

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН
Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова
Сибирское отделение РАН
Академия наук Республики Саха (Якутия)
Министерство промышленности и геологии РС (Я)



**ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫЕ РЕСУРСЫ
СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ**

**Материалы XII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной
65-летию Института геологии алмаза и благородных металлов
Сибирского отделения РАН**

23 – 25 марта 2022 г.

Якутск
2022

УДК 55(063) (571.56)
ББК 26.3Я43 (2 Рос. Яку)

Ответственный редактор

В.Ю. Фридовский

Редакционная коллегия:

Л.И. Полуфунтикова, А.В. Прокопьев, О.Б. Олейников, Л.Л. Федорова, В.Ф. Попов

На обложке: Золото-кварцевые жилы, месторождение Хотунское, Аллах-Юньский металлогенический пояс.

Фото М. Кудрина, 2022 г.

Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России [Электронный ресурс] : материалы XII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Института геологии алмаза и благородных металлов Сибирского отделения РАН, 23-25 марта 2022 г. / [Отв. ред. В.Ю. Фридовский]. – Якутск : Издательский дом СВФУ, 2022. – 1 электрон. опт. диск.

ISBN 978-5-7513-3284-6

В сборнике представлены труды XII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной геологии и минерально-сырьевым ресурсам Северо-Востока России, прошедшей в очно-заочной форме. Изложены результаты изучения тектоники, геодинамики, эволюции литосферы и магматизма, геологии, минералогии и рудообразующих систем месторождений полезных ископаемых СВ Азии. Приведены новые сведения по гидрогеологии, геоэкологии, мерзлотоведению, а также технике и технологии разведки и добычи полезных ископаемых.

Материалы сборника предназначены для научных работников и специалистов, а также студентов, обучающихся по геологическим специальностям.

УДК 55(063) (571.56)
ББК 26.3Я43 (2 Рос. Яку)

ISBN 978-5-7513-3284-6

© ИГАБМ СО РАН, 2022
© Северо-Восточный
федеральный университет, 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ТЕКТОНИКА, ГЕОДИНАМИКА И ЭВОЛЮЦИЯ ЛИТОСФЕРЫ СЕВЕРО-ВОСТОКА АЗИИ

Алексеев В.И.	
Известково-магнезиальный тренд эволюции гранитоидных комплексов Яно-Колымской провинции как индикатор их рудоносности	11
Александров А.Р.	
Изучение пространственного распространения различных типов сырья на месторождении Хонгуруу	14
Бурмакина Г.Н., Цыганков А.А., Хубанов В.Б.	
Особенности смешения магм в гранитоидах разных геодинамических обстановок	19
Васильев Д.А., Прокопьев А.В.	
Тектонические деформации центральной части Кулар-Нерского террейна	23
Васильева А.Е., Гоголева С.С.	
Взаимоотношение базитов Сектеляхского объекта с кимберлитовмещающими образованиями Куойкского кимберлитового поля	28
Верниковская А.Е., Верниковский В.А., Матушкин Н.Ю., Кадильников П.И., Романова И.В.	
Возраст и природа гранитов А-типа Стрелковского массива (Енисейский кряж, западное обрамление Сибирского кратона)	32
Гриненко В.С., Баранов В.В.	
Тумул-Келимярская – новокиммерийская эпохи эволюции Восточно-Сибирского бореального осадочного бассейна	37
Гриненко В.С., Баранов В.В.	
Герцинская – древнекиммерийская эпохи эволюции Восточно-Сибирского бореального осадочного бассейна	42
Гусев Н.И., Сергеева Л.Ю., Скублов С.Г.	
Эоархейский детритовый циркон в гранулитах Анабарского щита	46
Иванов А.И., Иванов М.С., Лоскутов Е.Е., Журавлев А.И.	
Петрографический и петрохимический составы силла сиенитов в районе месторождения Таежное (Южная Якутия, Алданский щит)	52
Калинин А.И., Сивцев А.И.	
Пермские отложения на северном склоне Якутского поднятия	57
Килясов А.Н., Кутыгин Р.В.	
О литологическом и биостратиграфическом делении отоцерасовых слоев в правобережье р. Сеторым, Южное Верхоянье	61
Колосов П.Н., Охлопкова И.Ф.	
Некоторые дрожжи бюксской свиты венда Якутии	67
Копылова А.Г., Гоголева С.С.	
Базиты Тюнго-Мунского междуречья	72
Королева О.В., Копылова А.Г., Томшин М.Д., Округин А.В.	
Вклад профессора Б.В. Олейникова в изучение магматизма Сибирской платформы	77
Макошин В.И.	
О новом виде брахиопод рода <i>Waagenoconcha</i> из нижнепермских отложений низовья р. Лены	80
Милаушкин М.В.	
Минералого-геохимическая характеристика щелочных пород участка Калюмный Сыннырского массива	84

