



**Сборник докладов
Шестой конференции геокриологов России
«Мониторинг в криолитозоне»**

с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов

**МГУ имени М.В. Ломоносова
14 - 17 июня 2022**

Пленарные доклады

Доклады по секциям:

Секция 1. Газы и газогидраты в криолитозоне

Секция 2. Геокриологическая съемка и картирование

Секция 3. Геокриологический мониторинг

Секция 4. Геофизические исследования в криолитозоне

Секция 5. Динамическая геокриология

Секция 6. Изменения климата и реакция криолитозоны

Секция 7. Инженерная геокриология и инженерные изыскания в криолитозоне

Секция 8. История, методология и образование в геокриологии

Секция 9. Литогенетическая геокриология

Секция 10. Основания и фундаменты зданий и инженерных сооружений в условиях изменения климата

Секция 11. Физико-химия, теплофизика и механика мерзлых грунтов

Секция 12. Региональная и историческая геокриология

Секция 13. Экологические и биологические проблемы криолитозоны

Москва
КДУ
2022

УДК (551.34+551.345+556.12+528.9)
ББК 26.36
М34

Сборник докладов Шестой конференции геокриологов России
М34 **«Мониторинг в криолитозоне»** с участием российских и зарубежных ученых, инженеров и специалистов. МГУ имени М.В. Ломоносова, 14 - 17 июня 2022 г. : сборник статей, [электронное издание сетевого распространения] / Под редакцией Р.Г. Мотенко. – М.: «КДУ», «Добросвет», 2022. – 1130 с. табл., ил. – URL: <https://bookonline.ru/node/44945> – doi: 10.31453/kdu.ru.978-5-7913-1231-0-2022-1130.

ISBN 978-5-7913-1231-0

Всероссийская конференция геокриологов с международным участием проводится в целях представления последних результатов и координации научных исследований, обобщения опыта изысканий, проектирования и эксплуатации зданий и инженерных сооружений в криолитозоне, определения приоритетов и разработки совместного плана действий для власти, науки и бизнеса в сфере мониторинга и изменений в криосфере, строительства и освоения Арктики. Рассматриваются проблемы по следующим научным направлениям: газы и газогидраты в криолитозоне; геокриологическая съемка и картирование; геокриологический мониторинг; геофизические исследования в криолитозоне; динамическая геокриология; изменения климата и реакция криолитозоны; инженерная геокриология и инженерные изыскания в криолитозоне; история, методология и образование в геокриологии; литогенетическая геокриология; основания и фундаменты зданий и инженерных сооружений в условиях изменения климата; физико-химия, теплофизика и механика мерзлых грунтов; региональная и историческая геокриология; экологические и биологические проблемы криолитозоны.

УДК (551.34+551.345+556.12+528.9)
ББК 26.36

Электронное издание сетевого распространения.
Технический редактор Лисицына О.М.
Компьютерная верстка Шевчик Ф.А., Зубкова А.В., Черняк Ю.В.
Опубликовано 08.06.2022.
Издательство «КДУ»: 8(495) 638-57-34. www.kdu.ru

ISBN 978-5-7913-1231-0

© Коллектив авторов, 2022
© Издательство «КДУ», 2022

ПРОГРАММНЫЙ ОРГКОМИТЕТ
Шестой конференции геокриологов России
«Мониторинг в криолитозоне»

Сопредседатели

Мельников Владимир Павлович - академик РАН

Брушков Анатолий Викторович - заведующий кафедрой геокриологии геологического ф-та МГУ

Железняк Михаил Николаевич – директор Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

Садуртдинов Марат Ринатович – директор Института криосферы Земли ТюмНЦ СО РАН

Мажаров Александр Викторович - заместитель Губернатора Ямало-Ненецкого автономного округа, директор департамента внешних связей

Сидорова Наталья Александровна - заместитель Губернатора Ненецкого автономного округа

Члены Программного оргкомитета:

Алексеев А.Г., Алексеева О. И., Ашпиз Е.С., Богданов М.И., Васильчук Ю.К., Власов А.Н., Гальченко В. Ф., Дроздов Д.С., Дубровин В.А., Жданеев О. В., Заболотник С. .И., Игнатов С.Г., Кекелев А. И., Комаров И.А., Котов П.И., Кроник Я.А., Кошурников А.В., Кузнецов М. Е., Маслаков А.А., Мотенко Р.Г., Оспенников Е.Н., Осипов В.И., Остарков Н.А., Попова А. А., Разбегин В.Н., Ривкин Ф. М., Рязанов А.А., Сергеев Д.О., Складнев Д.А., Соболев П.С., Стрелецкая И.Д.,Трофимов В.Т., Устинова Е.В., Федосеев С. М., Фролов А.М., Чеверев В.Г., Хрусталеv Л.Н.,Хилимонюк В.З.,Черкасов А.М., Чувилин Е.М., Якушев В.С.

- ОРГАНИЗАТОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Кафедра геокриологии геологического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Научный совет по криологии Земли РАН

Институт криосферы Земли Тюменского научного центра СО РАН

Кафедра криолитологии и гляциологии географического факультета Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН

Правительство Ямало-Ненецкого автономного округа

Администрация Ненецкого автономного округа

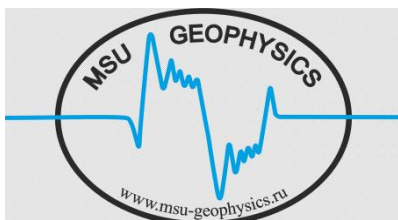
ФАНУ «Востокгосплан» Минвостокразвития РФ

ФГБУ «Российское энергетическое агентство» Минэнерго РФ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СПОНСОРЫ

Научный журнал РАН **ГЕОЭКОЛОГИЯ. Инженерная геология Гидрогеология. Геокриология**
Научно-практический журнал **Инженерные изыскания**
Научно-практический журнал **Геотехника**
Научный журнал **Инженерная геология**
Научный журнал **GeoРиск**
Научный электронный журнал [Арктика и Антарктика](#)
Научно-технический журнал **ОСНОВАНИЯ, ФУНДАМЕНТЫ И МЕХАНИКА ГРУНТОВ**

СПОНСОРЫ КОНФЕРЕНЦИИ:



ПАО ГКМ Норильский никель
ООО «Научно-производственное предприятие МГУ»
ООО "МГУ - геофизика"
Институт мерзлотоведения им П.И. Мельникова СО РАН

Рисунок 4. Графики изменения температуры воздуха на поверхности пола и температуры грунта на глубинах 1м, 3м и 10м за период эксплуатации опытного помещения 2018-2021 гг.

Из выше перечисленного можно сделать следующие выводы и заключения:

1. Испытания опытного помещения с устройством для обогрева теплотой фазового перехода воды в климатических условиях г. Якутска показали практическую применимость технологии, экономический эффект, надежность и безопасность.

2. Анализ трех циклов испытания опытного помещения позволяет рекомендовать следующее:

– размещать водяные аккумуляторы целесообразно, если позволяют геокриологические условия, в подпольном пространстве, обеспечивающем полное использование площади помещения по назначению, уменьшение глубины воды в аккумуляторах, увеличение площади поверхности теплообмена и уменьшение давления льда на стенки аккумуляторов;

– проводить расчеты притока тепла в помещение и таяния льда в аккумуляторах в летнее время нет необходимости, так как лед на стенках аккумуляторов меньшей толщины, чем лед, образующийся при более низкой температуре наружного воздуха, несомненно переходит в талое состояние.

Анализ результатов испытания технологий обогрева помещения в зимнее время до высоких отрицательных околонулевых температур показали применимость их практически без изменения разработанных технологий и методики теплотехнического расчета.

Испытания в течение 3-х лет опытного помещения с обогревом в зимнее время теплотой фазового перехода воды также показали обоснованность технологии и методики расчета водяных аккумуляторов тепла.

Разработанная технология могут найти применение на обширной территории холодных районов России.

Список литературы

1. Кузьмин Г.П., Куваев В.А. Вода как аккумулятор солнечной энергии // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. -2019. -№9. –с. 80-84.

2. Патент № 2617579 Российская Федерация, МПК «Устройство для поддержания околонулевой температуры в закрытых помещениях» Кузьмин Г.П., заявитель и патентообладатель Учреждение РАН – Институт мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН (RU).Опубл.25.04.2017.

