

resurs]. Rezhim dostupa: [http://crimea.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/crimea/ru/census\\_and\\_researching/census/crimea\\_census\\_2014/score\\_2010/](http://crimea.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/crimea/ru/census_and_researching/census/crimea_census_2014/score_2010/)

11. Kirillova A.V. Rel'efkakfaktorehsteticheskoprivlekatel'nostilandshafta[Relief as a factor of aesthetic attractiveness of a landscape] // *VestnikUdmurtskogouniversiteta. SeriyaBiologiya. Nauki o Zemle* [Bulletin of Udmurt University. Biology series. Earth Sciences], 2012, no2, pp. 104–108.

12. Kolbovskij E.YU., Medovikova U.A. Rel'yef kak faktor esteticheskoy privilekatel'nosti landshafta [Landscape Aesthetics as a New Direction for Applied Ecological Research] // *Geologiya, geografiya i global'naya ehnergiya* [Geology, geography and global energy], 2016, no1 (60), pp. 40–52.

13. Koroleva E.N. Realizatsiya proyektov blagoustroystva na primere goroda Barnaula kak rezul'tat resheniya osnovnoy problemy razvitiya goroda [Implementation of improvement projects on the example of the city of Barnaul as a result of solving the main problem of the development of the city] // *Ekonomicheskoye razvitiye regiona: upravleniye, innovatsii, podgotovka kadrov* [Economic development of the region: management, innovation, training], 2017, no 4, pp. 160–165.

14. Kochurov B.I., Buchackaya N.V. Otsenka esteticheskogo potentsiala landshaftov [Evaluation of the aesthetic potential of landscapes] // *YUgRossii: ehkologiya, razvitie* [South of Russia: ecology, development], 2007, no 4, pp. 25–33.

15. Krasovskaya T.M. Esteticheskiye funktsii landshaftov: metodicheskkiye priyemy otsenok i sokhraneniya [Aesthetic functions of landscapes: methodological methods of assessment and conservation] // *Geopolitika i ehkogeodinamika regionov* [Geopolitics and Ecogeodynamics of Regions], 2014, vol. 10, no 2 (13), pp. 51–55.

16. Lebedev A.A., Bratkov V.V. Algoritm opredeleniya ploshchadi selitebnykh landshaftov na osnove dannyykh distantsionnogo zondirovaniya (na primere g. Stavropolya) [Algorithm for determining the area of residential landscapes based on remote sensing data (by the example of the city of Stavropol)] // *Izvestiya Dagestanskogo gosudarstvennogo opedagogicheskogouniversiteta. Estestvennye i tochnyye nauki* [News of the Dagestan State Pedagogical University. Natural and exact sciences], 2015, no4 (33), pp. 86–93.

17. Mil'kov F.N. *Chelovek i landshafty: ocherki antropogennogo landshaftovedeniya* [Man and landscapes: essays on anthropogenic landscape science], Moscow: Mysl', 1973, 224 pp.

18. Otsenka chislennosti postoyannogo naseleniya po gorodskim okrugam i munitsipal'nym rayonam Respubliki Krym po sostoyaniyu na 01.01.2018 goda [EHlektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: [http://crimea.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_ts/crimea/resources/4119070044d694969630bede4cdebdf4/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C+%D0%BD%D0%B0+01-01-2018.pdf](http://crimea.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_ts/crimea/resources/4119070044d694969630bede4cdebdf4/%D0%A7%D0%B8%D1%81%D0%BB%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D0%BE%D1%81%D1%82%D1%8C+%D0%BD%D0%B0+01-01-2018.pdf)

19. Parshevnikova A.O. Otsenka esteticheskikh svoystv selitebnykh landshaftov i ikh vliyaniye na psikhologicheskoye sostoyaniye cheloveka [Evaluation of the aesthetic properties of residential landscapes and their impact on the psychological state of a person] // *Prioritetnyye nauchnyye napravleniya: ot teorii k praktike* [Priority research areas: from theory to practice], 2014, no 9, pp. 13–15.

20. Remizov A.A. Podkhody k otsenke esteticheskikh svoystv landshaftov v rossiyskoy geografii XXI v. [Approaches to assessing the aesthetic properties of landscapes in the Russian geography of the XXI century] // *Problemy regional'noj ehkologii* [Problems of regional ecology], 2010, no3, pp. 97–101.

