

На правах рукописи

СВЕТЛАКОВ Артем Александрович

**ОСОБЕННОСТИ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ГРУНТОВ В
УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ВОСТОЧНОЙ
СИБИРИ**

25.00.08. – Инженерная геология, мерзлотоведение и грунтоведение

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Иркутск – 2018

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте земной коры Сибирского отделения Российской академии наук

Научный руководитель: **Козырева Елена Александровна**
кандидат геолого-минералогических наук, доцент,
заведующий лаборатории инженерной геологии и
геоэкологии

Официальные оппоненты: **Квашук Сергей Владимирович**
доктор геолого-минералогических наук, доцент,
профессор кафедры «Мосты, тоннели и подземные
сооружения» ФГБОУ ВО «Дальневосточный
государственный университет путей сообщения»
(г. Хабаровск)

Макаров Станислав Александрович
доктор географических наук, старший научный
сотрудник лаборатории геоморфологии ФГБУН
Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН
(г. Иркутск)

Ведущая организация: ФГБУН Институт мерзлотоведения им.
П.И. Мельникова СО РАН (г. Якутск)

Защита состоится **25 мая 2018 г. в 9⁰⁰ часов** на заседании диссертационного совета Д 003.022.01 при Институте земной коры СО РАН по адресу: 664033, Иркутск, ул. Лермонтова, 128, конференц-зал

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института земной коры СО РАН и на сайте: http://www.crust.irk.ru/newsfull_169.htm

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью учреждения, просим направить по указанному адресу ученому секретарю диссертационного совета кандидату геолого-минералогических наук В.В. Акуловой
Тел: (3952) 426133, e-mail: akulova@crust.irk.ru

Автореферат разослан «___»_____ 2018 г.

Ученый секретарь диссертационного совета Д 003.022.01
кандидат геолого-минералогических наук

В.В. Акулова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы

Температурный режим грунтов южной геокриологической зоны, его изменение и направленность являются важными показателями современного состояния геологической среды в регионах с распространением мерзлых грунтов. В пределах Восточной Сибири отмечен положительный тренд температуры приземного воздуха, что оказывает влияние на трансформацию температурного режима грунтов в результате глобального изменения климата. Для территории Восточной Сибири, относящейся к южной границе геокриологической зоны, исследование современного температурного состояния грунтов представляет собой актуальную научную проблему.

Важное значение в изучении современного температурного состояния мерзлых грунтов занимают процессы теплообмена, протекающие в приповерхностных горизонтах литосферы на этапах промерзания и протаивания грунтов. Немаловажны аспекты влияния региональных и локальных факторов на формирование современного температурного состояния многолетнемерзлых грунтов геокриологических разностей региона: сплошного и островного распространения. В пределах сезонномерзлого и сезонноталого слоя развиваются основные экзогенные геологические процессы, которые оказывают негативное воздействие на инженерное освоение территорий.

Исследование температурного режима верхних слоев литосферы необходимо для понимания особенностей и направленности развития современного состояния мерзлых грунтов в пределах южной границы криолитозоны, построения прогностических моделей природно-технических геосистем, включающих мерзлые грунты, оценки вклада криогенных процессов в общие инженерно-геологические условия территории Восточной Сибири. Таким образом актуальность темы диссертационной работы несомненна.

Цель работы

Инженерно-геологическая оценка современного температурного режима грунтов южной границы криолитозоны, степень ее эволюционного преобразования вследствие воздействия внешних факторов.

Основные задачи исследования:

1. Оценить степень современного преобразования температурного режима грунтов на этапе промерзания – протаивания на территории юга Восточной Сибири.
2. Определить современное температурное состояние мерзлых грунтовых толщ в области редкоостровного и сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов (на примере ключевых участков).
3. Выявление особенностей развития солифлюкционных оползней, контролируемых температурным режимом верхней части разреза грунтовых толщ южной геокриологической зоны.

Научная новизна работы

1. Проведен анализ современных климатических данных; проанализировано влияние климата на грунтовую толщу в области сезонномерзлого и сезонноталого слоя.
2. Уточнены современные показатели глубины промерзания для сезонномерзлого слоя в естественных условиях; периоды промерзания – протаивания на территории юга Восточной Сибири.
3. Определены современные показатели температуры в области редкоостровного и сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов, уточнены данные по глубинам протаивания сезонноталого слоя.

4. Уточнены закономерности развития экзогенных геологических процессов, контролируемых современными температурными изменениями в области редкоостровного распространения многолетнемерзлых грунтов, приуроченной к южной геокриологической зоне.

Практическая значимость работы

Результаты данной работы могут быть использованы при инженерно-геологических изысканиях, связанных со строительством зданий и сооружений в области редкоостровного и сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов. Результаты исследования позволяют провести современную оценку состояния криолитозоны в пределах юга Восточной Сибири, и послужат обоснованием для разработки технических решений при освоении данной территории. Выявленные особенности современного развития сезонно- и многолетнемерзлых грунтов южной границы криолитозоны и их изменения могут быть основой для инженерно-геологической оценки с последующим составлением инженерно-геологических карт.

Объект исследования

Сезонно- и многолетнемерзлые грунты в пределах южной геокриологической зоны. Область сезонного промерзания и протаивания юга Восточной Сибири.

Предмет исследования

Температурный режим талых и многолетнемерзлых грунтов, а также экзогенные геологические процессы, связанные с изменением температуры в верхней части разреза грунтовых толщ.

Методы исследований

Для решения поставленных задач проводились: полевые, лабораторные, экспериментальные исследования, а также применялись современные структурно-литологические, инженерно-геологические и геокриологические методы.

Для определения современного температурного состояния грунтов используется метод температурных замеров с применением термодатчиков (логгеров): НОВО U12, НОВО Pro V2 2 ext. Temp НОВО UA, с точностью 0.1 °С. Бурение проводилось установкой МГБУ-800 колонковым способом, без промывки, с отбором керна для определения физико-механических свойств грунтов.

Защищаемые положения

1. Выявленная за последнее столетие тенденция повышения среднегодовой температуры воздуха Восточной Сибири отражается на особенностях современного формирования сезонного промерзания: приrost среднегодовых температур в приповерхностном слое, смещение и сокращение периодов промерзания-протаивания, уменьшение мощности промерзания.