ТЕХНОЛОГИЯ ТЕРМОСТАБИЛИЗАЦИИ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ГРУНТОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТЕПЛООВОГО НАСОСА ПИТАЕМОГО ОТ СОЛНЕЧНЫХ БАТАРЕЙ

Локтионов Е. Ю.¹, Шараборова Е. С.², Клоков А.В.³

¹ МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия; *yagor@bmsu.ru*

² МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия; *sharaborovaes@student.bmsu.ru*

³ МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, Россия; *klokovav@student.bmsu.ru*

Предложена технология, использующая солнечные батареи (экраны для излучения и осадков, а также источник энергии) и тепловые насосы для охлаждения приповерхностного слоя грунта, запирающего проникновение тепла вглубь. Положительная обратная связь солнечного излучения и холодопроизводительности гарантирует отведение тепла в жаркую погоду, что доказано экспериментально. Стоимость реализации этой технологии (ок. 200 \$/м²) сопоставима с уже существующими на рынке при лучшем техническом эффекте. Дополнительной особенностью является возможность генерации доходов (до 75 \$/(м²*год)) за счет реализации электрической и тепловой (35-60 °С) энергии. Технология может быть использована для любых зданий и сооружений (в т.ч. мерзлотников); стабилизации береговых обрывов и ледников; предотвращения химического и биологического

загрязнения из верхних слоев грунта, а также развития термокарстовых явлений и газовых выбросов; улучшения условий для сельского хозяйства на крайнем Севере (обогрев теплиц).

PERMAFROST THERMAL STABILIZATION TECHNOLOGY BASED ON THE SOLAR-POWERED HEAT PUMP.

Loktionov E. Yu.¹, Sharaborova E. S.², Klokov A. V.³

¹Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; *yagor@bmstu.ru*

²Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; *sharaborovaes@student.bmstu.ru*

³Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russia; *klokovav@student.bmstu.ru*

A suggested technology is based on solar powered heat pump. PVs protect the soil from solar radiation and liquid precipitation and poweres the system; heat-pump cools near-surface layer and provides barrier layer. The positive feedback of solar radiation and cooling capacity in this case makes it possible to guarantee heat dissipation in hot weather that has been proven experimentally. The system's cost (approx. 200 \$/m²) is comparable to those already existing on the market but technical effect of the system is better. An additional distinctive feature is the ability to generate income (up to \$ 75/(m²*year)) due to the realization of electric and thermal (35-60 °C) energy. The technology can be used for any buildings and structures (including ice cellars); stabilization of coastal cliffs and glaciers; prevention of chemical and biological pollution from the upper soil layers; improvement of conditions for agriculture in the Far North (heating greenhouses).

В мире многолетнемерзлые грунты подстилают 35 млн. кв.км суши, на этой территории проживает 35 млн. человек. Вечная мерзлота встречается на всей территории Антарктиды, 85% Аляски, 65% России, 55% Канады. Кроме приполярных областей, вечная мерзлота распространена (3,5 млн. кв.км) и в горах, где ее таяние приводит к камнепадам, оползням, селям и наводнениям. Как показал последний доклад ИРСС реальность климатических изменений и ответственность человечества за них неоспорима. Проведенные исследования по оценке скорости деградации вечной мерзлоты показали, что эти изменения влияют на инфраструктуру – снижается несущая способность оснований зданий и сооружений [2, 14]. Выполненные оценки показывают, что к 2050 г. суммарный ущерб, который может быть нанесён при отсутствии мониторинга и своевременного реагирования на таяние вечной мерзлоты может составить не менее 5 трлн. руб. Причем учитывался только ущерб зданиям и сооружениям гражданского назначения.

Однако, как показал недавний разлив нефтепродуктов в Норильске, экологический ущерб (150-200 млрд.руб.) для хрупких северных экосистем может быть на 2 порядка больше суммарного материального (ок. 1,5 млрд.руб.), а последний также на 2 порядка больше стоимости разрушенного объекта инфраструктуры (ок. 20 млн. руб.). В 2009 г. затраты на ликвидацию последствий аварий, вызванных деформациями многолетнемерзлых грунтов на нефтегазовых месторождениях и продуктопроводах, по оценкам Гринпис, составляли ок. \$1,7 млрд (ок. 56 млрд. руб.).