21. Senyushchenkova I.M. Issledovaniye sub'yektivnykh faktorov vospriyatiya urbolandshafta na ovrazhno-balochnom rel'yefe [Study of the subjective factors of perception of the urban landscape on a ravine relief] // *Privolzhskij nauchny zhurnal* [Volga scientific journal], 2011, no 1 (17), pp. 92–96.

## ПОДЗЕМНОЕ КРИОХРАНИЛИЩЕ СЕМЯН РАСТЕНИЙ НА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ

**Куваев Василий Анатольевич**, инженер, Институт мерзлотоведения Сибирского отделения Российской академии наук им. П.И. Мельникова, 677010, Российская Федерация, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36, e-mail: vak-89@bk.ru

**Кузьмин Георгий Петрович**, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Институт мерзлотоведения Сибирского отделения Российской академии наук им. П.И. Мельникова, 677010, Российская Федерация, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36, e-mail: kuzmin@mpi.ysn.ru

В г. Якутске в 2012 гг. построено первое криохранилище с использованием естественных возобновляемых источников холода, аккумулированных в толще многолетнемерзлых грунтов, которое не требует установки дорогостоящего холодильного оборудования. В статье описывается устройство подземного криохранилища, расположенного в толще многолетнемерзлых грунтов. Излагается устройство и работа охлаждающих установок круглогодичного охлаждения рабочих камер криохранилища. Рассмотрен температурный режим грунтов и воздуха в рабочих камерах криохранилища за 5 лет эксплуатации, показавшие надежность и эффективность управления температурным режимом, поддержание заданных необходимых температур без использования холодильных установок.

**Ключевые слова:** криохранилище семян, мерзлый грунт, температура, охлаждающая установка, температурные колебания

#### UNDERGROUND CRYOSTORAGE OF PLANT SEEDS IN PERMAFROST

**Kuvaev Vasily A.**, Engineer, Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 36Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russian Federation, e-mail: vak-89@bk.ru

**Kuzmin Georgiy P.**, D.Sc. in Engineering, Associate Professor, Chief Researcher, Melnikov Permafrost Institute of the Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, 36Merzlotnaya st., Yakutsk, 677010, Russian Federation, e-mail: kuzmin@mpi.ysn.ru

In 2012, in Yakutsk, the first cryostorage built by using natural renewable sources of cold accumulated in the permafrost. This storage does not require the installation of expensive refrigeration equipment. The paper describes the construction of the underground cryostorage, installed in the permafrost. The structure and operation of the cooling equipment of the annual cooling of the working chambers of the cryostorage is described. The temperature regime of soils and air in the working chambers of the cryostorage for 5 years of operation has been considered. This has shown the reliability and efficiency of temperature control, maintaining the required temperatures without using refrigeration units.

**Keywords:** seed cryostorage, frozen ground, temperature, cooling unit, temperature fluctuations

В настоящее время происходит сокращение генетических ресурсов растений в связи с разрушением мест их произрастания.

Долговременное хранение растительного материала в виде семян является одним из самых распространенных и эффективных методов сохранения большинства видов растений мира. Создание банков семян имеет значительные преимущества по сравнению с другими методами сохранения растений *ex-situ*: возможность хранения большого количества образцов, экономия места и сравнительно низкая трудоемкость [5].

В мире существует более 1400 семенных хранилищ, задачей которых является сохранить многообразие видов растений на планете. Однако значительная часть их представляет собой обычные здания и лаборатории, с высокой для сохранения семян температурой.

Наиболее распространенным способом длительного сохранения генофонда растений является хранение семян в условиях малой влажности и относительно низких стабильных отрицательных температур. Первое условие выполняется высушиванием семян и хранением их в герметичных сосудах [1]. Необходимый температурный режим в существующих в мире криохранилищах достигается с помощью только холодильных установок или с частичным использованием естественного холода [5].

