

УДК: 551.345  
DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-6-21-28

## КРИОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ПРОМЕРЗАЮЩЕМ СЕЗОННО-ТАЛОМ СЛОЕ ДИСПЕРСНЫХ МНОГОЛЕТНЕМЁРЗЛЫХ ПОРОД В ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЯХ ЮГА ЗАБАЙКАЛЬЯ

### CRYOGENESIS OF SEASONALLY THAWING FINE-GRAINED DEPOSITS IN THE CONDITIONS OF THE SOUTHERN PART OF THE TRANSBAIKAL CRYOLITHOZONE

И. И. Железняк, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита  
lgc255@mail.ru

I. Zheleznyak, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita



Актуальность работы связана с исследованиями влияния климата на температурно-влажностный режим и вызываемые им криогенные процессы при промерзании сезонно-тального слоя (СТС) многолетнемёрзлых тонкодисперсных пород в зимний период. Получены объективные знания о закономерностях и особенностях формирования температурно-влажностного режима, криогенного строения и текстуры сезонно-тального слоя пород в процессе его промерзания в зимний период года. Исследованы температурный и влажностный режимы СТС, формирование в нём криогенных текстур под влиянием перераспределения поровой воды в процессе промерзания и льдообразования. Методология исследования предусматривает синхронные натурные измерения температуры, влажности и глубины промерзания пород и изучение связанного с ними формирования криогенного строения послойно промерзающего сезонно-тального слоя пород. Приведены сведения о температурном и влажностном режимах, мощности сезонно-тального слоя высокотемпературных многолетнемёрзлых массивов тонкодисперсных горных пород островного распространения в Центральном Забайкалье. Даны характеристика криогенного строения пород СТС. Представлены сведения о криогенезе при промерзании массивов СТС: показатели промерзания и оттаивания, перераспределения поровой воды, формирования и трансформации криогенных текстур в промёрзшем слое пород и в подстилающем его высокотемпературном многолетнемёрзлом массиве. Приведены результаты экспериментальных полевых исследований и теоретическое обоснование зависимости криогенеза СТС от температуры и влажности атмосферного воздуха. Показаны особенности криогенеза в промерзающем сезонно-тalom слое массива тонкодисперсных горных пород, связанные с их сублимационным иссушением в условиях повышения отрицательной температуры воздуха в весенний период года. Показано влияние гигроскопического атмосферного воздуха на тепло-массообмен в промёрзшем в зимний период сезонно-талом слое пород, сопровождающееся послойной трансформацией криогенных текстур, в том числе в слое, подстилающем кровлю многолетнемёрзлой толщи

**Ключевые слова:** тонкодисперсные горные породы; поры; промерзание; оттаивание; криогенная миграция; вода; лёд; влажность; криогенная текстура

Information is given on the temperature and humidity regime, the depth of seasonal freezing and thawing of permafrost in natural conditions of the southern part of the Transbaikal cryolithozone. A characteristic of the cryogenic state of deep freezing seasonally thawed rocks is given. The analysis of the regularities of cryogenesis during the freezing of seasonally thawed fine-dispersed rocks: dynamics of freezing and thawing, redistribution of pore water, formation, transformation and degradation of cryogenic textures in the frozen layer of rocks and in the underlying permafrost top are presented. The results of experimental field investigations and theoretical justification of the deep seasonal freezing dependence of the seasonally thawed layer of a massif of fine-dispersed permafrost rocks on the complex of physical and geographic conditions in the south of Transbaikalia including moisture deficiency, wind activity and turbulence of the atmosphere near the earth's surface, barometric pressure and diffusion of gases, and open frost cracks, high surface porosity of the massif. The nature of cryogenesis

in the frozen seasonally thawed layer of an array of fine-dispersed permafrost rocks due to their convective heat exchange with the atmosphere, whose role and contribution to the process of cryogenesis in qualitative and quantitative aspects of research has not yet been properly evaluated by experts

**Key words:** fine-dispersed rocks; pores; freezing; thawing; cryogenic migration; water; ice; moisture; cryogenic texture

**В**ведение. Физико-географические условия территории юга Забайкалья отличаются от физико-географических условий территорий Арктики и севера Субарктики. Главным отличием является резко континентальный тип климата, обладающий индивидуальными особенностями атмосферных процессов и явлений [6]. Они влияют на характер криогенных процессов и явлений в массивах осадочных высокотемпературных многолетнемёрзлых пород (ММП) островного залегания, а также существенно сказываются на состоянии и фазовых переходах поровой воды, текстурообразовании в СТС и в слое ниже кровли ММП. Поэтому некоторые результаты исследований криогенеза в СТС, полученные в условиях Арктики и севера Субарктики, нельзя считать аналогичными для условий юга криолитозоны, в частности Забайкалья.