С тех пор ситуация с деградацией вечной мерзлоты только усугубилась. При этом климатические изменения в Арктике происходят в 2-3 раза быстрее, чем в среднем на планете. На данный момент, по данным глобальной системы мониторинга, скорость увеличения температуры воздуха составляет 0,075 °C/год, а грунта до 0,1 °C/год [Ошибка! Источник ссылки не найден., 11, 15]. Данные изменения приводят к тому, что глубина активного слоя уменьшается на треть, а граница вечной мерзлоты может сместиться на 50-600 км уже в ближайшее время.

Большая часть добычи природных ресурсов (углеводородов, драгоценных металлов, алмазов) в России находится в зоне вечной мерзлоты, зачастую, в зоне наиболее уязвимых высокотемпературной и прерывистой. Защиты от деформации многолетнемерзлых грунтов требуют здания и сооружения на месторождениях, технологические трубопроводы, дороги, береговая инфраструктура, взлетно-посадочные полосы и т.д. Проблема деформации грунтов особенно актуальна для линейных объектов

инфраструктуры: автомобильных [17] и железных [10] дорог, взлетно-посадочных полос, трубопроводов [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**], ЛЭП [16], обеспечивающих зачастую единственную связь с цивилизацией для жилых и промышленных объектов в ненаселенной местности и, в силу своей протяженности, проходящих через участки с самыми различными геологическими и микроклиматическими условиями.

Необходимость в проведении мероприятий по защите многолетнемерзлых грунтов неизбежна, поскольку большинство аварий приведет к нанесению ущерба окружающей среде. Все существующие и активно применяемые на данный момент решения, уже хорошо изучены и испытаны, к тому же их реализация обеспечена нормативно-правовой базой, однако применение этого ограниченного набора мер в условиях изменяющегося климата уже недостаточно. Для раннего выявления потенциально опасных ситуаций, в России на государственном уровне была объявлена необходимость форсирования мониторинга состояния вечной мерзлоты. К сожалению, при этом не объявлено никаких мер по систематизации опыта, выявлению и развитию лучших практик по предупреждению, предотвращению развития и ликвидации последствий таких ситуаций.

Стоит отметить, что проблема таяния вечной мерзлоты до сих пор оставалась интересной очень ограниченному кругу стран, среди которых Россия всегда являлась безусловным лидером как в фундаментальном мерзлотоведении, так и в создании технологий строительства на многолетнемерзлых грунтах. В связи с потеплением климата появляются новые угрозы в связи с таянием мерзлоты и ледников в горах, которые ведут к возрастанию риска оползней, селей, возрастания нагрузки на плотины и изменение сезонных режимов работы ГЭС, повреждения другой крайне дорогой инфраструктуры. Появлением новых возможностей в освоении природных богатств Арктики и возникновением проблем в ранее благополучных районах значительно расширило круг заинтересованных стран (прежде всего, КНР) в последнее время.

Кроме снижения несущей способности оснований сооружений, таяние вечной мерзлоты способствует высвобождению парниковых газов (за что с предприятий, в связи с деятельностью которых это происходит, могут взиматься экологические сборы), а также ртути, законсервированных вирусов и архей [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**, 4]. Причем эти явления наиболее выражены для слоев грунта 0-40 (СО₂, грибы, архей) и 40-80 см (СН₄), сохранению которых в мерзлом состоянии существующие технологии термостабилизации практически не способствуют климатическими условиями.

В настоящее время наиболее распространенным способом термостабилизации грунтов в России является использование сезонных охлаждающих устройств (СОУ) на основе термосифонов. Способ безусловно удобен своей простотой и тем, что при работе не требует энергии. Однако в связи с изменением климата СОУ начинают работать на нерасчетных режимах, поскольку их способность замораживать грунт зимой снижается, а тепловые нагрузки летом растут. По некоторым данным, фактическая холодопроизводительность СОУ за сезон уже в 2 раза ниже расчетной, а интенсивность отказов составляет ок. 50%/10 лет. Вообще говоря, СОУ не препятствуют оттаиванию грунта, а лишь несколько уменьшают глубину протаивания (охлаждается слой грунта на глубине ок. 10 м) и длительность пребывания грунта в талом состоянии [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. Проблема наращивания числа термосифонов на объекте заключается в том, что делать это приходится кратно для сохранения однородности температурного поля. Т.к. при образовании разрывов в нем значительно ускоряется движение грунта через возникшее "бутылочное горлышко". В данном случае отсутствие источника энергии сказывается негативно – не обеспечены возможности автоматического мониторинга работоспособности СОУ и состояния грунта, а

регулирование холодопроизводительности невозможно в принципе. В отдельных сложных случаях организуют охлаждение конденсационной или транспортной зоны СОУ холодильными машинами, что приводит к значительным эксплуатационным затратам.