Исследованиями сотрудников Института биологических проблем криолитозоны (ИБПК) СО РАН установлено, что оптимальными для длительного сохранения жизнеспособности и генетической целостности семян растений являются температуры минус (6...10) °C [6]. За период более 30 лет хранения семян в подземной лаборатории при температуре минус 2,4–5,0 °C всхожесть их составила 60–100 % при уровне хромосомной аберраций (показатель генетических мутаций) не более 15 %. Установлено, что хранение семян бобовых растений в стандартных условиях (г. Крымск, Екатеринбург, Михнево) в течение 11–13 лет приводит к снижению всхожести до 50 ÷ 80 % при уровне хромосомных аберраций до 6 ÷ 14 %, а при хранении семян в тех же условиях в течение 28 ÷ 31 года семена становятся полностью нежизнеспособными (всхожесть равна нулю).

**Распространение ММП на территории России.** В криолитозоне территории с температурой минус 6 °C и ниже имеют весьма ограниченное распространение и залегают в основном в арктической зоне и высокогорье (рис. 1).

В связи с этим на большей части области распространения многолетнемерзлых грунтов криохранилища должны быть оборудованы охлаждающими устройствами круглогодичного действия, как например, в международном криохранилище в Норвегии (Шпицберген, г. Свальбард).

Недостатками криохранилищ, оборудованных холодильными установками являются, значительные затраты энергии, расходы на обслуживание установок, возможность потери банка семян при аварийных отключениях холодильных установок.

Впервые в мире в г. Якутске в 2012 г. построено подземное криохранилище семян на 100 тыс. образцов, в котором температурный режим обеспечивается за счет использования только естественных криогенных ресурсов – холода многолетнемерзлых грунтов и наружного воздуха.

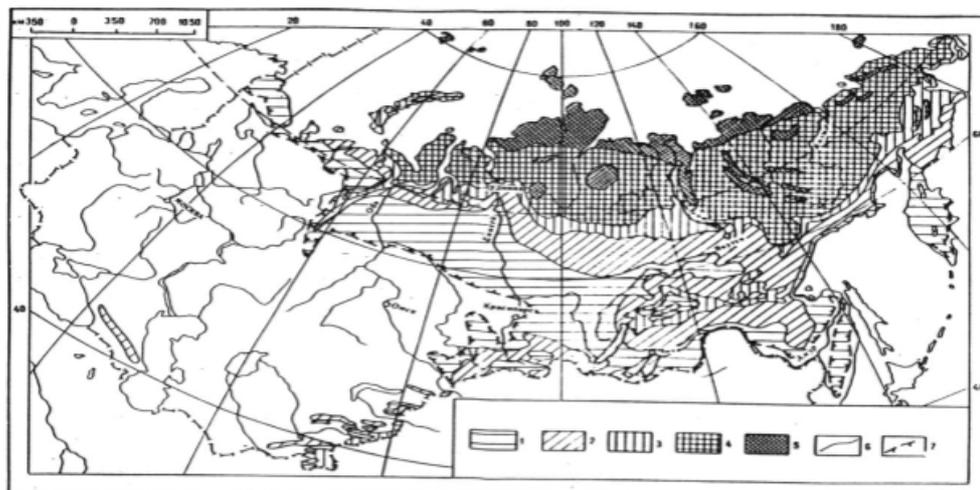


Рис. 1. Схема распространения многолетнемерзлых пород (ММП) в РФ:

1 – зона редкоостровного, островного и массивноостровного распространения ММП со среднегодовыми температурами ( $t_{cp}$ ) от  $+3$  до  $-1$  °C и мощностью (M) мерзлой толщи от 0 до 100 м; 2–5 – зоны сплошного распространения ММП: 2 –  $t_{cp}$  от  $-1$  до  $-3$  °C, M от 50 до 300 м; 3 –  $t_{cp}$  от  $-3$  до  $-5$  °C, M от 100 до 500 м; 4 –  $t_{cp}$  от  $-5$  до  $-9$  °C, M от 200 до 600 м; 5 –  $t_{cp}$  ниже  $-9$  °C, M от 400 до 900 м и более; 6 – граница зон ММП; 7 – южная граница криолитозоны [3]

**Устройство криохранилища.** Криохранилище расположено в толще вечномерзлых грунтов с начальной температурой минус  $2,4$  °C на глубине подошвы  $11,0$  м.