Главным образом это объясняется глубоким сезонным оттаиванием ММП в тёплый период года и последующим промерзанием СТС в холодный период года. Глубина такого оттаивания и промерзания варьирует в диапазоне 3...4 м в зависимости от суровости климата в каждом конкретном годовом цикле оттаивания-промерзания. Поэтому в условиях юга криолитозоны криогенные процессы в СТС протекают более длительно и с меньшей интенсивностью, чем в арктических и северо-субарктических условиях, что явно определяет их типичные особенности и закономерности.

Известны различные представления о механизмах перераспределения воды в порах промерзающих тонкодисперсных горных пород СТС и формирования в них криогенной текстуры, основанные главным образом на результатах лабораторного изучения образцов и натурных наблюдений в криолитозоне Арктики и северных регионах Субарктики [3; 7; 14; 15]. Однако формирование криогенных текстур в результате миграции поровой воды в СТС большой мощности, обусловленной резко континентальным климатом юга Забайкалья, до сих пор изучено не полностью [11; 16].

Основной причиной недостаточной изученности криогенеза в СТС большой мощности в тонкодисперсных породах является то, что не учитывается наличие и состояние переохлаждённой воды в порах малых размеров. По этой причине фазовый переход вода-лед сдвинут в сторону более низких температур. Следует учитывать, что свойства переохлаждённой воды отличаются от свойств воды при положительной температуре [2; 13], что, в свою очередь, оказывает влияние на неравномерность и интенсивность процессов, происходящих в мерзлых горных породах: криогенную миграцию, льдообразование, а также на текстуру и морозное пучение промерзающего СТС.

Результаты исследований криогенного перераспределения поровой воды и текстурообразования в СТС в условиях Арктики и севера Субарктики приведены в работе Е. А. Вториной [3]. Однако в условиях юга Забайкалья перераспределение поровой воды и текстурообразование в СТС при отсутствии подземных вод над кровлей высокотемпературной многолетнемёрзлой толщи имеет ряд специфических отличий, изученных не полно.

В хозяйственной деятельности в первую очередь интенсивно используются массивы тонкодисперсных горных пород, непосредственно контактирующие с атмосферой, претерпевающие в результате этого существенную трансформацию своего криогенного строения, состава и свойств. Поэтому знания о криогенных процессах и явлениях при промерзании таких массивов представляются актуальными в теоретическом и практическом аспектах: в горном деле при производстве вскрышных работ, при оценке устойчивости элементов системы разработки месторождений полезных ископаемых, в строительстве при производстве земляных работ, при проектировании оснований и фундаментов зданий и сооружений на пучинистых и оттаивающих грунтах, в сельском хозяйстве и мелиорации. Аналогичные криогенные процессы проявляются на сопредельных с Забайкальским краем терри-

ториях Китая [19] и Монголии [17], а также в Северной Америке [18].

**Результаты исследования.** Исследовались СТС островных высокотемпературных многолетнемёрзлых горных пород первой и второй надпойменных террас р. Ингоды в пределах Читино-Ингодинской депрессии, представленные современным комплексом аллювиально-делювиальных и пролювиальных отложений мощностью до 5 м, сложенных суглинками, супесями с дресвыми и песчаными включениями.

Многолетние натурные наблюдения и измерения температуры, влажности, глубины промерзания СТС, а также послойное изучение текстур промёрзших отложений проводились в 1978–1982 гг. ежемесячно в течение всего времени сезонного промерзания на опытных полигонах, расположенных на западной окраине г. Чита, свободной от застройки. В апреле-мае 1989–1991 гг. и в 1996 г. проводились дополнительные наблюдения за температурным режимом и криогенным строением промерзающего СТС. В 2002 г. территории расположения полигонов были застроены, что не позволило проводить дальнейшие наблюдения.

Показатели физических свойств изучаемых массивов определялись по образцам пород, отбираемым методом колонкового бурения через каждые 0,5 м от поверхности до глубины залегания кровли многолетнемёрзлых пород на отметке 3,5 м и ниже неё в интервале глубин 3,5...6,0 м. Температурные наблюдения осуществлялись в термометрических скважинах глубиной 5,5...6,0 м.