2. Области сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов сохраняют стабильно отрицательный диапазон температуры в массиве, а глубина протаивания не превышает 1.5 м. Мощность сезонноталого слоя в области развития редкоостровных многолетнемерзлых грунтов достигает 3.6 м, где высокотемпературные грунты имеют нестабильное температурное состояние во времени.

3. Термодинамический режим грунтовой толщи западного побережья о. Ольхон создает предпосылки для активизации солифлюкционных оползней: май–июнь – период формирования неглубоких смещений; октябрь–ноябрь – период проявления глубоких оползневых деформаций в местах редкоостровного распространения мерзлых грунтов.

Достоверность научных результатов

В основу диссертации легли материалы полевых работ, собранные соискателем в период с 2012 г. по 2017 г. на территории юга Восточной Сибири. Автор являлся исполнителем в проектах НИР с Институтом геоэкологии РАН, (г. Москва), международной

программы «Многолетнемерзлые грунты», РФФИ «Бугры пучения Окинского плоскогорья (Восточные Саяны): генезис и эволюция». Полученные результаты исследований были представлены в тезисах, докладах и подтверждены научными публикациями.

При обобщении и анализе материалов диссертант опирался не только на свои исследования, но и привлек материал других авторов, в том числе и своих соавторов, поскольку ряд исследований проводился совместно.

Апробация работы

Основные положения диссертации были представлены на международных и региональных конференциях: Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Геонауки-2013» (Иркутск, 2013); XXV Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2013); Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием «Геонауки-2014» (Иркутск, 2014); XXV Международная береговая конференция «Береговая зона – взгляд в будущее» (Сочи, 2014); XXVI Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2015); V Международная научно-практическая конференция «Геокриологические проблемы Забайкалья и сопредельных территорий» (Чита, 2015) и “Second Mongolian-Russian Forum of young scientists” (Улан-Батор, Монголия, 2016); XXVII Всероссийская молодежная конференция «Строение литосферы и геодинамика» (Иркутск, 2017).

Публикации

По теме диссертации опубликовано 10 работ, в том числе три статьи в научных журналах из перечня ВАК.

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем 153 страницы машинописного текста, включающего 48 рисунков, 7 таблиц и 6 приложений. Список использованной литературы включает 161 наименование.

Благодарности

Автор глубоко признателен и благодарен своему научному руководителю к.г.-м.н., доценту, Е.А. Козыревой за всестороннюю поддержку на всех этапах подготовки диссертации и неоценимую помощь при проведении исследований и обсуждении фактического материала, а также полученных результатов. Огромную помощь в ходе работы своими ценными советами и практическими замечаниями оказал д.г.-м.н. С.В. Алексеев.

Автор искренне благодарен д.г.-м.н. Л.П. Алексеевой, к.г.-м.н. Д.О. Сергееву, к.г.-м.н. А.Н. Хименкову, к.г.-м.н. А.М. Кононову, к.г.-м.н. А.А. Рыбченко, к.г.-м.н. Т.Ю. Черкашиной PhD A. Vaks, PhD K. Yoshikawa, О.С. Гутаревой, М.В. Даниловой, Ю.В. Станиловской, А.В. Коптевой за помощь в сборе и обработке фактического материала и проведении лабораторно-экспериментальных исследований. Автор признателен всем коллегам, способствовавшим выполнению данной работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Природно-климатические условия юга Восточной Сибири

Территория юга Восточной Сибири относится к области с резко-континентальным климатом, где проявляются большие амплитуды годовых колебаний температуры воздуха. Среднемесячная амплитуда температурных колебаний изменяется от 30 до 55 °С, что влияет на температуру приземного слоя и грунтов в целом. За счет высокой интенсивности температурных колебаний глубина сезонномерзлого и сезонноталого слоя варьируется в значительных пределах, достигая глубины 3.0 м. Следовательно, даже незначительное изменение температуры воздуха находит свое отражение в температурном режиме грунтов.

На температурный режим грунтов оказывают влияние не только климатические факторы, но и геоморфологические, гидрологические, гидрогеологические и

дендрологические условия влияют на проникновение температурного потока в массив грунтовой толщи. Геоморфологические особенности определяют формирование сезонно-мерзлых грунтов и состояние многолетнемерзлых грунтов на этапе проникновения температуры в грунтовой массив. От экспозиции склона зависит глубина промерзания и протаивания грунтов. Поверхностные и подземные воды влияют на формирование криогенного строения и свойств мерзлых толщ, и способны оказывать тепловое воздействие на многолетнемерзлые грунты. Роль растительного покрова в изменении условий теплообмена дневной поверхности с приземным слоем воздуха в различные сезоны года неодинакова. В зимний период роль растительного покрова незначительна, в отличие от летнего периода, когда от густоты растительного покрова зависит проникновение солнечной радиации. Таким образом, растительный покров является немаловажным фактором в процессах теплообмена.

Природно-климатические условия определяют развитие сезонномерзлого и сезонноталого слоев грунтовой толщи и указывают на значительное влияние внешних факторов на современное формирование температурного состояния грунтов юга Восточной Сибири.

Глава 2. Общие геологические и инженерно-геологические особенности юга Восточной Сибири

На температурный режим, в совокупности с неоднородными внешними природно-климатическими условиями, прямое воздействие оказывают сложные геологические, инженерно-геологические и геокриологические условия. Эти условия являются основными факторами, оказывающими прямое влияние на развитие экзогенных геологических процессов, что, в совокупности с современными изменениями в температурном режиме грунтов, создают предпосылки для деградации многолетнемерзлых грунтов.

Геологические и инженерно-геологические особенности влияют на распределение температуры в грунтовой толще. На основании современных представлений о геологическом строении данной территории можно установить генетическую связь между составом, строением, состоянием и физико-механическими свойствами грунтов. От условий генетического формирования грунтов зависят такие показатели, как: дисперсность, плотность и степень увлажнения, которые способны интенсивно влиять на промерзание и протаивание грунтов. Участки, находящиеся в пределах одного района, могут иметь различный литологический состав и, как следствие, различные физические показатели – плотность, теплопроводность и теплоемкость, существенно влияющие на глубину промерзания-протаивания грунтов.

Стоит отметить, что значительное влияние на сложность инженерно-геологических условий оказывают многолетнемерзлые грунты, которые представлены в широком диапазоне. На территории юга Восточной Сибири выделены: область редких островов многолетнемерзлых грунтов; область островного распространения многолетнемерзлых грунтов и область сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов с таликами. Мерзлые грунты на территории юга Восточной Сибири имеют спорадическое распространение, и при изменении температурного режима способны активизировать различные мерзлотные процессы, связанные в основном с деградацией многолетнемерзлых грунтов.