Рабочие помещения (рис. 2) состоят из одной продольной камеры площадью  $52,6$  м<sup>2</sup> и трех поперечных камер площадью  $11,1$ ;  $10,7$  и  $5,8$  м<sup>2</sup>. Общая площадь камер равна  $80,2$  м<sup>2</sup>. Стены и кровля рабочих камер криохранилища закреплены лиственничным брусом, который в условиях горных выработок криолитозоны значительное время сохраняем механические свойства. Так, в шахте Шергина в г. Якутске за 175 лет лиственница в срубе осталась без изменений.

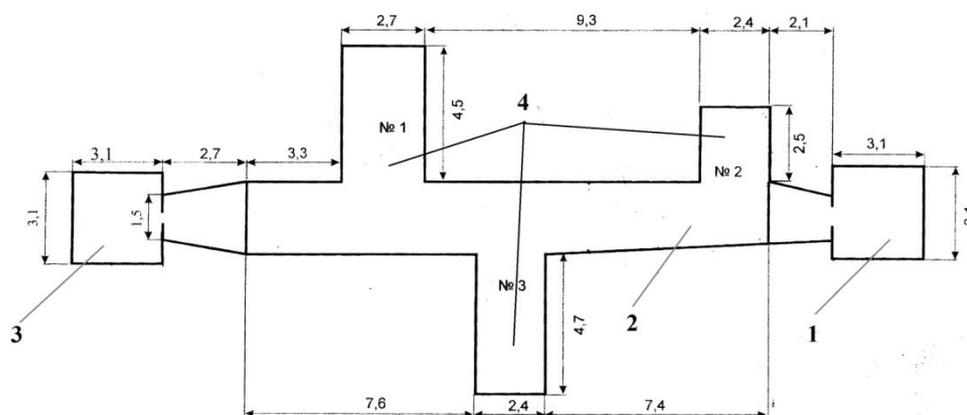


Рис. 2. Рабочие камеры криохранилища:

1 – вертикальный ствол, 2 – основная рабочая камера, 3 – вертикальный грузовой ствол, 4 – Боковые рабочие камеры

Криохранилище оборудовано (рис. 3) двумя воздушными охлаждающими установками (ВОУ) конвективного действия: ВОУ-1 для управления температурным режимом рабочих камер в зимнее время и ВОУ-2 для стабилизации температуры в них в летнее время. Такие установки обычно применяются для охлаждения грунтов основания зданий и сооружений, а также создания мерзлого ядра в грунтовых плотинах. Циркуляция холодного воздуха по каналам ВОУ происходит под действием естественной тяги, возникающей вследствие преобразования давлений столбов воздуха в двух вертикальных каналах.