По данным справочной литературы, промерзание СТС на всей территории юга криолитозоны Забайкалья начинается почти одновременно в течение 6...8 дней во второй-третьей декадах октября. Интенсивному промерзанию горных пород способствуют предзимняя иссушенность и малая мощность почвенного слоя, отсутствие снежного покрова, который появляется значительно позже, в конце октября – начале ноября. К концу декабря – середине января отрицательная температура устанавливается по всей глубине сезоннооттаивающего слоя (мощность СТС достигает 2,5...3,0 м), и лишь в слое над кровлей многолетнемёрзлых пород она имеет нулевое значение.

Установлено, что дальнейшее понижение температуры на поверхности земли

сопровождается понижением температуры в промёрзшем СТС, который к марта полностью переходит в твердомерзлое состояние. При этом температура массива СТС на глубинах 3,5...4,0 м понижается до -3,0...3,2 °C.

Промерзание пород СТС в период с ноября по январь сопровождается понижением отрицательной температуры. В феврале и марте температура пород продолжает интенсивно понижаться и на глубинах ниже кровли многолетнемерзлого массива: на глубине 3,5 м – на -2 °C, на глубине 4,5 м – на -1 °C. С глубиной понижение температуры затухает.

Незначительное оттаивание пород с поверхности земли наблюдается в мае. В это время на глубине 0,5 м температура повышается до 0,5...1,0 °C, достигая к июню 4 °C. Максимальная температура на этой глубине 7...8 °C отмечается в августе. В сентябре-октябре она понижается на 4...5 °C. В ноябре температура пород на глубине 0,5 м отрицательная.

Влажность СТС в процессе промерзания и оттаивания изменяется в результате перераспределения и фазовых переходов поровой воды в лёд и обратно за счёт её криогенной миграции к фронту промерзания, а также за счёт инфильтрации в оттаявшем слое.

В начале периода промерзания (октябрь-ноябрь) характерно нарастание влагосодержания в слое над поверхностью массива многолетнемёрзлых горных пород СТС на 0,02...0,05 д. е. В ходе промерзания вода в порах перераспределяется не только в пределах СТС, но и ниже кровли подстилающего массива высокотемпературных многолетнемёрзлых горных пород. В начальный период промерзания наблюдается повышение влажности пород на 0,15...0,2 д. е. в средней части сезоннооттаивающего слоя на глубине 1...2 м и ее уменьшение на 0,04...0,10 д. е. на глубине 2...2,5-3 м (рис. 1).

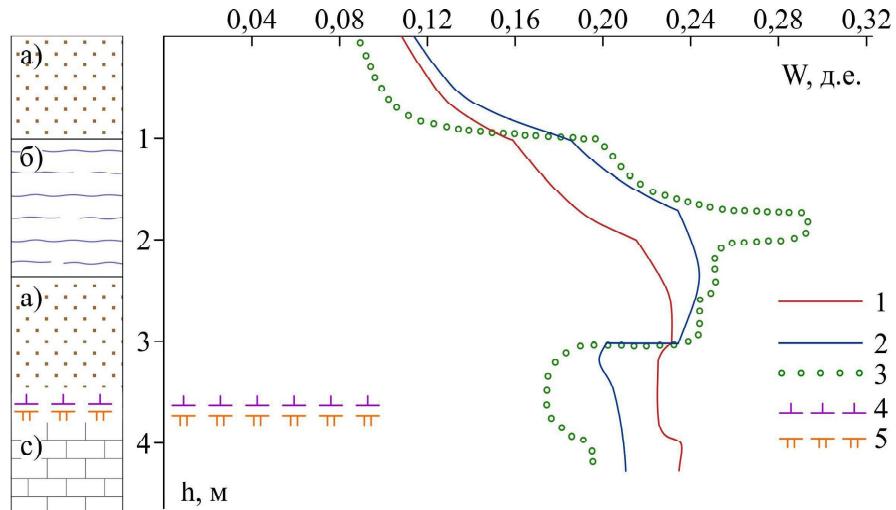
В результате в промерзшем СТС выделяются сверху вниз три зоны: верхняя и нижняя слабовлажные и расположенная между ними средняя-влажная. Причиной такого перераспределения поровой воды являются предзимняя иссушенность верхнего слоя и ее миграция из слоя над кровлей ММП вверх, к фронту сезонного промерзания.