Моисеев А.В., Соколов С.Д., Палечек Т.Н., Гущина М.Ю.	
Аккреционная призма Охотско-Чукотского вулканического пояса в структуре Алганского террейна (Корякская складчатая система)	90
Николаев А.И., Баранов В.В.	
Раннедевонские спирифериды Северо-Востока России и их стратиграфическое значение	96
Новиков В.С., Савельев А.Д.	
Геодинамические обстановки формирования верхнепротерозойских магматических комплексов Юго-Восточной части Анабарского щита	100
Округин А.В.	
Хромит-ульвошпинелевая серия минералов и окситермобарометрия щелочных пикрит-базитовых пород севера Сибирской платформы	105
Остапенко Д.В.	
Литолого-фациальная характеристика отложений верхнего палеозоя в пределах восточного борта Тунгусской синеклизы (Сюльдюкарское кимберлитовое поле) (Якутия)	111
Павлова К.А., Калинин А.И.	
Палеогеография верхнего докембрия Колымского массива	116
Полуфунтикова Л.И., Фридовский В.Ю.	
Литохимия, условия осадконакопления и металлоносность верхнетриасовых отложений Центральной части Кулар-Нерского террейна (СВ Азии)	119
Прокопьев А.В., Стокли Д., Васильев Д.А.	
Высокоамплитудные надвиговые перемещения в Южно-Верхоянском орогенном поясе (СВ Азии)	124
Сычев С.Н., Лебедева О.Ю., Рогов А.В.	
Позднеордовикский вулканизм Рассохинского террейна (Восточная Якутия)	127
Третьякова О.Г., Третьяков М.Ф., Третьяков Ф.Ф., Охлопкова И.Ф.	
Сравнение методов построения геологических каркасных моделей, применяемых в горно-геологических информационных системах, на примере Томпонского полигона СВФУ	130
Трунилина В.А.	
Субвулканы юго-востока Уяндино-Ясачненской вулканической дуги	134
Цыганков А.А., Бурмакина Г.Н., Хубанов В.Б.	
Источники магм гранитоидов южной части главного батолитового пояса (Северо-Восток Азии): новые геохимические и Sm-Nd изотопные данные	140
Шкодзинский В.С.	
Происхождение траппов по данным о горячей гетерогенной аккреции Земли	146
Шкодзинский В.С.	
Природа самородного железа в траппах	152

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Анисимова Г.С.	
Роль В.А. Амузинского в изучении золоторудных месторождений Якутии: к 80-летию со дня рождения	156
Анисимова Г.С., Кондратьева Л.А., Кардашевская В.Н.	
Минеральные типы золотого оруденения Спокойнинского рудного узла Тыркандинского района	161
Баранов Л.Н., Толстов А.В.	
Типоморфизм апатита фоскоритов массива Томтор как отражение их генезиса	166

Герасимов Б.Б., Желонкин Р.Ю., Земнухов А.Л.	
Минеральный состав золотосодержащих гидротермально-метасоматических образований Анабарского района	171
Глухов А.Н., Бириков А.А., Акинин В.В., Ползуненков Г.О., Травин А.В.	
Первые Ag-Ag данные о возрасте золотых руд Приколымского террейна (Северо-Восток Азии)	176
Журавлев А.И., Округин А.В., Иванов М.С., Иванов Е.Е., Кравченко А.А.	
Дисперсная золоторудная минерализация в породах Медведевского массива и возможность формирования с ними россыпеобразующего золота (Алданский щит)	178
Кондратьева Л.А., Анисимова Г.С.	
Минералы ртути, таллия и мышьяка Хохойского месторождения, Алданский щит	184
Костин А.В.	
IOCG минерализация в Кильдямском вулканическом комплексе, Центральная Якутия, Россия	189
Кравченко А.А., Лоскутов Е.Е., Тимофеев В.Ф., Прокопьев И.Р., Кириллин Е.И., Рожин С.С.	
Структурный контроль мантийного магматизма и рудных месторождений в Центральной части Алдано-Станового щита	195
Кравченко А.А., Березкин В.И., Журавлев А.И., Попов Н.В., Лоскутов Е.Е.	
Рудоносные магматические комплексы раннего докембрия Алданской гранулитогнейсовой области: вещественный состав и условия формирования	200
Кудрин М.В., Колова Е.Е., Фридовский В.Ю.	
Изотопия благородных газов ($^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$, $^3\text{He}/^4\text{He}$, ^{20}Ne) во флюидных включениях кварца и РТХ-параметры рудообразования мезотермального орогенного месторождения золота Хангалас (Восточная Якутия)	206
Макшаков А.С., Кравцова Р.Г.	
Способ опробования аллювия крупных речных долин при поисках золота и серебра (Северо-Восток России)	210
Молчанов В.П., Андросов Д.В., Юдаков А.А., Иванников С.И.	
Разнотипная золотая минерализация ультрабазитов Сихотэ-Алиня (Приморье)	216
Никифорова З.С.	
Масштабы проявления гидротермально-метасоматических золотоносных образований (восток Сибирской платформы)	219
Округин А.В., Герасимов Б.Б.	
Магматогенный парагенезис платины и палладистого золота в россыпях р. Анабар на Сибирской платформе	224
Приimenко В.В., Глухов А.Н., Фомина М.И., Акинин В.В., Михалицына Т.И., Соцкая О.Т.	
Возраст, геология и вещественный состав золото-редкометалльного месторождения Перекатное	230
Протопопов Р.И.	
Золото-кварцевая формация поднадвиговых зон Верхне-Индибирского золотоносного района	233
Сажина Т.И., Дамдинова Л.Б.	
Минеральный состав и условия формирования вольфрамовых руд Джидинского рудного поля (Юго-Западное Забайкалье)	239
Серкебаева Е.С.	
Особенности химического состава блеклых руд месторождения Бадран	245
Тарасов Я.А., Фридовский В.Ю., Полуфунтикова Л.И., Кудрин М.В.	
Минералого-химическая характеристика жильной минерализации Маринского золоторудного месторождения (Аллах-Юньская металлогеническая зона, Восточная Якутия)	250

Фридовский В.Ю., Яковлева К.Ю., Верниковская А.Е. Готерив-аптское (132-123 млн лет) тектонотермальные событие в развитии оруденения западной части Яно-Колымского золотоносного пояса: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ геохронология даек и метасоматитов	256
Фридовский В.Ю., Полуфунтикова Л.И., Кудрин М.В., Гамянин Г.Н. Нелинейная вертикальная изотопная зональность и химический состав вкрапленных сульфидов золоторудного месторождения Бадран, СВ России	259

ГЕОЛОГИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗА

Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Барабаш Е.О., Самданов Д.А. Структура алмазоносности Северо-Востока Сибирской платформы	264
Афанасьев В.П., Угапьева С.С., Логвинова А.М., Федорова Е.Н. Изменение формы включений минералов в алмазе - результат диффузионных процессов	268
Барабаш Е.О., Афанасьев В.П., Похиленко Н.П., Иванов П.О. Оценка перспектив коренной алмазоносности бассейна Кыра-Разбойник (приток р. Оленек)	274
Бардухинов Л.Д., Седых Е.М. Критерии алмазоносности коренных месторождений Якутии по данным комплексного изучения алмазов	280
Бескрованов В.В. О возможном механизме образования алмаза-матрешки	283
Гибшер А.А., Мальковец В.Г., Яковлев И.В., Милаушкин М.В. Минералогия и геохимия гранатов из некоторых трубок центральной части Алакит-Мархинского поля (Сибирский кратон)	287
Забелин А.В., Тарских О.В., Гибшер А.А., Мальковец В.Г. Применение адаптированного алгоритма «случайный лес» к массивам результатов химического анализа индикаторных минералов кимберлитов для алмазопроисковых работ на примере участка Сохсолох-Верховье, Алакит-Мархинское кимберлитовое поле (Западная Якутия)	292
Зинчук Н.Н., Зинчук М.Н. О концентрации и значении глинистых минералов в древних алмазоносных толщах	298
Зинчук Н.Н., Бардухинов Л.Д. Особенности изучения ксенолитов глубинных пород в кимберлитовых трубках	304
Иванов М.А., Федотова М.А., Леонтьев С.П., Протопопов Ф.Ф., Алексеев А.А. Распределение примесей в алмазах ювелирного качества из трех различных месторождений Якутской алмазоносной провинции	311
Иванова О.А., Похиленко Н.П., Афанасьев В.П., Зедгенизов Д.А. Особенности дефектно-примесного состава алмазов разного габитуса из месторождения Снэп Лейк (кратон Слейв, Канада)	314
Ильина О.В., Агашев А.М. Содержание и распределение ЭПГ в породах литосферной мантии: данные по ксенолитам из трубки Удачная (Якутия)	317
Костровицкий С.И. Дискуссионные вопросы происхождения кимберлитов	321
Липашова А.Н., Антонова Т.А. Алмазы из реки Большая Куонамка	324
Липашова А.Н., Антонова Т.А., Помазанский Б.С. Автолитовая кимберлитовая брекчия трубки Зарница	327

Опарин Н.А., Олейников О.Б., Бекренев К.А., Андреев А.П. Геологическое строение и вещественный состав кимберлитовых трубок Центральной Якутии	333
Ощепкова М.Г., Олейников О.Б. Ильмениты из ксенолитов мантийных метасоматизированных пород трубки Обнаженная	339
Ратьков С.С., Сулонов Ю.В., Забелин А.В. Использование базы данных первичной геологической информации для автоматизированного формирования проектных разрезов скважин	344
Специус З.В., Иванов А.С. Новый тип диаграмм для сравнения гранатов мантийных ксенолитов из трубок Комсомольская и Юбилейная, Якутия	348
Старкова Т.С., Муллаярова Л.С., Овчинников И.М., Остапенко Д.В., Толстов А.В. Новые кимберлиты Сюльдюкарского поля (Ыгыаттинский алмазоносный район, Якутия)	353
Тарских О.В., Забелин А.В., Гибшер А.А., Мальковец В.Г. Идентификация коренного источника ореолов рассеяния индикаторных минералов кимберлитов участка «озеро Мутное» при помощи алгоритма «случайный лес», Алакит-Мархинское кимберлитовое поле (Западная Якутия)	358
Яковлев И.В., Мальковец В.Г., Гибшер А.А., Краснянский А.А., Милаушкин М.В. Особенности состава литосферной мантии под верхнемунским кимберлитовым полем по данным изучения минералов спутников алмаза	361

ГИДРОГЕОЛОГИЯ, ГЕОЭКОЛОГИЯ И МЕРЗЛОТОВЕДЕНИЕ

Баишев Н.Е. Расчет объема природно-техногенной наледи на федеральной автодороге А-360 «Лена» по данным космических снимков sentinel-1 и sentinel-2	368
Васильев М.С. Характеристики тропосферы в Центральной Якутии по данным аэрологической станции Якутск в 24-м цикле солнечной активности	373
Васильева Т.И., Легостаева Я.Б. Минералогический состав аллювиальных почв Центрально-Якутской равнины	377
Гагарин Л.А. Особенности распространения наледей гор Куньлунь	382
Глязнецова Ю.С., Лифшиц С.Х., Зуева И.Н., Чалая О.Н. Оценка современного углеводородного состояния мерзлотных почв Якутии	388
Гололобова А.Г. Накопление и пространственное распределение элементов в мерзлотных почвах Арктики	393
Ефимов С.Е., Александров А.Р., Ерофеевская Л.А. Изучение сорбента на основе вспученного вермикулита для ликвидации разливов нефти на воде	398
Климова И.В., Макаров В.Н., Торговкин Н.В. Минералогический состав взвешенных веществ городской приземной атмосферы	403
Кузьмин Д.С. Многолетняя изменчивость родникового стока межмерзлотных подземных вод в долинах рек Сюльдюкар и Вилюй	407
Лифшиц С.Х., Глязнецова Ю.С., Чалая О.Н., Зуева И.Н. Особенности трансформации нефтезагрязнения на территориях техногенных объектов Арктической зоны РС(Я)	412
Легостаева Я.Б., Шадринова О.В., Журавлев А.И., Попов В.Ф., Ноев Д.С. Геоэкологические аспекты геологоразведочных работ в Западной Якутии	417