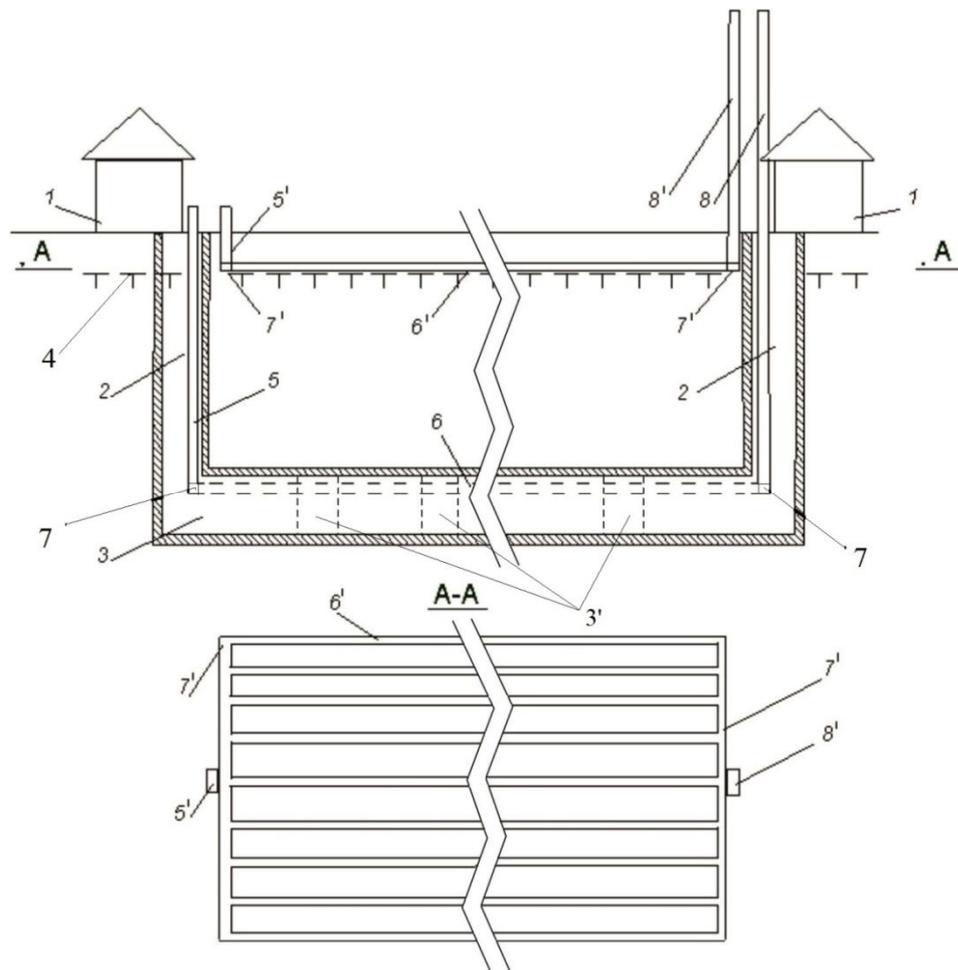


Рис. 3. Схема воздушных охлаждающих установок криохранилища:

1 – наружные помещения; 2 – вертикальные стволы с лестничным отделением; 3 – основная горизонтальная рабочая камера; 3' – боковые рабочие камеры; 4 – граница слоя сезонного протаивания; 5 – 5' каналы для нисходящего потока ВОУ-1 и ВОУ-2; 6 – 6' охлаждающие каналы ВОУ-1 и ВОУ-2; 7 – 7' коллекторы; 8 – 8' каналы для восходящего потока ВОУ-1 и ВОУ-2

Охлаждающие установки состоят из горизонтальных каналов, соединяющихся с вертикальными каналами для нисходящего и восходящего потоков воздуха. Два горизонтальных канала ВОУ-1 прямоугольного сечения с размерами сторон 300 × 400 мм расположены за деревянной крепью боковых сторон основной камеры и через коллекторы соединены каждый с вертикальными каналами. Горизонтальные каналы ВОУ-2 выполнены из стальных труб диаметром 219 мм в количестве 11 штук, уложенных параллельно с шагом 1,5 м в основании слоя сезонного оттаивания на глубине 1,5 м. Они также соединены через коллекторы с вертикальными каналами. Верхние концы вертикальных каналов ВОУ располагаются на разных уровнях: для нисходящего потока воздуха несколько выше максимальной величины снежного покрова, для восходящего потока на 5 м от поверхности земли [2].

**Закономерность распространения температурных волн в мерзлых грунтах.** В слое годовых теплооборотов температурные колебания происходят со сдвигом фаз, определяемые зависимостью [5]:

$$\delta = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{CT}{\pi\lambda}} z, \quad (1)$$

где  $\delta$  – продолжительность распространения температурной волны от охлаждающих каналов до глубины расположения криохранилища (сдвиг фаз);  $T$  – период колебаний (1 год);  $C$  – объемная теплоемкость грунтов;  $\lambda$  – коэффициент теплопроводности грунтов;  $z$  – глубина.

На рисунке 4 приведена типичная кривая температуры наружного воздуха в климатических условиях области распространения многолетнемерзлых грунтов. На ней показаны периоды работы воздушных охлаждающих установок  $\tau_1$ , промежуток времени от момента прекращения работы охлаждающих установок до момента повышения температуры грунтов на уровне расположения рабочих камер до значения максимальной допустимой температуры в них  $\Delta t$  и продолжительность охлаждения рабочих камер в теплое время года. Величина сдвига фаз должна быть равна