Схема формирования криогенного строения СТС в условиях юга криолитозоны Забайкалья представлена типичной картиной распределения криогенных текстур в зави-

симости от распределения влажности по глубине слоя горных пород, промёрзшего в зимний период (рис. 1).

В конце февраля в слое зимнего промерзания выделяются криогенные текстуры:

массивная – в верхней части; часто слоистая, переходящая в редко слоистую – в средней части; массивная, переходящая в часто слоистую над кровлей ММП.



*Рис. 1. Переопределение поровой воды ( $W$ , д. е. – доли единицы) в промерзающем суглинке с распределением криогенных текстур по глубине ( $h$ , м). Осреднённые кривые распределения поровой воды: 1 – предзимнее; 2 – зимнее; 3 – весенне; границы: 4 – сезонного промерзания; 5 – под кровлей многолетнемерзлых пород. Текстура суглинка: а) массивная; б) слоистая; в) ячеистая / Fig. 1. Redistribution of pore water ( $W$ , f. u. – fraction of a unit) in freezing loam with distribution of cryogenic textures by depth ( $h$ , m). Averaged pore water distribution curves: 1 – before winter; 2 – winter; 3 – spring; borders: 4 – seasonal freezing; 5 – under the roof of permafrost. The loam texture is а) massive; b) layered; c) cellular*

При последующем охлаждении массивов этих пород после их промерзания криогенное строение перечисленных слоев преобразуется и к концу весны выглядит следующим образом (сверху вниз): массивная криогенная текстура, переходящая в слоистую или ячеистую текстуру, ниже – криогенная текстура массивная. Над кровлей ММП нередко отмечаются прослойки мощностью 20...30 см с мелкосетчатой или часто слоистой текстурой. В верхней части среднего слоя СТС со слоистой или ячеистой текстурой толщина ледяных шлиров достигает 1 мм, размеры ячеек сетчатой текстуры составляют в основном 0,3...0,8 см, а в нижней – 1,0...1,5 см. Характерно, что в верхнем слое ММП ниже кровли отмечается часто слоистая или ячеистая текстура с толщиной ледяных шлиров до 2...3 мм. Вид криотекстуры в слое ниже кровли многолетнемёрзлых тонкодисперсных горных пород показан на рис. 2.

*Обсуждение результатов исследований.* Полученные экспериментальным путём ре-

зультаты натурных наблюдений сезонного промерзания и изменения влажности отложений СТС позволяют достаточно корректно и объективно проанализировать и оценить условия, факторы и особенности криогенеза СТС.

Обращает на себя внимание существенное влияние на температурно-влажностный режим и криогенное строение пород СТС процесса весеннего иссушения верхнего промёрзшего за зиму слоя, по времени совпадающее с повышением отрицательной температуры поверхности СТС и ростом гигроскопичности атмосферного воздуха [12]. Это соответствует результатам экспериментальных лабораторных исследований по изучению сублимации в дисперсных мёрзлых породах [5].

Показательно, что в весенний период в Забайкалье отмечается интенсивный рост дефицита влажности атмосферы (относительная влажность воздуха падает от 0,85 до 0,09 в полуденные часы суток), активизация ветра с порывами до 10...12 м/с, измене-

ние барометрического давления, отсутствие снежного покрова, что типично для резко континентального климата юга Забайкалья [6]. Одновременно увеличиваются амплитуды суточных колебаний отрицательной температуры воздуха, достигающие 20...25 °С. Сочетание названных факторов создаёт благоприятные условия для интенсивного проникновения гигроскопичного атмосферного воздуха вглубь массива горных пород через поверхностные и связанные с ними сквозные поры. При этом, как показывают результаты исследований, колебания барометрического давления вызывают объёмный воздухообмен массива горных пород с приземным слоем воздуха на глубину до 1,5...2,0 м [4; 16]. Всё это даёт основание полагать, что сублимация порового льда в верхнем слое СТС, затраты тепла на которую более чем в восемь раз больше затрат тепла на кристаллизацию поровой воды при её замерзании или оттаивании порового льда, в весенний период дополнительно охлаждает промёрзший за зиму массив тонкодисперсных льдонасыщенных горных пород. Таким образом, действие сублимационного механизма тепломассообмена верхних слоёв СТС с приземным слоем воздуха обеспечивает дополнительное весеннее промерзание в нижней части СТС.