Лунецкайте В.В., Чжан Т.Р.	
Инженерно-геологические и инженерно-геокриологические условия территории в районе аэропорта г. Якутск	420
Лыткин В.М., Шапошников Г.И., Васильева А.Н., Галанин А.А., Павлова М.Р.	
Морфология и возраст современных донных образований Центральной Якутии	422
Лыткин В.М.	
Температурный режим многолетнемерзлых пород на участках проявления термокарстовых процессов	424
Мустафин С.К., Бадретдинов Р.Ф.	
Инженерно-геологические исследования для строительства подземного речного перехода нефтепровода методом горизонтально-направленного бурения	428
Мустафин С.К., Анисимова Г.С., Трифонов А.Н., Стручков К.К.	
Геолого-экологические риски ртутной безопасности современной системы горного инжиниринга недропользования	434
Павлова Н.А., Лебедева Л.С., Байшев Н.Е., Кузьмин Д.С., Данзанова М.В.	
Геохимия поверхностных и подземных вод тукулана Махатта (Центральная Якутия)	440
Павлова Н.А., Гагарин Л.А., Шепелев В.В., Николаев П.А., Кузьмин Д.С., Данзанова М.В.	
Гидрохимическая характеристика родников в районе с. Сюльдюкар Мирнинского района РС(Я)	446
Поморцев О.А., Ловелиус Н.В., Кашкаров Е.П., Кузьмин Д.С.	
Современное потепление и теория ритмов Е.В. Максимова	452
Попов В.И.	
Модельные представления для расчета основной гидрофизической характеристики поровой влаги	457
Попов С.В., Лебедева Л.С., Ефремов В.С.	
Опыт применения математического моделирования для оценки теплофизических свойств грунта в Центральной Якутии	462
Руфова А.А.	
Анализ и динамика трансформации гидрохимического состава озер г. Якутска	468
Седельникова А.Л., Макаров В.Н.	
Стронций в воде городских озер	474
Сивцев М.А., Жирков А.Ф.	
Численное моделирование возможности восстановления нарушенных территорий с сильнольдистыми отложениями в Центральной Якутии	479
Сивцева Н.Е.	
Изучение свойств субстрата отвалов прииска Маят	485
Торговкин Н.В., Тумской В.Е., Романис Т.В.	
Изотопный состав и гидрохимия подземных льдов Юго-Востока хребта Черского	490
Тумской В.Е., Торговкин Н.В., Романис Т.В.	
Термоцирк на морене в долине р. Сунтар	494
Черепанова А.М., Шепелев А.Г.	
Содержание углерода в верхней части деятельного слоя голоценовых отложений (на примере Бестяхской и Тюнгилюнской террас, Центральная Якутия)	499
Шадринова О.В.	
Антропогенно-измененные почвы Западной Якутии	503
Юй Мяо, Павлова Н.А.	
Моделирование уровня режима межмерзлотных вод в криолитозоне (на примере района источника Ерюю, Центральная Якутия)	507
Янников А.М.	
Особенности формирования дезинтегрированных толщ в открытых горных выработках в зонах многолетнемерзлых пород месторождения трубки «Айхал»	513

Янников А.М., Янникова С.А. Анализ площадного изменения газообильности Толбачанской свиты в околотрубном пространстве месторождения трубки "Интернациональная"	516
--	-----

ГЕОЛОГИЯ НЕФТЕГАЗОНОСНЫХ ПРОВИНЦИЙ

Дохунаев П.Н., Сивцев А.И., Карпова М.И. Природа дефицита пластового давления в Непско-Ботуобинской антеклизе	521
Егорова Т.Р., Сивцев А.И., Карпова М.И. Перспективы наращивания сырьевой базы УВ в зоне влияния газопровода «Сила Сибири»	525
Зуб О.Н. Локальный прогноз нефтегазоносности субаквальных площадей и побережья Черного моря по результатам геохимических исследований донных отложений	529
Зуева И.Н., Чалая О.Н., Каширцев В.А., Лифшиц С.Х., Глянцева Ю.С. Геохимические предпосылки нефтеносности Виллойской синеклизы	533
Погодаев А.В., Матвеев А.И. Перспективы нефтегазоносности северо-западного склона Алданской антеклизы, в свете новых данных поискового бурения	538
Погодаев А.В., Севостьянова Р.Ф. Гидродинамические условия месторождений подсолевой гидрогеологической формации Непско-Ботуобинской антеклизы (на примере Верхневиллючанского месторождения)	544
Сивцев А.И., Петров Д.М., Александров А.Р. Причины низкой эффективности геологразведочных работ в Индигино-Зырянском прогибе	549
Сивцев А.И., Рудых И.В. Выступы фундамента как поисковый критерий углеводородного насыщения	552
Сивцев А.И., Рудых И.В., Климов Е.Н. Нефтепроявления в Виллойской синеклизе	556

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Адибекян М.В. Анализ наблюдений геомагнитных и электромагнитных временных рядов для обнаружения предвестников землетрясений	560
Ефремов В.Н. Оценка изменения льдистости грунтов по эффективному сопротивлению на радиочастотах	563
Ефремов В.Н. Выделение таликов в мерзлых грунтах по электромагнитному сопротивлению	567
Куляндина А.С., Козьмин Б.М., Шibaев С.В. Особенности проявления Артыкского (Оймяконского) землетрясения 1971 г. в геофизических полях	571
Макаров А.А., Козьмин Б.М. Развитие сейсмических процессов в транзитной зоне: байкальский рифт – становая складчатая система	576
Марсанова М.Р., Титов Е.А. Возможности геофизических методов для установления новых черт глубинного строения Непско-Пеледуйского свода и сопряженного с ним Предпатомского прогиба	580