Глава 3. Изученность района исследований и организация мониторинговой сети

Изучение инженерно-геологических условий юга Восточной Сибири связано с огромным объемом научных публикаций, обогативших современные знания о геологической среде. На этом поприще наиболее крупных результатов и международного признания добились такие выдающиеся ученые, как Н.А. Логачев, Ю.А. Зорин, С.И. Шерман, С.В. Рассказов, С.А. Кашик, В.Д. Мац, Г.Ф. Уфимцев, А.И. Киселев, С.В. Лысак и др. [Шерман, 1986; Флоренсов, 1987; Лысак, 1988]. Геодинамические процессы и явления,

распространенные на изучаемой территории, с различной степенью детальности охарактеризованы в работах В.П. Солоненко, Г.Б. Пальшина, Н.И. Демьянович, Ю.Б. Тржцинского и др. [Солоненко, 1960; Пальшин, 1955; 1968; Демьянович, 1976; Тржцинский, 1969; 2007].

Особенности развития и распространения многолетнемерзлых грунтов на территории юга Восточной Сибири рассматривались в работах М.И. Сумгина, В.Ф. Тумеля, В.Н. Шастина, Н.Е. Зарубина, и др. [Сумгин, 1937; Тумель, 1935; Зарубин 1964]. Особенно стоит отметить вклад Ф.Н. Лещикова, который раскрыл основные закономерности сезонного промерзания и протаивания [Лещиков, 1978; 1983]. Анализ опубликованных работ показал, что исследования мерзлых грунтов юга Восточной Сибири, выполненные до настоящего времени, по своему характеру, объему, детальности и методическому подходу различны и создают определенное представление об условиях распространения, мощности, развитии многолетнемерзлых грунтов, а также о глубинах, свойствах и закономерностях формирования сезонномерзлого и сезонноталого слоя.

В целях выявления особенностей температурного режима грунтов на территории юга Восточной Сибири оборудованы специализированные площадки для мониторинга температурного режима грунтовых толщ в современных условиях: глубины сезонного промерзания – протаивания с фиксацией температурных флуктуаций внутри массива (Рисунок 1).

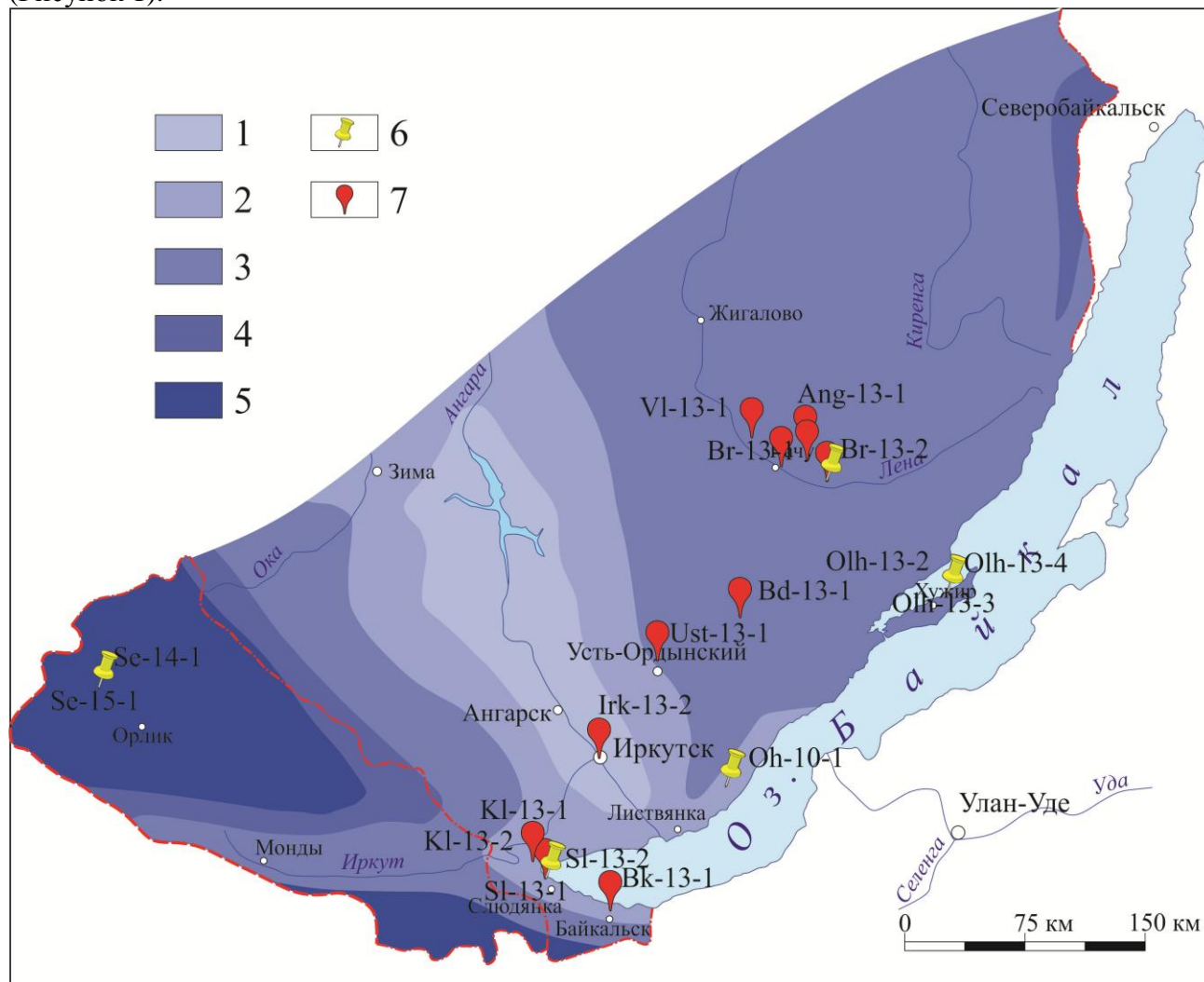


Рисунок 1. Расположение мониторинговых площадок на карте мерзлотного районирования

1 – область без многолетнемерзлых грунтов; 2 – область с редкими островами многолетнемерзлых грунтов; 3 – область островного распространения многолетнемерзлых грунтов; 4 – область многолетнемерзлых грунтов с островами таликов; 5 – область сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов; 6 – скважины с термодатчиками; 7 – скважины с термокосами

В настоящее время организованная мониторинговая сеть включает 23 площадки, на которых находятся 22 скважины и одна горная выработка. В 5 скважинах установлены четырехканальные температурные датчики НОВО U12, в 2-х скважинах – двухканальные температурные датчики НОВО Pro V2 2 ext. Temp, 4 скважины оборудованы одноканальными НОВО UA и 13 скважин – термокосами. Детальный анализ условий, сопоставление и обобщение данных температурного режима грунтов на юге Восточной Сибири позволяют оценить отклик геологической среды на современные климатические изменения и сопутствующие внешние воздействия.