Рис. 2. Фрагмент ячеистой текстуры в слое ниже кровли многолетнемёрзлого массива: 1 – суглинок; 2 – лёд / Fig. 2. Fragment of cellular texture in the layer below the roof of the permafrost array: 1 – loam; 2 – ice

Основываясь на результатах исследований, приведённых в указанной ранее специальной литературе, можно констатировать, что сублимационный механизм тепломассообмена сезонно-мёрзлых горных пород с высоким гигроскопическим приземным слоем

воздуха приводит к образованию в верхних слоях СТС дополнительного источника холода гигрогенной природы.

В теплофизическом аспекте, в отличие от атмогенного источника холода (воздуха с отрицательной зимней температурой), влияние гигрогенного источника холода на промерзание СТС и связь с криогенными процессами в нём изучены неудовлетворительно [5; 14]. Здесь в качестве гигрогенного источника холода выступает сухой атмосферный воздух – тело повышенной гигроскопичности, в контакте с которым пористые влагосодержащие тела охлаждаются.

Очевидно, что установленный экспериментально факт преобразования слоистой криогенной текстуры в сетчатую в СТС в подстилающем иссушаемый сублимацией порового льда слое пород соответствует фундаментальным законам молекулярной физики [9; 10].

Факт перехода молекул вещества из дисперсной среды в паровоздушную на горизонте сублимации (в слое до 0,5...0,7 м от поверхности СТС) говорит о том, что места, которые они занимали прежде, должны занять другие молекулы, расположенные, естественно, в подстилающем слое пород. Однако переход их в верхний слой вызывает аналогичный процесс в молекулярных ярусах нижележащих слоёв [9], расположенных глубже иссушающегося слоя.

Результаты исследований температурного режима, глубины промерзания, распределения слоёв фазовых превращений воды в СТС, его криогенных текстурных особенностей по глубине промёрзшего СТС подтверждаются результатами исследований послойных деформаций морозного пучения промерзающего и осадок оттаивающего СТС, полученных ранее [1; 8; 11]. Величины этих деформаций совпадают с глубинами залегания соответствующих криогенных текстур, временем их образования и развития в сезонных циклах промерзания и оттаивания массивов дисперсных горных пород СТС.

**Выходы.** 1. Криогенез в сезонно промерзающем СТС тонкодисперсных горных пород в природных условиях юга криолитозоны Забайкалья обеспечивается дополнительным охлаждающим влиянием сухого атмосферного воздуха за счёт сублимации порового льда в верхней части СТС мощностью до 1 м в весенний период года. Он происходит

в два последовательных этапа: зимний (ноябрь–февраль), который совпадает с периодом понижения отрицательной температуры атмосферного воздуха, контактирующего с поверхностью пород, а также в весенний (февраль–март–апрель), который совпадает с периодом весеннего повышения температуры поверхности СТС и сублимацией порового льда в его верхнем горизонте.

2. Криогенные текстуры пород СТС, сформировавшиеся в зимний период промерзания СТС, преобразуются в весенний период в другой, более сложный тип за счёт сублимационного иссушения верхнего горизонта СТС и перераспределения незамёрзшей воды, содержащейся в мелких порах слоя пород над кровлей высокотемпературного многолетнемёрзлого массива тонкодисперсных горных пород и нижней границей СТС.

В полностью промёрзшем СТС сливающегося типа от его поверхности к кровле высокотемпературного многолетнемёрзлого массива слои с массивной криотекстурой, переходящей в слоистую или ячеистую текстуру, подстилаются слоем с массивной

криогенной текстурой. Над кровлей ММП неоднократно отмечаются прослойки с мелкосетчатой или часто слоистой текстурой.

3. Криогенное строение слоя пород мощностью до 1,0 м ниже кровли высокотемпературного многолетнемёрзлого массива трансформируется за счёт перераспределения незамёрзшей воды, содержащейся в мелких порах как СТС, так и подстилающего слоя высокотемпературного многолетнемёрзлого массива.

4. Полученные результаты исследований служат основанием для дальнейшего экспериментально-теоретического изучения криогенеза в сезонно промерзающих СТС многолетнемёрзлых пород в природных условиях юга криолитозоны Забайкалья. Они позволяют расширить и углубить представления о природе криогенеза СТС и качество оценки взаимодействия СТС с фундаментами зданий и сооружений и обеспечения их устойчивости в условиях юга криолитозоны Забайкалья на стадии инженерно-геологических изысканий и проектирования объектов промышленного и гражданского строительства.