Оболкин А.П.	Проявление Байкальской складчатости в основании Томпонской впадины восточной окраины Сибирской платформы по данным сейсморазведки	584
Соловьев Е.Э., Колесов Р.Е.	Геофизические критерии золотого оруденения юга Алдано-Станового щита	590
Суворов В.Д., Мельник Е.А., Павлов Е.В.	Структура земной коры Алдано-Станового щита по данным МПВ и ГСЗ (южная часть профиля 3-ДВ)	594

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИЯ РАЗВЕДКИ И ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

Батугина Н.С., Хоютанов Е.А.	Оценка основных факторов, влияющих на эффективность отработки россыпных месторождений золота в условиях Крайнего Севера	601
Бураков А.М.	Использование водно-тепловой мелиорации для подготовки к выемке многолетнемёрзлых пород россыпных месторождений	607
Гаврилов В.Л., Немова Н.А.	Об экологических рисках освоения угольных месторождений Южной Якутии	613
Григорьев Б.В., Скрябин Р.М.	Буровая коронка универсальная для колонкового бурения с продувкой сжатым воздухом оснащенная вставками АТП	618
Каймонов М.В.	Разработка рекомендаций по обеспечению оптимального режима процессов тепломассообмена при круглогодичном кучном выщелачивании золота в условиях криолитозоны	621
Саввинова Д.А., Бубнова А.Р., Иванов В.К., Калачева Л.П., Иванова И.К., Портнягин А.С.	Влияние окатанности зерен песков на гидратообразование природного газа в пористых средах	626
Соловьев Д.Е.	Прогноз температурного режима строящейся глубокой россыпной шахты	632
Тимофеев Н.Г., Скрябин Р.М., Леонтьев С.Н., Сивцев А.И.	О разработке бурового снаряда для комбинированного бурения скважин	637
Хосоев Д.В.	Оценка горнотехнических условий эльгинского месторождения с позиции применения горных комбайнов КСМ-2000Р	641

**ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ
НАРУШЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ С СИЛЬНОЛЬДИСТЫМИ ОТЛОЖЕНИЯМИ В
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**

Максим Сивцев, Александр Жирков
ФГБУН Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Россия, г. Якутск, ул. Мерзлотная, 36

**NUMERICAL MODELLING THE POSSIBILITY OF RESTORATION OF
DISTURBED TERRITORIES OF THE ICE-RICH PERMAFROST IN CENTRAL
YAKUTIA**

Maxim Sivtsev, Alexander Zhirkov
Melnikov Permafrost Institute SB RAS, 36, Permafrost str., Yakutsk, 677010, Russia

Annotation. In 2021, experimental sites were created in the Amginsky district Yakutia in order to assess the possibility of restoring the destroyed territories of the ice complex of Central Yakutia by recreating the transient layer.

As a result of the numerical experiment, the best and optimal conditions were established under which it is possible to reconstruct the transient layer. It has been found that a clear restoration of the transient layer will be observed at full moisture capacity - the moisture content of soils within the active layer for the warm period of the year is set by values equal to the full moisture capacity of soils and in the absence of snow, in which the most ice-saturated thick transient layer appears.

1. Введение

Нарушение естественного равновесия, связанное с наблюдаемым потеплением климата и антропогенными нарушениями, приводит к развитию процессов термокарста, эрозии и солифлюкции. В результате деградации сильнольдистых отложений образуются типичные термокарстовые озера [1, 2]. Разрушенные ландшафты представляют собой открытые луга и нарушенные территории, и отличаются тонким защитным [3] или переходным [4] слоем, который представляет собой зону между основанием деятельного слоя и поверхностью льдонасыщенных горизонтов.

По изучению проблем сельскохозяйственного освоения и рационального использования земель, стоит выделить работы Гаврильева П.П., Мандарова А.А., Угарова И.С. Начиная с 1970-х годов под руководством П.П. Гаврильева проводились масштабные исследования сезонной динамики водно-теплового режима сезонно-талого слоя (СТС) естественных и сельскохозяйственных земель (аласных, долинных, мелкодолинных) Центральной Якутии [5, 6]. В результате были выявлены основные закономерности формирования гидротермического режима мерзлотных почв и грунтов СТС и особенности нарушения поверхности агроландшафтов под тепляющим и охлаждающим влиянием комплексных мелиоративных, культуртехнических и агротехнических мероприятий [7, 8]. В том числе, результатом этих исследований стали первые попытки восстановления нарушенных термопросадками сельхозугодий [9, 10].

На основе экспериментальных наблюдений влияния инфильтрации летних атмосферных осадков на формирование температурного режима ММП [11], было установлено, что значительное увеличение летних атмосферных осадков продолжительное время (более 3 лет), особенно на локальных (ограниченных) участках, оказывает охлаждающее влияние на формирование температурного режима ММП. Это связано с формированием повышенной влажности, а в последующем льдистости грунтов в результате насыщения их влагой, изменением теплофизических свойств и теплоты фазовых переходов.

Исходя из этого, учитывая вышеописанные мероприятия восстановления пашен [9, 10] и методы мелиорации [11] обосновывается гипотеза скорого (за 1-2 года) и эффективного восстановления нарушенных термокарстом территорий, которая является основной нашей целью.

2. Краткая характеристика природных условий района исследований

Район исследований расположен в юго-восточной части Центральной Якутии, на левобережье р. Амга.