В Китае было предложено питать парокомпрессионные машины для СОУ от солнечных батарей [5]. Подобное решение сложно признать энергоэффективным, так как в нем отсутствуют меры по снижению тепловой нагрузки на грунт. Также стоит отметить, что охлаждение больших объемов грунта в летний период на больших глубинах, дает слабый и медленный эффект.

Широко распространенные на Циньхай-Тибетской железной дороге экраны от солнечного излучения и жидких осадков [12] в наших климатических условиях (соотношение лучистой и конвективной составляющих) не дают достаточного эффекта. Покрытие грунта теплоизоляционным [10] или водоупорным [17] слоем не только уменьшает тепловую нагрузку летом, но и ухудшает промораживание грунта зимой, изменяет его влажность и, следовательно, другие свойства. Было предложено даже выпасать скот на защищаемом участке для вытаптывания снега, что способствует лучшему промораживанию грунта зимой [1].

Исходя из опыта применения существующих технологий, новых вызовов и современного уровня развития техники, нами и был предложен новый способ. Его развитие опирается на бурное развитие солнечной энергетики, распределенной генерации, энергетических и транспортных систем на постоянном токе, тепловых насосов, наблюдаемое в последние годы. Бум потребления систем кондиционирования в юго-восточной Азии наглядно показал преимущества их использования в сочетании с солнечными батареями. Поскольку температура воздуха хорошо коррелирует с освещенностью, в отличие от солнечных отопительных систем, существует положительная обратная связь между потребностью в энергии и ее производством [6]. Значительная тепловая инерция грунта избавляет систему от главной проблемы альтернативной энергетики – необходимости поддержания баланса нестабильной генерации и приоритетного потребления – здесь энергия может использоваться по мере выработки без специальных накопителей. При этом всегда нужно опираться на современные подходы в строительстве и энергетике: прежде чем проектировать активную (потребляющую энергию) систему, нужно максимально снизить нагрузки для нее пассивными методами (используя, например, теплоизоляционные и экранирующие материалы).

Основная особенность предлагаемой технологии – совмещение активных методов термостабилизации с пассивными. При этом наблюдается положительная обратная связь: чем выше уровень солнечной радиации, тем сильнее можно охладить грунт. Принцип действия предлагаемой технологии представлен на рисунке 1.

Суть предлагаемого способа заключается в следующем [18]. Солнцезащитные навесы со встроенными в них фотоэлектрическими или тепловыми преобразователями солнечного излучения, монтируются над поверхностью защищаемого участка и/или вблизи него. Такие навесы выполняют роль пассивной защиты грунта от проникающего тепла, кроме того они препятствуют накоплению снега, что способствует лучшему промораживанию грунта в зимний период. На рисунке 2 показаны графики распределения температуры по глубине при применении предлагаемой технологии.

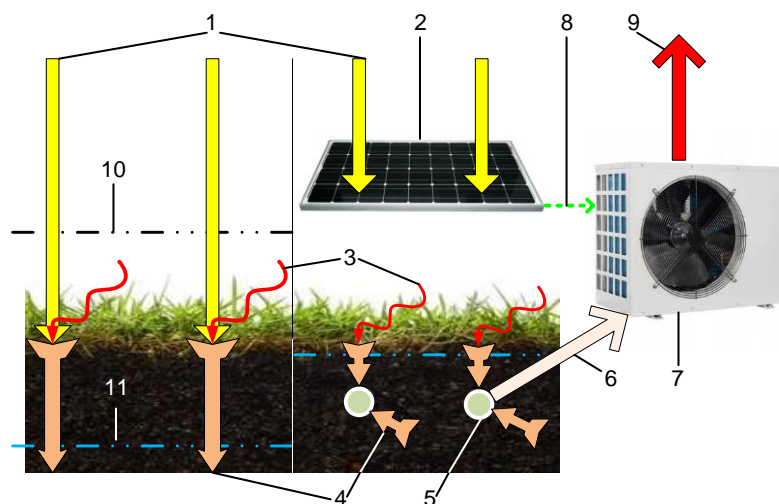


Рисунок 1. Принцип действия (1 – солнечное излучение; 2 – преобразователь; 3 – конвекция; 4 – теплопроводность; 5 – грунтовые зонды; 6 – сток тепла; 7 – охладитель; 8 – преобразованная солнечная энергия; 9 – сброс тепла; 10 – высота снега; 11 – оттаявший слой)