Глава 4. Особенности термодинамического состояния грунтов

В современном научном мире проблема глобального изменения климата и температуры воздуха является весьма актуальной. В ряде регионов, относящихся к южной границе криолитозоны, отмечается изменение градиента среднегодовой температуры воздуха с отрицательного на положительный. Температурный режим грунтовой толщи во многом зависит от температуры воздуха.

Для территории юга Восточной Сибири на протяжении последнего столетия по данным метеорологических наблюдений выявлен положительный тренд температуры воздуха. В среднем температура воздуха повысилась на 1.5–2.5 °С. Прирост температуры воздуха происходит в основном в холодный период и составляет 0.055 °С/год, а летом – 0.015°С/год. Такая тенденция дополнительного поступления тепла в массив грунтовой толщи в последние годы приводит к трансформации физического и температурного состояния многолетнемерзлых грунтов.

Территория юга Восточной Сибири характеризуется глубоким сезонным промерзанием, где разнообразие мезо- и микроклимата, растительного покрова, рельефа, неоднородность состава рыхлых отложений определяет большой диапазон типов как сезонного промерзания, так и протаивания [Лещиков, 1978]. Качественные изменения в грунтах происходят в пределах верхнего горизонта на этапах промерзания – протаивания, когда от интенсивности колебания температуры воздуха зависит глубина промерзания. Ключевые участки (Oh, Oh и Kl) располагаются в талых грунтах на границе южной криолитозоны, данная территория в геокриологическом аспекте относится к областям развития редких линз мерзлых грунтов и островного распространения многолетнемерзлых толщ. По данным мониторинговых исследований на ключевых участках отмечается прирост среднегодовой температуры в приповерхностном слое грунтовой толщи, что указывает на дополнительное поступление тепла в массив. Тренд положительной температуры в сезонномерзлом слое наиболее характерен для ключевых участков, где подстилающие грунты находятся в талом состоянии и в совокупности с другими факторами (снежный покров, растительный покров, влажность грунтов и т.д.) определяет современный температурный режим грунтов.

Сезонное промерзание грунтовой толщи происходит при переходе температуры воздуха через изотерму 0 °С в первой половине ноября. Температура грунтов приповерхностного слоя осуществляет быстрый переход к отрицательным значениям. На отметке 0.1 м температура грунтов изменяется вслед за температурой воздуха в течение суток. За период ноября среднесуточная температура грунта составила до –5 °С. (Рисунок 2).

Отрицательные значения температуры приповерхностного слоя грунтов фиксируются с ноября по март–апрель. Минимальные отрицательные значения температуры в естественных условиях приповерхностного слоя достигают –20 °С и отмечаются в январе–феврале. В апреле температура приповерхностного слоя меняет свой знак на противоположный, но на глубинах ниже 1 м температура продолжает опускаться. За период исследования в большинстве наблюдательных скважин в пределах слоя годовых колебаний температуры фиксируются положительные среднегодовые значения температуры грунта как в верхнем слое, так и в области нулевых теплооборотов. Среднегодовая температура грунтов

в пределах сезонномерзлого слоя изменяется от 2.0 до 4.0 °С. За этот же период среднегодовая температура воздуха в пределах ключевых участков изменяется в пределах 1.5–2.0 °С. Температура грунтов, как и тренд температуры воздуха, имеют положительный среднегодовой градиент на всех наблюдательных участках. Наблюдательные площадки О1h, Оh и К1, расположенные в разных локальных геолого-геоморфологических условиях, демонстрируют единую реакцию геологической среды на внешние климатические изменения. Так, согласно данным инструментальных наблюдений, среднегодовая температура грунтов в кровле сезонномерзлого слоя на мониторинговом участке О1h в 2014 г. составила 4.2 °С на открытом степном участке при температуре воздуха 2.0 °С. На участке Оh, который расположен в лесном массиве, температура грунтов в кровле сезонномерзлого слоя в 2013 г. была 3.7 °С при температуре воздуха –0.6 °С. На открытом лесостепном участке К1 среднегодовая температура грунтов в 2014 г. достигла значения 1.9 °С при температуре воздуха 1.6 °С. Такие особенности формирования сезонномерзлого слоя показывают большее преобладание положительной температуры и ее проникновение в глубь массива, которое предопределяет особенности температурного состояния сезонномерзлого слоя.

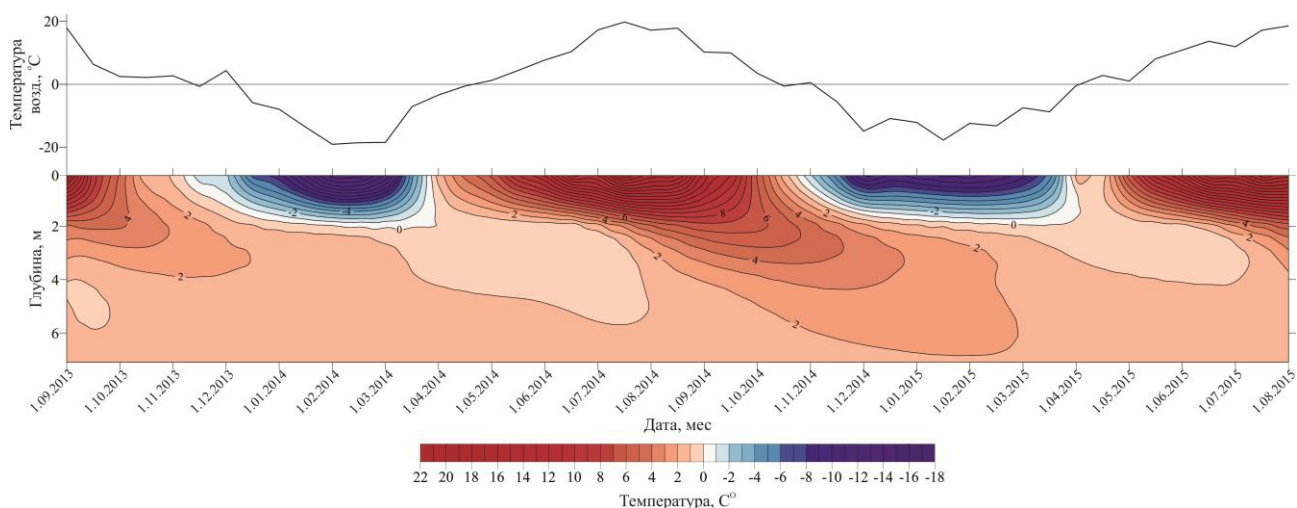


Рисунок 2. Термоизоплеты сезонномерзлого слоя в период 2013–2015 г.