$$\Delta = \tau_1 + \Delta t. \quad (2)$$

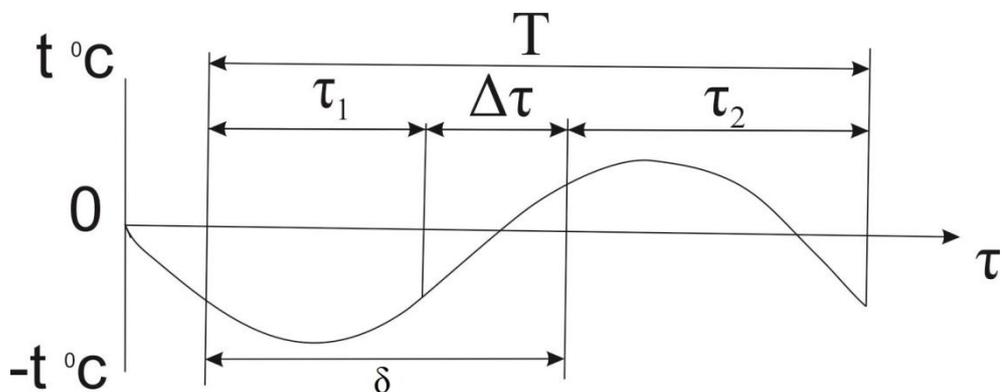


Рис. 4. Распространение температурных волн в мерзлых грунтах:

где  $\delta$  – продолжительность распространения температурной волны от охлаждающих каналов до глубины расположения криохранилища (сдвиг фаз);  $\tau_1$  продолжительность работы ВОО;  $\tau_2$  – продолжительность периода летнего охлаждения;  $\Delta t$  продолжительность распространения температурных волн от момента прекращения работы ВОО до момента достижения волны до начала охлаждения криохранилища

Из равенства (1) и (2) находим выражение оптимальной глубины заложения рабочих камер

$$z = 2(\tau_1 + \Delta z) \sqrt{\frac{\pi \lambda}{cT}}. \quad (3)$$

Криохранилище в г. Якутске создано из переоборудованной подземной лаборатории ИМЗ СО РАН. Глубина расположения его несколько меньше оптимального значения, поэтому в начале наступления холодного периода криохранилище охлаждается холодным воздухом, пропускаемым через входные выработки.

**Температуры воздуха в рабочих камерах.** На рисунке 5 приведен график температуры воздуха в основной рабочей камере за все время эксплуатации криохранилища. Среднее ее значение составляет около  $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , которое на  $5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  ниже установившейся температуры на стенке рабочей камеры до начала эксплуатации криохранилища. На короткий промежуток времени температура поднималась до  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  и опускалась до  $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При необходимости пики температурных кривых могут быть «срезаны» устройством теплоизоляции вокруг емкостей с семенами. Как видно из приведенного графика, установился квазистационарный температурный режим криохранилища. Следует отметить, что необычно высокое поднятие температуры криохранилища в летнее время 2013 г. было следствием аварийной протечки наземного водопровода. Большое количество теплой воды попало через грузовой ствол в рабочую камеру и вызвало повышение температуры воздуха в ней.

В целом температура воздуха в рабочих камерах практически не выходят за рекомендованный интервал температуры хранения семян

**Заключение.** Проведены длительные испытания подземного криохранилища семян растений, построенного в толще многолетнемерзлых грунтов. Относительно низкие отрицательные температуры в рабочих камерах криохранилища круглогодично поддерживаются впервые в мире с использованием только естественных ресурсов холода многолетнемерзлых грунтов и наружного воздуха. Циркуляция холодного воздуха осуществляется с помощью охлаждающих установок конвективного действия, т.е. без затрат «товарной» энергии. Охлаждающие установки не требуют постоянного контроля и очень надежны.