Тепловой насос, используемый для охлаждения приповерхностного слоя грунта, питается от солнечных батарей. Грунтовые зонды теплового насоса располагаются на глубине 20-50 см, они создают запирающий слой, который препятствует проникновению тепла в грунт (рисунок 3). Благодаря этому, уже на глубине в несколько дециметров температуры грунта держатся ниже нуля даже в самые жаркие летние месяцы. Возможен вариант замены теплового насоса «снежной пушкой». Подобная замена особенно актуальна для крупнообломочных и скальных грунтов, для ледников, продления срока эксплуатации зимников и ледовых переправ.

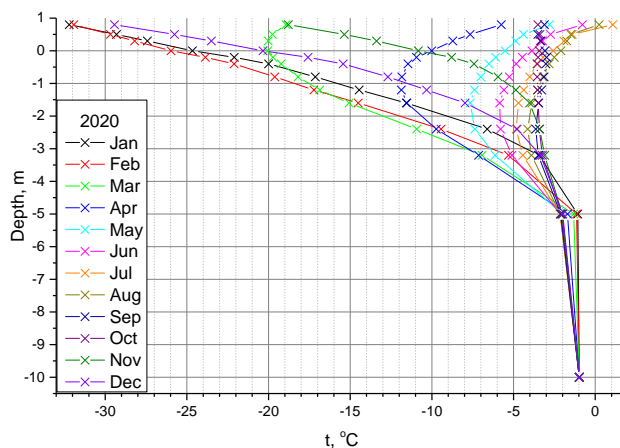


Рисунок 2. Результаты расчета теплового состояния грунта при использовании предлагаемого способа для Якутска.

Подобный способ, с созданием запирающего слоя, дает значительно лучший технический эффект, чем использование термосифонов, замораживающих грунт на больших глубинах. Дополнительным положительным эффектом от системы является создание распределенного источника электроэнергии. Данный эффект снижает капитальные и эксплуатационные затраты систем контроля и мониторинга, которые позволяют также оптимизировать распределение холодильной мощности по защищаемой поверхности. Побочный продукт в виде низкопотенциального тепла (35–

60°C) предлагается использовать в технических процессах, для теплоснабжения, а также в теплицах.

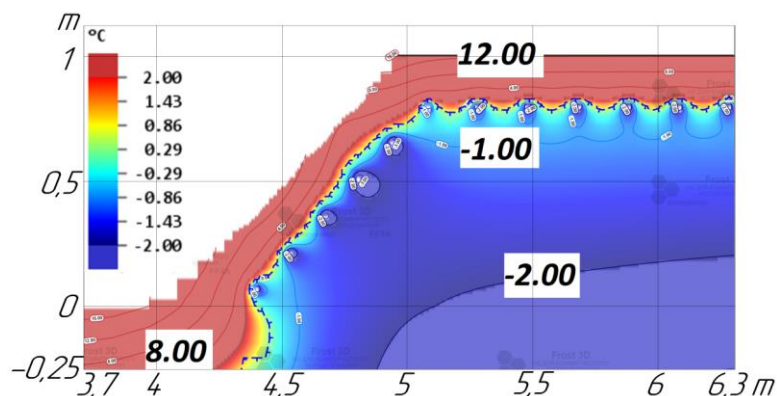


Рисунок 3. Иллюстрация работы запирающего слоя для Якутска в июле.

При отсутствии прямой солнечной радиации, когда тепловой поток извне минимален, реализуется пассивный режим, а при ясной погоде реализуется активный режим с положительной обратной связью: с ростом интенсивности солнечного излучения увеличивается производительность холодильной машины. Такая связь также устраняет проблемы для склонов и откосов южной экспозиции, на которые в естественных условиях увеличивается поток солнечного излучения. Вертикальные поверхности зданий и сооружений, при расположении преобразователей солнечного излучения на них, во многих случаях обеспечат больший подвод энергии, чем с горизонтальных поверхностей, так как на широтах севернее 60-й параллели солнце поднимается выше 45 градусов над горизонтом в течение очень небольшого времени, а площадь стен обычно больше площади основания. Следует особо подчеркнуть, что во время полярной ночи, предлагаемой системе не нужно энергоснабжение, т.к. зимой отсутствует потребность в ее работе.