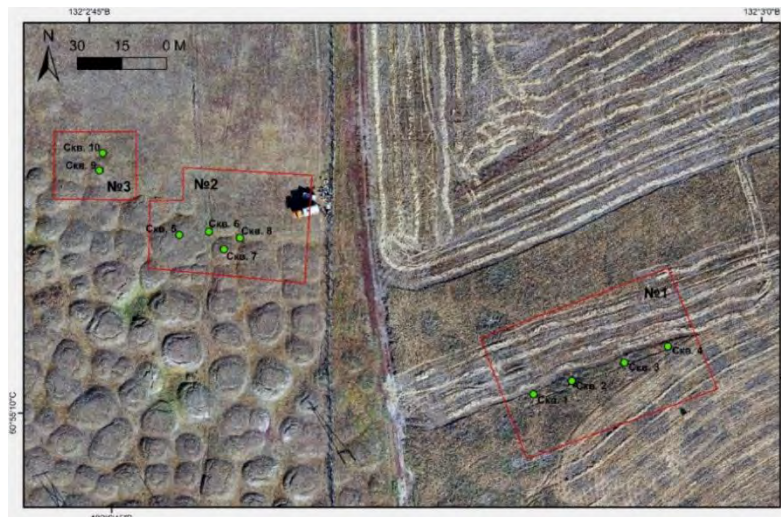


Рисунок 1. Карта-схема исследуемого участка.

Красными выделены участки работ: скв. № 1, 2, 3, 4 – экспериментальный участок № 1 действующая пашня; скв. № 5, 6, 7, 8 – экспериментальный участок № 2 деградируемый участок ледового комплекса; скв. № 9 и 10 – контрольная площадка с естественными не тронутыми условиями (№ 3).

В пределах исследуемого участка и прилегающих к ней территорий наблюдаются осложняющие рельеф термокарстовые процессы (Рисунок 1). Под действием этих процессов образуются формы просадочного микрорельефа с последующим образованием термокарстовых озёр. В связи с высоким залеганием подземных льдов (в пределах участка от 2,2-2,8 м), наблюдаются сильные разрушения существующих мерзлотно-ландшафтных условий.

Деграляция ММП представляет собой существенный риск в виде усиления парникового эффекта (выброс парниковых газов) и повреждения инфраструктуры. Поэтому изучение того, как развивается деграляция и типизация влияющих на это факторов в современных условиях, имеют большое значение, в том числе для понимания будущих изменений в арктических и субарктических регионах. Это обосновывает фундаментальный и прикладной интерес наших исследований.

3. Методика исследований и исходные данные

С целью оценки воссоздания условий, при которых возможно оптимальное восстановление защитного слоя, нами был использован пакет программ Frost 3D Universal.

Frost 3D Universal – программный комплекс для моделирования процессов теплопереноса в многолетнемёрзлых грунтах с учётом влияния внешних тепловых воздействий. Этот комплекс позволяет получать научно-обоснованные прогнозы тепловых режимов ММП в условиях теплового влияния инженерных сооружений, так и реакции ММП на изменения климата.

В рассматриваемой модели теплопереноса при промерзании-протаивании фазовый переход локализован на поверхности раздела фаз (при определенной температуре). Это принято из-за того, что в конкретном рассматриваемом случае, грунты имеют фоновое (нормальное) содержание количества незамерзшей воды, поэтому проводить расчеты процесса промерзания-протаивания в спектре температур не целесообразно.

Решение уравнения теплопроводности в трёхмерной постановке осуществляется численно с помощью явного метода конечных разностей [12].

Для расчета температурного режима грунтов рассматривалась расчетная область, размерами 16x24 м (Рисунок 2), который был построен по данным буровых работ, которые проводились в марте 2021 года.

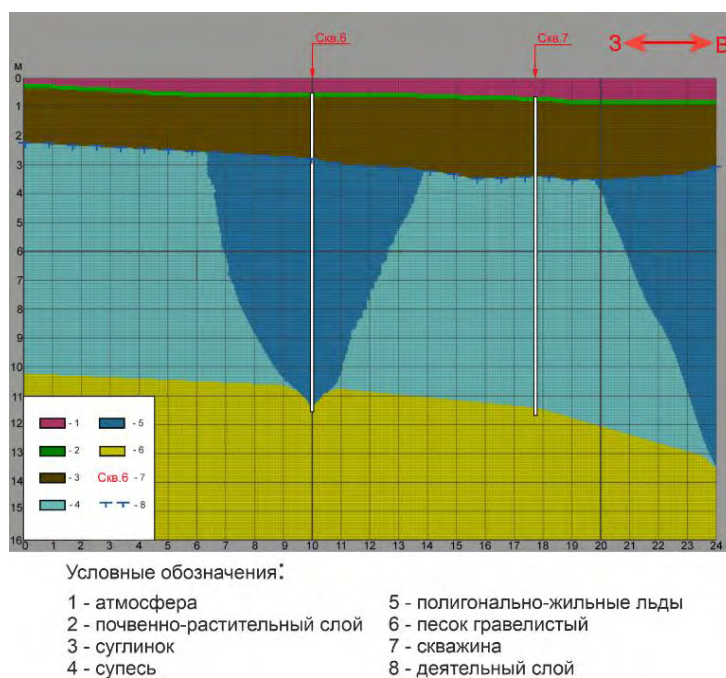


Рисунок 2. Расчетная область.

За параметры внешней среды были взяты среднемесячные значения температуры воздуха и коэффициента теплообмена в районе с. Амга за последние 10 лет [13].

Распределение температуры грунтов для расчетного профиля представлено в таблице 1. Начальное распределение температуры грунтов взято с начала сентября и расчеты начинаются с сентября 2021 года.