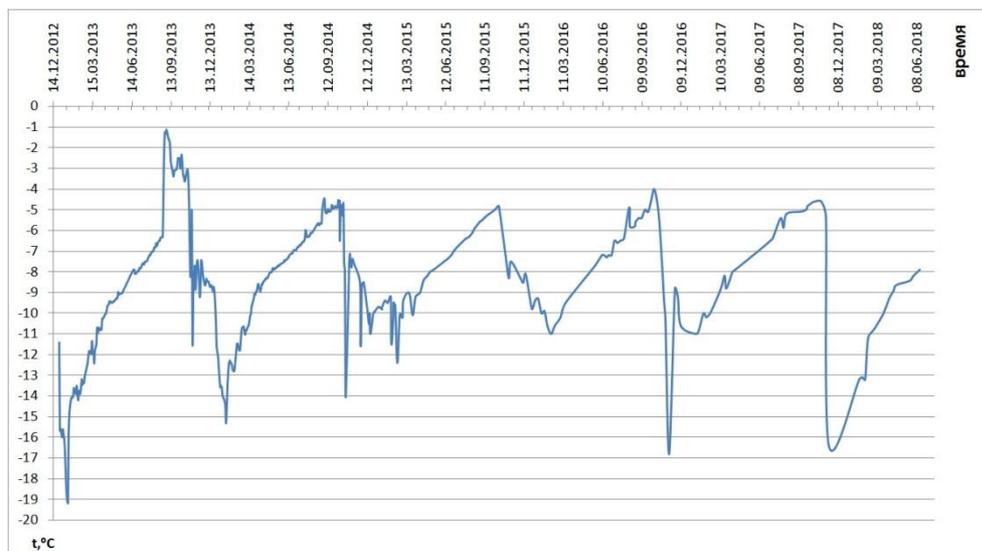


Рис. 5. Температура воздуха в рабочих камерах криохранилища за период эксплуатации

Разработанный способ охлаждения может использоваться в других видах подземных сооружений, возводимых в криолитозоне.

#### Список литературы

1. Кершенгольц Б.М., Жимулев И.Ф., Гончаров Н.П., Чжан Р.В., Филиппова Г.В., Шейн А.А., Прокопьев И.А. Сохранение генофонда растений в условиях многолетней мерзлоты: состояние, преимущества, перспективы // Вавиловский журнал генетики и селекции, 2012. Т.16, № 3, с.675-682 .
2. Кузьмин Г.П. Подземные сооружения в криолитозоне.- Новосибирск: Наука, 2002. 176 с.
3. Маслов А.Д. Основы геокриологии: учебное пособие [Текст] / А.Д. Маслов, Г.Г. Осадчая, Н.В. Тумель, Н.А. Шполянская. –Ухта: Институт управления, информации и бизнеса, 2005. –176с.: ил
4. Мерзлотоведение (краткий курс). Под редакцией В.А. Кудрявцева. – М., Изд-во Моск. ун-та, 1981, 240 с.
5. Чжан Р.В., Кершенгольц Б.М., Кузьмин Г.П., Ремигайло П.А. Федеральное криохранилище генофонда растений в условиях многолетнемерзлых пород на Северо-Востоке Евразии // Межотраслевой альманах «Деловая Слава России». №3 (36). 2012, с. 47-49.
6. Prokopyev I.A., Filippova G.V., Shein A.A., Khlebnyy E.S. Physiological–biochemical characteristics of *Pisum sativum* seedlings after long-term storage of seeds in the permafrost conditions // *Cryobiology*, Volume 65, Issue 3, December 2012, Page 347

#### References

1. Kershengolts B.M., Zhimulev I.F., Goncharov N.P., Zhang R.V., Filippova G.V., Shein A.A., Prokopyev I.A. Preservation of the gene pool of plants under permafrost conditions: State, advantages, and prospects. - *Russian Journal of Genetics: Applied Research* January 2013, V.3, Issue 1, pp. 35-39).
2. Kuzmin G.P. Underground construction in the cryolithozone. - *Novosibirsk: Nauka*, 2002. 176 p.
3. Maslov A.D. Fundamentals of geocryology: textbook [Text] / A.D. Maslov, G. G. Osadchaya, N. V. Tumel, N. A. Shpolyanskaya. –Ukhta: Institute of Management, Information and Business, 2005. –176p
4. Permafrost (short course). Edited by V.A. Kudryavtsev. - M., Publishing House of Moscow University, 1981, 240 p.
5. Zhang R.V., Kershengolts B.M., Kuzmin G.P., Remigailo P.A. Federal cryostorage of the gene pool of plants in Permafrost in the North-East of Eurasia // *Interbranch Almanac "Business Glory of Russia"*. №3 (36). 2012, p. 47-49.
6. Prokopyev I.A., Filippova G.V., Shein A.A., Khlebnyy E.S. Physiological–biochemical characteristics of *Pisumsativum* seedlings after long-term storage of seeds in the permafrost conditions // *Cryobiology*, Volume 65, Issue 3, December 2012, Page 347