Проведено численное моделирование с использованием программного пакета Frost 3D, специализированного для геокриологических расчетов, показывающее реализуемость данной технологии для многолетнемерзлых грунтов на всей территории России (рисунки 2, 3) [9].

Создана экспериментальная установка [13] (рисунок 4 а, б), доказывающая реализуемость данного способа для поддержания грунта в замороженном состоянии даже при повышенных по сравнению с зоной вечной мерзлоты тепловых нагрузках – в течение одного из самых жарких летних периодов в Средней полосе России (рисунок 5).



а



б

Рисунок 4. Экспериментальная установка (а – общий вид; б – грунтовые зонды)

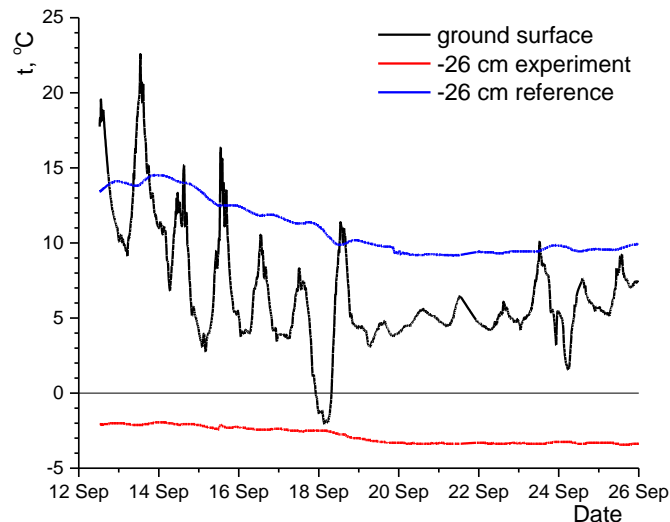


Рисунок 5. Изменение температуры грунта на поверхности и на глубине 26 см для экспериментальной и контрольной площадок в сентябре 2021 г.

Внедрение предлагаемого решения должно способствовать значительному сокращению затрат на термостабилизацию многолетнемерзлых грунтов и ликвидацию последствий просадок грунта (реконструкция, компенсация ущерба, простой); снижению затрат на создание систем удаленного контроля и мониторинга; снижению затрат на электро- и теплоснабжение; предотвращению экологического ущерба; сокращению эмиссии углекислого газа и метана, риска биологических инвазий из грунта на защищаемой площади вследствие существенного сокращения глубины деятельного слоя; а также позволит накопить необходимые компетенции, связанные с неизбежным энергетическим переходом.

Направления дальнейшего развития нашей технологии следующие. Фотоэлектрические модули генерируют постоянный ток, для питания почти любого оборудования требуется переменный ток 230 В (380 В)/50 Гц. Для необходимого преобразования используются солнечные инверторы, стоимость которых (особенно автономных и гибридных) составляет значительную часть затрат (до половины) на оборудование солнечных электростанций. При этом наиболее прогрессивные холодильные машины используют инверторную технологию, позволяющую плавно регулировать производительность в диапазоне до 16-130% от номинальной, избегать многократных пусков-остановов и связанных с ними высоких пусковых токов, кратного резервирования мощности и износа электротехнического оборудования. В этой технологии необходимо изменять частоту тока, питающего асинхронный привод, для чего используются специальные преобразователи (также дорогостоящие), сначала выпрямляющие переменный ток, а затем обеспечивающие ток частоты, отличной от промышленной. Такие многократные преобразования значительно снижают эффективность и надежность системы, увеличивают ее стоимость. Логично перейти если не к приводу постоянного тока, то хотя бы к однократному преобразованию постоянного тока от солнечных батарей в ток нужной асинхронному приводу в данный момент частоты. До недавнего времени привод постоянного тока, особенно бесщеточный, был дорогой экзотикой, однако, развитие электротранспорта значительно снизило стоимость BLDC-моторов и продвинуло управление ими в широком диапазоне. Тепловые насосы (холодильные машины) с питанием от постоянного тока хотя и востребованы для теплохладоснабжения автономных домов, на данный фактически производятся лишь в качестве автомобильных устройств.