Согласно опубликованным данным, в 70–80-х годах глубина промерзания грунтов на территории юга Восточной Сибири варьируется от 2.5 до 3.0 м. Промерзание грунтов отмечалось со второй половины октября, а протаивание наступало в первой половине апреля, при этом общий период промерзания – протаивания грунтов достигает 5–6 месяцев [Пальшин, 1968; Лециков, 1978]. По результатам исследований установлено, что промерзание грунтов в пределах наблюдательных площадок начинается в первой половине ноября, а протаивание грунтов фиксируется во второй половине марта. Период современного промерзания – протаивания составляет 4.5 месяца в отличие от 5–6 месяцев в 70–80-х годах. Максимальная глубина промерзания грунтовой толщи составила 2.3 м (степной район), что не достигает показателей 3.0 м, наблюдаемых в предыдущие периоды исследований на территории юга Восточной Сибири.

Глава 5. Температурный режим многолетнемерзлых грунтов

Многолетнемерзлые грунты являются хорошим индикатором современной трансформации климата и демонстрируют отклик геологической среды на внешние воздействия. Основные изменения температурного режима многолетнемерзлых грунтов и их взаимосвязь с температурой воздуха отражается в пределах сезонноталого слоя, где происходит основной теплообмен в годовом цикле.

Температурный режим в области редкоостровного распространения многолетнемерзлых грунтов юга Восточной Сибири отличается от температурного режима в грунтах на участках без развития мерзлоты. Амплитуда годовых колебаний на площадке с редкоостровным распространением многолетнемерзлых грунтов на глубине 0.1 м в сезонноталом слое изменяется в пределах от -7.4 до 14.9 °С, тогда как колебания в сезонномерзлом слое варьируются от -15.2 до 21.0 °С, разница составляет 13.9 °С. Отличаются максимальные и минимальные показатели температуры в годовом цикле теплооборотов. Так, в период 2015–2016 гг. в мерзлых грунтах минимальная температура на отметке 0.1 м составила -11.3 °С, тогда как минимальная температура в пределах участков с отсутствием многолетнемерзлых грунтов была -22.8 °С. Максимальная температура грунтов приповерхностного слоя в области с подстилающими мерзлыми грунтами составила 19.9 °С, в области талых подстилающих грунтов ее максимальное значение достигало 37.9 °С. Такое различие в распределении температуры грунтов в разрезе показывает, что проникновение температурного потока на участках редкоостровного распространения многолетнемерзлых грунтов более затруднено, что связано с присутствием в глубине массива отрицательного градиента температуры.

Среднегодовая температура в области редкоостровного распространения многолетнемерзлых грунтов на подошве сезонноталого слоя за период наблюдения составила -0.1 °С, что позволяет отнести данные мерзлые грунты к высокотемпературным; их физическое и температурное состояние напрямую зависит от внешних факторов. Высокотемпературные мерзлые грунты характеризуются незначительными отрицательными показателями температуры. Так, в период с 2012 по 2014 г. температура грунтов находилась на отметке -0.1 °С. В 2015 г. зафиксирован переход от отрицательных значений в сторону положительных, что демонстрирует мгновенный отклик температуры грунтов на внешние изменения в течение года (Рисунок 3). Нестабильное состояние в грунтах за период наблюдения указывает на уязвимость современного состояния линз и островов многолетнемерзлых грунтов на территории юга Восточной Сибири.

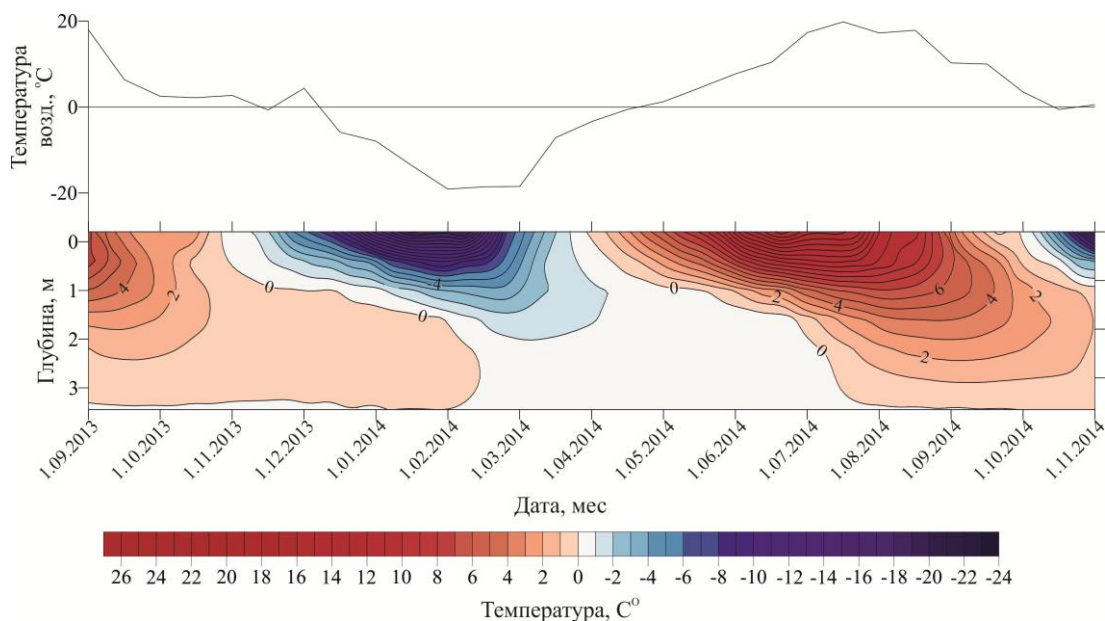


Рисунок 3. Термоизоплеты грунта на участке редкоостровного распространения многолетнемерзлых грунтов по данным температурных датчиков в период 2013 – 2014 г.