### Список литературы

1. Александров А. С., Железняк И. И., Мосенкис Ю. М. Инженерное освоение криолитозоны Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1990. 104 с.
2. Бордонский Г. С., Орлов А. О., Щегрина К. А. Диэлектрические потери в переохлаждённой поровой воде на частоте 34 ГГц // Известия вузов. Радиофизика. 2016. Т. 59, № 10. С. 906–915.
3. Втюрина Е. А. Криогенное строение пород сезонно-протаивающего слоя. М.: Наука, 1974. 126 с.
4. Дандарон Д. Ж. Экспериментальное определение коэффициента диффузии паров воды в почве // Почвоведение. 1969. № 10. С. 69–75.
5. Ершов Э. Д., Кучуков Э. З., Комаров И. А. Сублимация льда в дисперсных породах. М.: Изд-во МГУ, 1975. 224 с.
6. Климат Читы / под ред. Ц. А. Швер, И. А. Зильберштейн. Л.: Гидрометеоиздат, 1982. 248 с.
7. Микростроение мёрзлых пород / Э. Д. Ершов, Ю. П. Лебеденко, Е. М. Чувилин [и др.]; под ред. Э. Д. Ершова. М.: Изд-во МГУ, 1988. 181 с.
8. Орлов В. О., Ёлгин Б. Б., Железняк И. И. Морозное пучение грунтов в расчётах оснований сооружений. Новосибирск: Наука, 1987. 133 с.
9. Радченко И. В. Молекулярная физика. М.: Наука, 1965. 479 с.
10. Роде А. А., Романова Г. И. Изменение всасывающего давления в почве в процессе испарения почвенной влаги // Физика, химия, биология и минералогия почв СССР: сборник статей. М.: Наука, 1964. С. 54–61.
11. Сальников П. И. Устойчивость фундаментов зданий на мёрзлых грунтах в Южном Забайкалье. Якутск: ИМЗ СО РАН, 1996. 205 с.
12. Сотников М. В. Условия сезонного промерзания и протаивания грунтов Центрального и Восточного Забайкалья // Строительство в районах Восточной Сибири и Крайнего Севера: сборник научных трудов. Красноярск: Красноярский Промстройпроект, 1972. С. 82–90.
13. Старостин Е. Г., Лебедев М. П. Свойства связанный воды в дисперсных породах. Ч. 1. Вязкость, диэлектрическая проницаемость, плотность, теплоемкость, поверхностное натяжение // Криосфера Земли. 2014. Т. 18, № 3. С. 46–54.
14. Фазовый состав влаги в мёрзлых породах / Э. Д. Ершов, Ю. П. Акимов, В. Г. Чеверёв, Э. З. Кучуков. М.: Изд-во МГУ, 1979. 189 с.

15. Фельдман Г. М. Передвижение влаги в тальных и промерзающих грунтах. Новосибирск: Наука, 1988. 256 с.
16. Шполянская Н. А. Вечная мерзлота Забайкалья. М.: Наука, 1973. 101 с.
17. Kopp B. J., Lange J., Menzel L. Effects of wildfire on runoff generating processes in northern Mongolia // *Regional Environmental Change*. 2017. Vol. 17. P. 1951–1963.
18. Pickler C., Beltrami H., Mareschal J.-C. Climate trends in northern Ontario and Québec from borehole temperature profiles // *Climate of the Past*. 2016. Vol. 12. P. 2215–2227.
19. Wang K., Zhang T., Guo H., Wang H. Climatology of the timing and duration of the near-surface soil freeze-thaw status across China // *Arctic, Antarctic, and Alpine Research*. 2016. Vol. 48. P. 723–738.