Проект реализуется при поддержке “Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере” № 4341ГС1/70539 (программа “Старт-1”).

Литература

1. Beer C. et al. Protection of Permafrost Soils from Thawing by Increasing Herbivore Density // *Scientific Reports*. 2020. V. 10, № 1. P. 4170.
2. Biskaborn B. K., et al. Permafrost is warming at a global scale // *Nature Communications*. 2019. V. 10, №1. P. 264.
3. Chen L. et al. Numerical simulation on the performance of thermosyphon adopted to mitigate thaw settlement of embankment in sandy permafrost zone // *Applied Thermal Engineering*. 2018. V. 128. P. 1624-1633.
4. Ci Z. et al. Permafrost Thaw Dominates Mercury Emission in Tibetan Thermokarst Ponds // *Environmental Science & Technology*. 2020. V. 54, № 9. P. 5456-5466.
5. Hu T.-f et al. Design and experimental study of a solar compression refrigeration apparatus (SCRA) for embankment engineering in permafrost regions // *Transportation Geotechnics*. 2020. V. 22. P. 100311.
6. Jakob U. *Solar Cooling Technologies*, 2016. P. 119-136.
7. Jiang L. et al. Effects of warming on carbon emission and microbial abundances across different soil depths of a peatland in the permafrost region under anaerobic condition // *Applied Soil Ecology*. 2020. V. 156. P. 103712.
8. Li G. et al. Field observations of cooling performance of thermosyphons on permafrost under the China-Russia Crude Oil Pipeline // *Applied Thermal Engineering*. 2018. V. 141. P. 688-696.
9. Loktionov E. Y., Sharaborova E. S., Shepitko T. V. A sustainable concept for permafrost thermal stabilization // *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. 2022. V. 52. P. 102003.
10. Luo J. et al. Field experimental study on long-term cooling and deformation characteristics of crushed-rock revetment embankment at the Qinghai–Tibet Railway // *Applied Thermal Engineering*. 2018. V. 139. P. 256-263.
11. Post E. et al. The polar regions in a 2°C warmer world // *Science Advances*. 2019. V. 5, № 12. P. eaaw9883.
12. Qin Y. et al. An experimental study of reflective shading devices for cooling roadbeds in permafrost regions // *Solar Energy*. 2020. V. 205. P. 135-141.
13. Sharaborova, E.S., Shepitko, T.V., Loktionov, E.Y. Experimental Proof of a Solar-powered Heat Pump System for Permafrost Thermal Stabilization. Preprints 2021, 2021120288
14. Streletskiy D. A. et al. Assessment of climate change impacts on buildings, structures and infrastructure in the Russian regions on permafrost // *Environmental Research Letters*. 2019. V. 14, № 2. P. 025003.
15. Thawing Permafrost: Permafrost Carbon in a Warming Arctic. / Van Huissteden K., 2020.
16. Wang T. et al. Influence of hydration heat on stochastic thermal regime of frozen soil foundation considering spatial variability of thermal parameters // *Applied Thermal Engineering*. 2018. V. 142. P. 1-9.
17. Yinfei D. et al. Cooling permafrost embankment by enhancing oriented heat conduction in asphalt pavement // *Applied Thermal Engineering*. 2016. V. 103. P. 305-313.
18. Локтионов Е.Ю. и др. «Способ термостабилизации многолетнемерзлых грунтов». Патент РФ на изобретение № 2 748 086.

НЕКОТОРЫЕ ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЕКТЫ ХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ АРКТИЧЕСКОГО ШЕЛЬФА

Хрусталеv Л.Н.

Московский Государственный Университет им. М.В. Ломоносова, Геологический факультет,
Кафедра геокриологии, Москва, Россия; e-mail: lev_kh@rambler.ru

В докладе рассматриваются проблемы, возникающие при хозяйственном освоении континентального шельфа арктических морей с целью разработки углеродных месторождений. Предлагаются некоторые способы решения этих проблем с помощью ледовых и ледогрунтовых островов. Эти острова обеспечивают высокую надежность добычных работ и позволяют осваивать участки акватории на глубинах, доселе недоступных для стационарных стальных и железобетонных буровых платформ.