Реакция высокотемпературных мерзлых грунтов в области редкоостровного распространения многолетнемерзлых грунтов на воздействие внешних факторов приводит к увеличению глубины протаивания. По инструментальным данным, максимальная глубина протаивания зафиксирована на отметке 3.6 м.

Температурный режим в области распространения многолетнемерзлых грунтов имеет свои особенности формирования и отличается от других геокриологических типов мерзлых грунтов. В области сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов переход к отрицательным значениям температуры воздуха происходит в конце сентября, но устойчивая отрицательная температура устанавливается с середины октября, за сутки скачок температуры отмечается до $-7\text{ }^{\circ}\text{C}$. В ноябре происходит резкое понижение температуры воздуха и температура грунтов на глубине 0.1 м за месяц опускается с -2.2 до $-26.2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Резкое похолодание приводит к полному промерзанию грунтов сезонноталого слоя в течение месяца (Рисунок 4).

Минимальные отрицательные значения в естественных условиях на глубине 0.1 м достигают $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ в январе. Во второй половине апреля происходит переход через изотерму $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и начинается протаивание грунтов. В летний период максимальные положительные значения на отметке 0.1 м приходятся на конец июня – начало июля и колеблются в пределах от 15 до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Среднегодовая температура грунтов приповерхностного сезонноталого слоя имеет отрицательный градиент и равна $-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а среднегодовая температура воздуха составила $-3.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Значительный отрицательный градиент температуры грунтов указывает на ее стабильное состояние и благоприятные условия для сохранения многолетнемерзлых грунтов на данной территории в современных условиях.

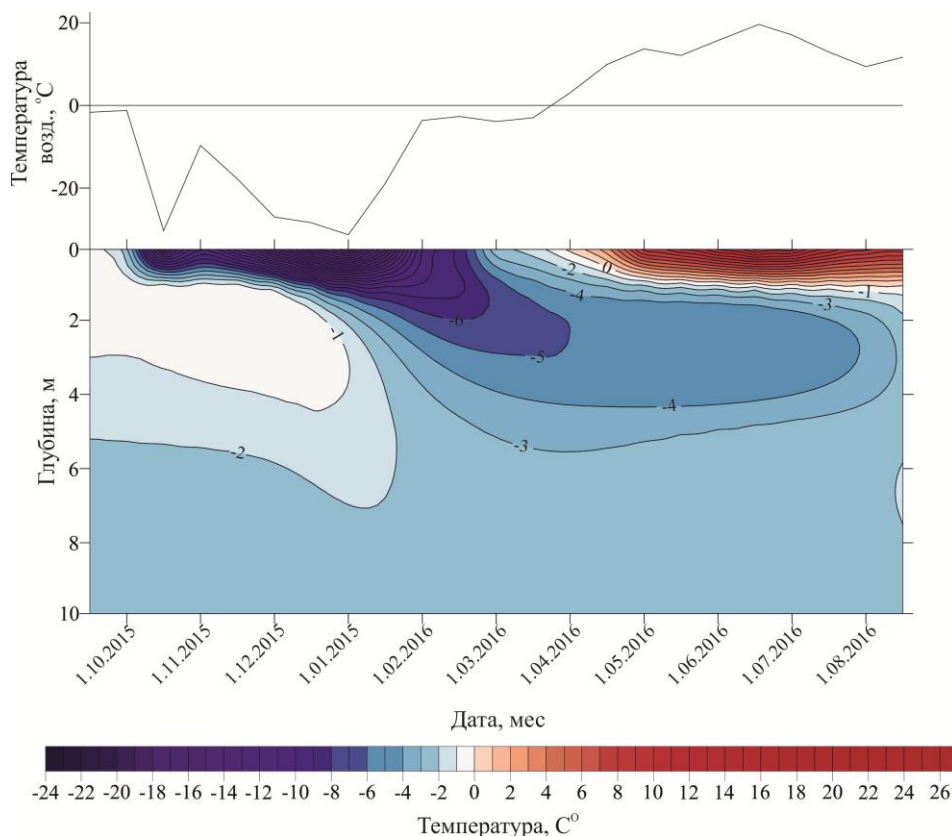


Рисунок 4. Термоизоплеты грунта на участке сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов по данным температурных датчиков в период 2015 – 2016 гг.

Мощность сезонноталого слоя в области сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов определяется температурным состоянием в подстилающих толщах с отрицательными температурными значениями грунтов, а современные показатели температуры в массиве контролируются локальными факторами. Так, на участке с распространением мерзлых грунтов, температура которых достигает $-2.1\text{ }^{\circ}\text{C}$, мощность сезонноталого слоя составила 1.0 м, а на участке, где расположены постоянные

поверхностные водотоки, обладающие дополнительным прогревом, температура повышается до $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ и глубина протаивания достигает отметки 1.5 м.

Глава 6. Влияние температурного режима грунтов на развитие и активизацию экзогенных геологических процессов

Изменение термодинамического режима приведет к изменению физических и механических свойств грунтов, что может спровоцировать развитие экзогенных геологических процессов. На территории о. Ольхон высокая активность оползневых процессов отмечалась в начале 60-х годов. Проблема оползневых деформаций на территории о. Ольхон рассматривается в работах Ю.Б. Тржцинского, Ф.Н. Лещикова, Г.Б. Пальшина, В.И. Хромовских, Н.И. Демьянович, В.И. Спесивцева, А.П. Мирошниченко, Е.А. Козыревой и др. Развитие солифлюкционных оползней связано с протаиванием многолетнемерзлых грунтов, что относит их к типу медленных пластических течений сезонноталого слоя [Пальшин, 1968; Лещиков, 1984].

В ходе исследований в пределах оползневых участков западного побережья о. Ольхон отмечалась периодическая активизация процесса деформации склона. Оползневой участок расположен на склоне, сложенном кайнозойскими переслаивающимися суглинисто-супесчаными рыхлыми образованиями (Рисунок 5). По разрезу отложения литологически неоднородны и обладают различными прочностными показателями, в основном невысокими. Гидрогеологическая ситуация на участке сложная: отмечаются локальные выходы грунтовых вод в виде мочажин и заболоченностей. Территория в геокриологическом аспекте относится к области редкоостровного распространения.

