenina O.N., Novgorodov V.A., Popov S.N., Savvinova M.Ye., Sleptsov S.G.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». № 2018144885; appl. 17.12.2018, publ. 18.02.2020 Bul. № 5. (In Russ.)]

18. Способ изготовления блочного (мелкоштучного) строительного материала на ледяной основе: пат. 2685386 Рос. Федерация: E04B 1/00, E04C 2/54 / Андреева А.В., Буренина О.Н., Даваасенгэ С.С., Давыдова Н.Н., Попов С.Н., Саввинова М.Е.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». № 2018107523; заявл. 28.02.2018, опубл. 17.04.2019. Бюлл. № 11.

[Method of manufacturing block (small piece) construction material on ice basis. pat. 2685386 Russian Federation: E04B 1/00, E04C 2/54 / Andreeva A.V., Burenina O.N., Davaasenge S.S., Davydova N.N., Popov S.N., Savvinova M.Ye.; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Федеральный исследовательский центр «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук». № 2018107523; appl. 28.02.2018, publ. 17.04.2019. Bull. № 11. (In Russ.)]

19. ГОСТ 32522-2013 Мешки тканые полипропиленовые. Общие технические условия. М., 2019. 22 с.

[GOST 32522-2013 Woven polypropylene bags. General technical conditions. Moscow, 2019. 22 p. (In Russ.)]

20. Серошевский В.Л. Якуты. Опыт этнографического исследования. М.; 1993. 736 с.

[Seroshevskiy V.L. Yakuty. Opyt etnograficheskogo issledovaniya. Moscow; 1993. 736 p. (In Russ.)]

21. Маак Р.К. Вилюйский округ. М., Яна; 1994. 592 с.

[Maak R.K. Vilyuyskiy okrug. Moscow, Yana; 1994. 592 p. (In Russ.)]

Об авторах

ПОПОВ Савва Николаевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-3187-2632>, Researcher ID: A-5245-2014, e-mail: savvapopov49@mail.ru

БУРЕНИНА Ольга Николаевна, ведущий научный сотрудник, кандидат технических наук, <https://orcid.org/0000-0003-1712-6892>, Researcher ID: A-6446-2014, e-mail: bon.ipng@mail.ru

АНДРЕЕВА Айталина Валентиновна, младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-0890-531X>, Researcher ID: D-6053-2014, e-mail: aita1973@mail.ru

САВВИНОВА Мария Евгеньевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-2793-2014>, Researcher ID: D-4605-2014, maria_svv@yandex.ru

Аффилиация

Институт проблем нефти и газа Сибирского отделения РАН, 677007, г. Якутск, Автодорожная, 20, Российская Федерация.

About the authors

POPOV, Savva Nikolaevich, Dr. Sci. (Engineering), Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-3187-2632>, Researcher ID: A-5245-2014, e-mail: savvapopov49@mail.ru

BURENINA, Olga Nikolaevna, Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher, <https://orcid.org/0000-0003-1712-6892>, Researcher ID: A-6446-2014, e-mail: bon.ipng@mail.ru

ANDREEVA, Aytalina Valentinovna, Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-0890-531X>, Researcher ID: D-6053-2014, e-mail: aita1973@mail.ru

SAVVINOVA, Mariya Evgenyevna, Cand. Sci. (Engineering), Senior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-2793-2014>, Researcher ID: D-4605-2014, e-mail: maria_svv@yandex.ru

Affiliation

Institute of Oil and Gas Problems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 20 Avto-dorozhnaya str., Yakutsk 677007, Russian Federation

Поступила в редакцию / Submitted 21.04.2022

Поступила после рецензирования / Revised 26.05.2022

Принята к публикации / Accepted 08.06.2022