**References**

1. Aleksandrov A. S., Zheleznyak I. I., Mosenkis Yu. M. *Inzhenernoe osvoenie kriolitozony Zabaykaliya* (Engineering development of the Transbaikal cryolithozone). Novosibirsk: Science, 1990. 104 p.
2. Bordonsky G. C., Orlov A. O., Schegrina K. A. *Izvestiya vuzov. Radiofizika* (News of the institutions. Radio Physics), 2016, vol. 59, no. 10, pp. 906–915.
3. Vtyurina E. A. *Kriogennoe stroenie porod sezonnno-protaivayushchego sloya* (The cryogenic structure of the rocks of the seasonally thawing layer). Moscow: Science, 1974. 126 p.
4. Dandaron D. Zh. *Pochvovedenie* (Soil Science), 1969, no. 10, pp. 69–75.
5. Ershov E. D., Kuchukov, E. Z., Komarov, I. A. *Sublimatsiya lida v dispersnyh porodah* (Sublimation of ice in dispersed rocks). Moscow: MSU Publishing House, 1975. 224 p.
6. *Klimat Chity* (Climate of Chita) / ed. Ts. A. Schwer, I. A. Zilberstein. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1982. 248 p.
7. *Mikrostroenie myorzlyh porod* (Microstructure of frozen rocks) / E. D. Ershov, Yu. P. Lebedenko, E. M. Chuvilin (ets); ed. E. D. Ershov. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1988. 181 p.
8. Orlov V. O., Elgin B. B., Zheleznyak I. I. *Moroznoe puchenie gruntov v raschyotah osnovaniy sooruzheniy* (Frosty swelling of soils in calculations of the foundations of structures). Novosibirsk: Science, 1987. 133 p.
9. Radchenko I. V. *Molekulyarnaya fizika* (Molecular Physics). Moscow: Science, 1965. 479 p.
10. Rode A. A., Romanova G. I. *Fizika, himiya, biologiya i mineralogiya pochv SSSR: sbornik statey* (Physics, Chemistry, Biology and Mineralogy of the Soils of the USSR: collected articles). Moscow: Science, 1964, pp. 54–61.
11. Salnikov P. I. *Ustoychivost fundamentov zdaniy na myorzlyh gruntah v Yuzhnom Zabaykaliye* (Stability of buildings' foundations on frozen soils in the Southern Transbaikalia). Yakutsk: IMZ SB RAS, 1996. 205 p.
12. Sotnikov M. V. *Stroitelstvo v rayonah Vostochnoy Sibiri i Kraynego Severa: sbornik nauchnyh trudov* (Construction in the regions of Eastern Siberia and the Far North: collected scientific works). Krasnoyarsk: Publishing House of Krasnoyarsk Promstroyiproekt, 1972, pp. 82–90.
13. Starostin E. G., Lebedev M. P. *Kriosfera Zemli* (Earth's Cryosphere), 2014, vol. 18, no. 3, pp. 46–54.
14. Fazovy sostav vlagi v myorzlyh porodah (Phase composition of moisture in frozen rocks) / E. D. Ershov, Yu. P. Akimov, V. G. Cheverev, E. Z. Kuchukov. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1979. 189 p.
15. Feldman G. M. *Peredvizhenie vlagi v talyh i promerzayushih gruntah* (Movement of moisture in thawed and freezing soils). Novosibirsk: Science, 1988. 256 p.
16. Shpolyanskaya N. A. *Vechnaya merzlota Zabaykaliya* (Permafrost of Transbaikalia). Moscow: Science, 1973. 101 p.
17. Kopp B. J., Lange J., Menzel L. *Regional Environmental Change* (Regional Environmental Change), 2017, vol. 17, pp. 1951–1963.
18. Pickler C., Beltrami H., Mareschal J.-C. *Climate of the Past* (Climate of the Past), 2016, vol. 12, pp. 2215–2227.
19. Wang K., Zhang T., Guo H., Wang H. *Arctic, Antarctic, and Alpine Research* (Arctic, Antarctic, and Alpine Research), 2016, vol. 48, pp. 723–738.

**Коротко об авторе****Briefly about the author**

Железняк Илья Иосифович, д-р техн. наук, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, г. Чита, Россия. Область научных интересов: науки о Земле  
lgc255@mail.ru

*Ilya Zheleznyak*, doctor of technical sciences, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia.  
Sphere of scientific interests: Earth Sciences

**Образец цитирования**

---

Железняк И. И. Криогенные процессы в промерзающем сезонно-талом слое дисперсных многолетнемёрзлых пород в природных условиях юга Забайкалья // Вестник Забайкальского государственного университета. 2019. Т. 25. № 6. С. 21–28. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-6-21-28.

Zheleznyak I. Cryogenesis of seasonally thawing fine-grained deposits in the conditions of the southern part of the Transbaikal cryolithozone // Transbaikal State University Journal, 2019, vol. 25, no. 6, pp. 21–28. DOI: 10.21209/2227-9245-2019-25-6-21-28.

Статья поступила в редакцию: 27.05.2019 г.  
Статья принята к публикации: 03.06.2019 г.