Масштаб 1 : 50

Наименование: Olh-13-1

Начата: 27.08.2013 г.
Окончена: 27.08.2013 г.

Абс. отм. устья:
Общая глубина: 8,0 м

№ слоя п/п	Геологический индекс	Глубина залегания слоя, м		Мощность, м	Абс. отметка подошвы слоя	Литологич. разрез	Глубина отбора образцов	Наименование грунта	Сведения о воде	
		От	До						Появление	Уст. уровень
1		0	0,05	0,05				Почвенно-растительный слой		
2		0,05	1,0	0,95				Суглинок тугопластичный, серый		
3		1,0	4,5	3,5			2	Супесь от пластичной до текучей, светло-коричневая, с глубины 1,5 вскрыт водоносный горизонт в интервале от 1,7 и до 1,9 м с включениями льда		
4		4,5	6,5	2,0			6	Суглинок мягкопластичный, серо-голубой, агрегированный		
5		6,5	8,0	1,5			8	Глина тугопластичная, серо-голубая, плотная, мерзлая		

Рисунок 5. Литологическая колонка оползневого участка.

С августа 2012 г. по декабрь 2014 г. получены данные температурного режима грунтов. В результате их анализа в цикле годовых теплооборотов выделены два полных полупериода прогрева и два полных полупериода охлаждения массива пород. Температура грунтов имеет значительные амплитуды колебаний – на глубине 0.6 м она изменяется от 14.9 до -11.8 °С, на глубине 1.0 м – от 8.8 до -7.1 °С, на отметке 1.6 м температура колеблется от 5.0 до -3.8 °С, что указывает на высокую теплопроводность отложений.

За летний период прогревания грунты получают больше тепла, чем теряют в момент охлаждения, и такая тенденция отмечена до глубины 3.6 м. Среднегодовое значение температуры за период 2013–2014 гг. в пределах ключевого оползневого участка составило 1.9 °С.

Присутствие в разрезе многолетнемерзлых грунтов определяет специфику температурного режима грунтов сезонноталого слоя. Годовые амплитуды температуры грунта характеризуются небольшими значениями. На участках с многолетнемерзлыми грунтами происходит резкое снижение температуры с глубиной. На границе перехода через нулевое значение от положительных температур к отрицательным отмечается запаздывание. С увеличением глубины увеличивается и время проникновения температурного потока. Так, для преодоления интервала от 0.6 до 1.0 м температурным потоком в среднем затрачивается от 30 до 40 суток, от 1.0 до 1.6 м запаздывание составляет 50–60 суток, и с глубины 1.6 до 3.6 м переход от положительных температур к отрицательным происходит через 60–70 суток. Такой временной диапазон в продвижении фронта температуры в массив указывает на постепенное протаивание и переход в талое состояние с определенными физико-механическими свойствами отложений (Рисунок 6).

Протаивание грунтов в пределах ключевого оползневого участка происходит во второй половине апреля, к концу мая грунты оттаивают до отметки 0.6 м, влажность грунтов в верхней части литологического разреза повышается за счет снеготаяния – в этот период происходит первый этап смещения протаявших блоков по мерзлым грунтам (Рисунок 6)

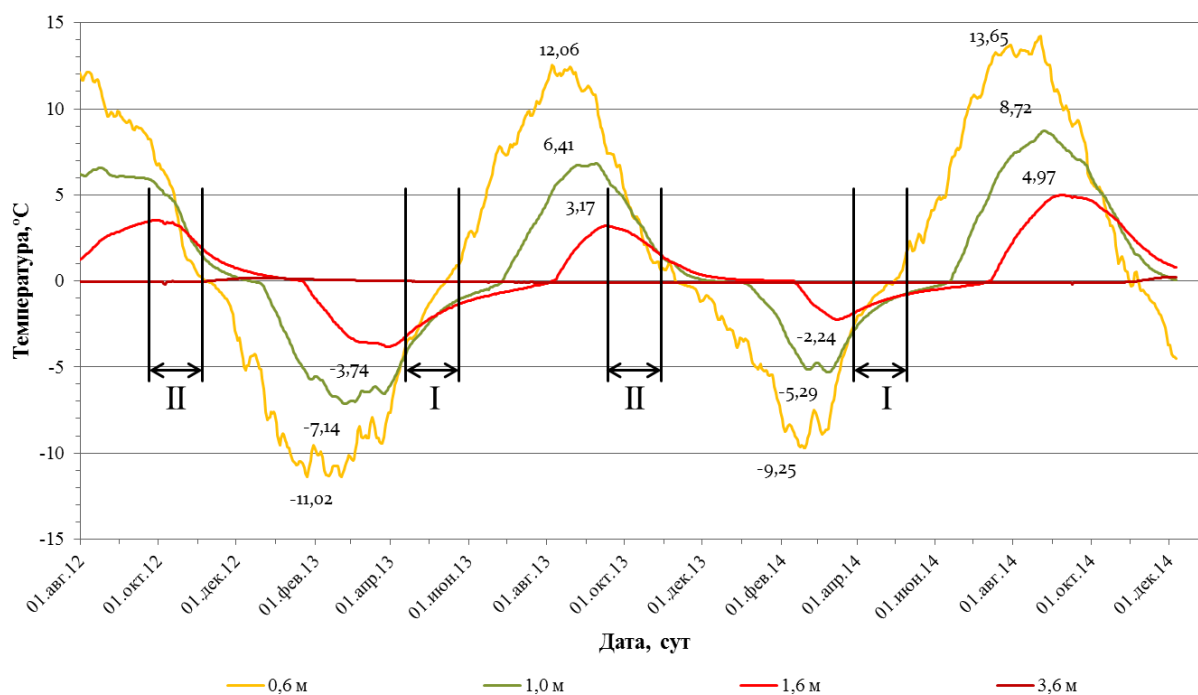


Рисунок 6. Температурный режим грунтов на участке активных солифлюкционных оползней.

В летний период происходит относительное затухание процесса деформаций. С повышением температуры воздуха происходит быстрое испарение влаги с поверхности, вследствие чего влажность в массиве снижается. Активизация оползневых процессов возобновляется в осенний период, когда снижается температура воздуха, а глубина протаивания достигает своей максимальной отметки и затрагивает многолетнемерзлые грунты (см. Рисунок 6).