Таблица 1

Распределение температуры грунтов

Глубина, м	0	1	2	3	4	5	7,5	10
Температура, °С	16,34	10,54	2,22	-0,39	-0,6	-0,69	-0,93	-1,1

На нижней границе расчетной области бралось постоянное значение температуры грунта $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Высота снежного покрова в расчетах учитывалась для условий с. Амга за последние 12 лет по метеоданным [13]. Теплопроводность снега рассчитывалось по формуле Б.В. Проскуракова. Физические и теплофизические свойства материалов (грунтов) брались из натурных исследований и табличных значений.

4. Численный эксперимент

С целью оценки воссоздания условий, при которых возможно оптимальное восстановление защитного слоя нами были взяты разные варианты увлажнения грунтов (Таблица 2).

Таблица 2

Варианты увлажнения грунтов

№	Варианты
1	<u>При полной влагоемкости</u> – влажность грунтов в пределах деятельного слоя за теплый период года задается значениями равными полной влагоемкости грунтов
2	<u>При естественной влажности</u> – влажность грунтов в пределах деятельного слоя берется как среднее значение влажности грунтов за теплый период года

3	<u>При меняющейся влажности</u> – влажность грунтов в пределах деятельного слоя в предзимний период задается значениями равными полной влагоемкости грунтов совпадая с снегууплотнением (с периодичностью 3 и 5 лет)
---	--

Для каждого варианта были применены 6 сценариев разного снегонакопления (Таблица 3).

Таблица 3

Сценарии снегонакопления	
№	Сценарии
I	В первый год нет снега, остальные года снег равен среднему за последние 10 лет значению
II	Отсутствие снега – за весь расчетный период снег отсутствует
III	Уплотнение снега – за весь расчетный период снег уплотнен
IV	Уплотнение снега с периодом в 3 года – через каждые 3 года снег уплотняется
V	Первые 3 года снег отсутствует, остальные года снег равен среднему за последние 10 лет значению
VI	Уплотнение снега с периодом в 5 лет - через каждые 5 лет снег уплотняется

Во всех сценариях температура воздуха бралась с наблюдаемым трендом в настоящее время. Существующий тренд взят из анализа изменения среднегодовой температуры воздуха с 1966 г. и составляет для метеостанции Амга 0,05 °С/год (0,5 °С/10 лет) [14]. А также во всех сценариях учитывалась растительность, путем затенения и изменения коэффициента теплообмена. Прогноз выполнен на 15 лет с 2021 по 2036 год.

В расчете учитывался снежный покров кроме тех сценариев, где он отсутствует. Уплотнение снега в модели учитывается только в декабре, январе и феврале, при этом высота снежного покрова уменьшается в два раза, а плотность увеличивается в два раза.

5. Результаты

Результаты расчета глубины протаивания по скважине 6 (Рисунок 2) при варианте 1 (при полной влагоемкости) показывают лучшие условия образования мощного защитного слоя (Рисунок 3).

При варианте 2 (при естественной влажности) наблюдаются худшие чем при варианте 1 условия образования защитного слоя (Рисунок 4).

При варианте 3 (при естественной влажности) наблюдаются разные условия образования защитного слоя (Рисунок 5). Так, в некоторых сценариях защитный слой образуется лишь на несколько лет.

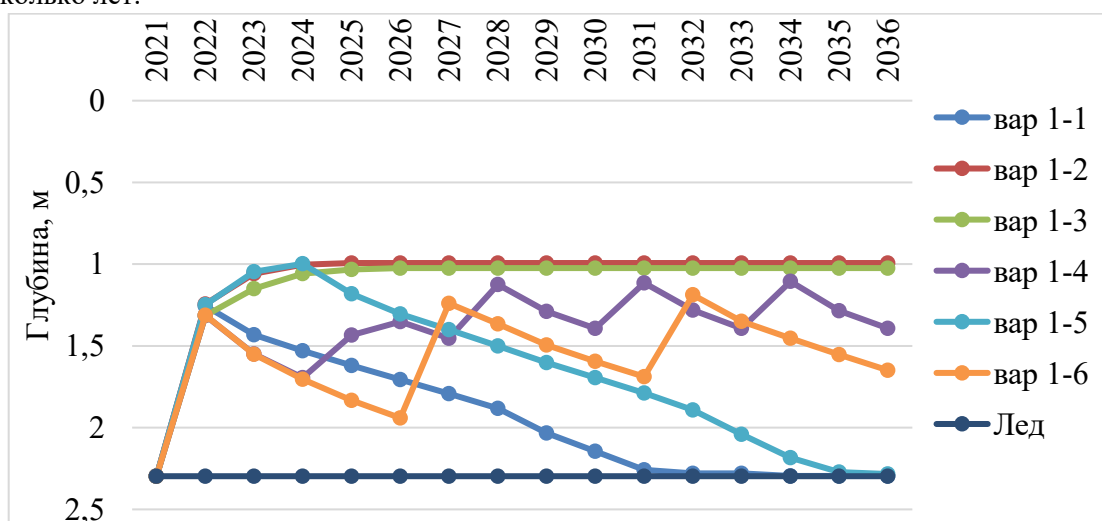


Рисунок 3. Ход глубины протаивания варианта 1 (при полной влагоемкости) при разных сценариях.