В пределах ключевого оползневого участка отмечается увеличение влажности с глубиной. Так, на глубине 1.0 м она варьируется в пределах 4.5–6.3 %, но уже на отметке 4.0 м влажность возрастает до 29.2 %. Специфика миграции влаги заключается в создании дополнительных условий для развития оползневых процессов на границе сезонноталого слоя, а их переувлажнение ведет к активизации процесса.

Положительный тренд температуры воздуха в совокупности с глубоким протаиванием многолетнемерзлых грунтов, миграцией влаги и слабыми прочностными характеристиками грунтов в пределах ключевого участка приводят к активизации солифлюкционных оползневых процессов на о. Ольхон. Температура грунтов во многом определяет физическое состояние грунтов, что, в свою очередь, предопределяет фазы и циклы оползневой активности. Переувлажненные грунты до глубины 0.6 м в период с мая по июнь способны к движению и проявляют оползневую активность по еще не протаявшему слою. В этот временной период формируются поверхностные оползни, соразмерные зоне протаивания грунтов. Более глубокие деформации, мощности смещения которых глубже 2.0 м, возникают в осенний период в сентябре–октябре. В этом случае запускаются более сложные механизмы смещений. Распределение температурного режима грунтов в годовом цикле и анализ температурных кривых позволяют определить и спрогнозировать временные периоды и наиболее вероятные виды деформаций при активизации склоновых процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Мониторинговые участки, расположенные в различных геологических, геоморфологических, ландшафтных и пр. условиях демонстрируют идентичный отклик грунтов на изменение климата и температуры атмосферного воздуха. Температурный режим талых грунтов во всех скважинах демонстрирует рост положительного градиента температуры, сокращение периода промерзания и уменьшение мощности сезонномерзлого слоя. Так, для степных участков период промерзания талых грунтов составил 4 месяца при глубине промерзания 2.1 м, а на участке лесного массива – 5 месяцев при глубине 1.0 м.

2. Смещение температуры воздуха в годовом цикле ведет к изменению температурного режима грунтов. Уменьшение холодного периода и увеличение теплого изменяют темпы промерзания – протаивания и приведут к дополнительному поступлению тепла, что может спровоцировать запуск процесса деградации многолетнемерзлых грунтов, которые особенно уязвимы в пределах южной границы криолитозоны.

3. Многолетнемерзлые грунты на границе южной геокриологической зоны испытывают температурные преобразования под воздействием изменяющегося климата. Незначительная температура мерзлых грунтов в области распространения редких мерзлотных линз и постоянное возрастание температуры воздуха на некоторых участках приводит к увеличению глубины протаивания до 3.5 м, что, в свою очередь, является триггером для развития различных геокриологических процессов.

4. Мощность сезонноталого слоя в области сплошного распространения многолетнемерзлых грунтов напрямую зависит от температуры подстилающих мерзлых грунтов. Так, при температуре не ниже $-1.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ мощность сезонноталого слоя варьируется в пределах от 1.0 м до 1.5 м, а при температуре $-2.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ глубина протаивания не достигает отметки 1.0 м.

5. Активизация оползневых процессов в пределах оползневого участка зависит от температурного режима грунтов и глубины протаивания. В зимний период грунты находятся в стабильном мерзлом состоянии, но в момент протаивания происходит переувлажнение в верхней части грунтового массива, и с мая по июнь происходит сползание слоев мощностью до 0.5 м. В летний период смещение оползневых масс приостанавливается и возобновляется уже в сентябре–октябре в момент максимального протаивания, когда запускаются процессы более глубоких смещений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

ВАК публикации:

1. **Светлаков А.А.**, Козырева Е.А., Рыбченко А.А. Предварительный анализ температурного состояния грунтов острова Ольхон (По данным мониторинга) // Вестник ИрГТУ. – 2014. – № 4. – С. 81–85.

2. Васильчук Ю.К., Алексеев С.В., Аржанников С.Г., Алексеева Л.П., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н., Аржанникова А.В., Васильчук А.К., Козырева Е.А., Рыбченко А.А. и **Светлаков А.А.** Изотопный состав ледогрунтового ядра минеральных бугров пучения в долине реки Сенца, Восточный Саян // Криосфера Земли. – 2015. – № 2. – С. 52–66.

3. Алексеев С.В., Алексеева Л.П., Васильчук Ю.К., Козырева Е.А., **Светлаков А.А.**, Рыбченко А.А. Бугры пучения в долине реки Сенца, Окинское плоскогорье, Восточный Саян // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 3. – С. 121–126.

Материалы конференций:

4. **Светлаков А.А.** Анализ современного термодинамического состояния верхних слоев литосферы Прибайкальского региона по опубликованным и фондовым материалам // Материалы XXV Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск, 2013. – С. 133–134.

5. **Светлаков А.А.**, Козырева Е.А., Рыбченко А.А. Предварительная оценка температурного состояния грунтов на острове Ольхон (По материалам мониторинговых наблюдений) // Геология, поиски и разведка полезных ископаемых и методы геологических: Материалы Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием «Геонауки-2014: актуальные проблемы изучения недр». – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2014. – Т. 14. – С. 46–48.

6. Козырева Е.А., Рыбченко А.А., **Светлаков А.А.** Температурный режим грунтов как фактор формирования береговых склонов (на примере мониторинговых участков) // Материалы XXV Международной береговой конференции «Береговая зона – взгляд в будущее». – Москва, 2014. – Т. 1. – С. 69–71.

7. **Светлаков А.А.**, Козырева Е.А. Изменение термодинамического состояния грунтов степных участков острова Ольхон // Строение литосферы и геодинамика. Материалы XXVI Всероссийской молодежной конференции. – Иркутск, 2015. – С. 158–160

8. **Светлаков А.А.**, Козырева Е.А. Предварительный анализ термодинамического состояния грунтов на острове Ольхон (по материалам мониторинга) // Материалы XXVI Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск, 2015. – С. 160–162.

9. **Светлаков А.А.**, Козырева Е.А. Температурное состояние мерзлых грунтов Прибайкалья (на примере о. Ольхон) // Материалы XXVII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск, 2017. – С. 207–208.

10. **Светлаков А.А.**, Козырева Е.А., Алексеев С.В. Температурный режим многолетнемерзлых грунтов в долине реки Сенца // Материалы XXVII Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика». – Иркутск, 2017. – С. 209–210.