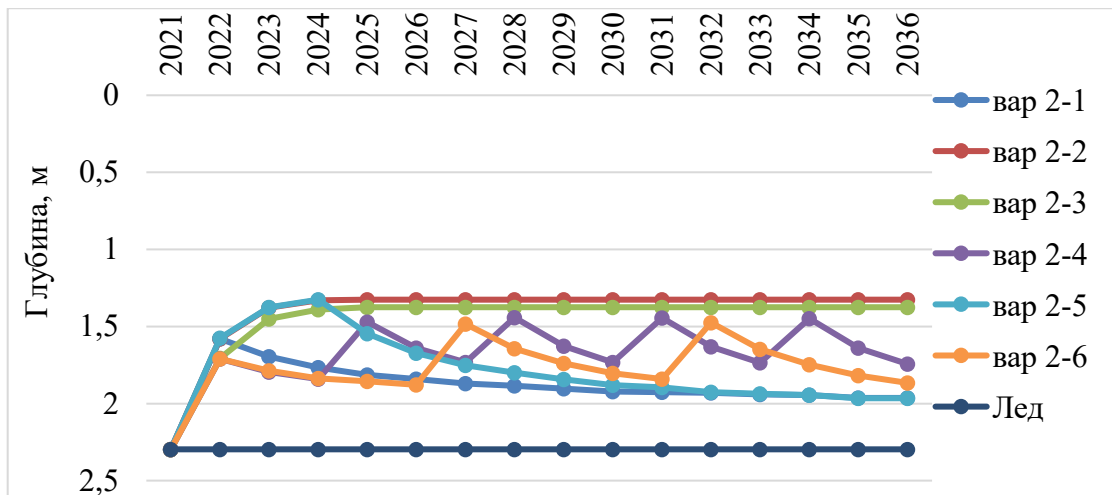


Рисунок 4. Ход глубины протаивания варианта 2 (при естественной влажности) при разных сценариях.

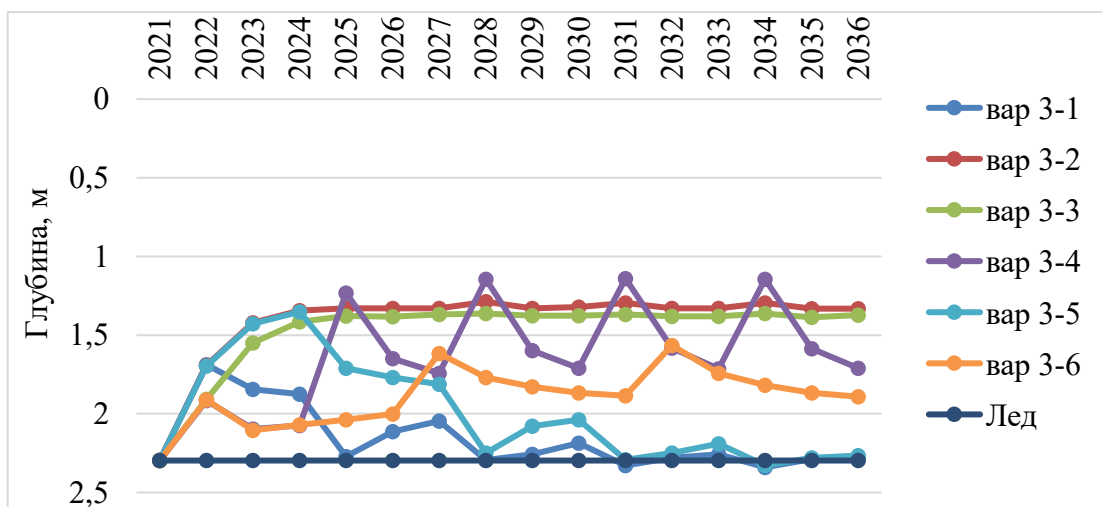


Рисунок 5. Ход глубины протаивания варианта 2 (при естественной влажности) при разных сценариях.

Для анализа этих данных построена таблица подбора оптимальных условий воссоздания защитного слоя (Таблица 4).

Таблица 4

Оптимальные условия воссоздания защитного слоя

Сценарии\Варианты	1. При полной влагоемкости	2. При естественной влажности	3. При меняющейся влажности
I Первый год нет снега			
II Снег нет вообще			
III Уплотнение снега			
IV Уплотнение снега с периодом в 3 года			
V. Первые три года снег отсутствует			
VI Уплотнение снега с периодом в 5 лет			

Красным цветом – неудовлетворительные условия.

Желтым цветом – удовлетворительные условия.

Зеленым цветом – хорошие условия.

В результате анализа установлено, что условия, при которых возможно лучшее восстановление защитного слоя достигаются при варианте 1 (при полной влагоемкости). При котором возникает максимально льдонасыщенный мощный защитный слой. И лучшие результаты возникают при сценариях II и III, когда снега нет вообще или снег всегда уплотнен. Оптимальное же восстановление при этом варианте, с учетом финансовых и трудовых затрат, наблюдается при сценарии IV (уплотнение снега через каждые 3 года).

Из этого анализа следует, что явное восстановление защитного слоя будет наблюдаться при варианте I и сценарии II что и будем использовать при натурном эксперименте.

6. Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 21-55-15013 НЦНИ_а.

7. Литература:

- [1] Jorgenson M. (2013), Thermokarst terrains, in Treatise on Geomorphology, vol. 8, edited by J. Shroder, R. Giardino, and J. Harbor, chap. Glacial and Periglacial Geomorphology, pp. 313–324, Academic Press, San Diego, Calif.
- [2] Fedorov A.N., Gavriliev P.P., Konstantinov P.Y., Hiyama T., Iijima Y., Iwahana G. Estimating the water balance of a thermokarst lake in the middle of the Lena River basin, Eastern Siberia // Ecohydrology. 2014 vol. 7, issue 2, pp. 188-196, <https://doi.org/10.1002/eco.1378>.
- [3] Efimov G.F., Grave N.A. Buried ice of the lake area Abalakh // Sots. building. 1940, no. 10-11, pp. 67-78.
- [4] Shur Yu.L. Upper horizon of permafrost and thermokarst. Novosibirsk, Nauka, 1988, 212 p.
- [5] Gavriliev P.P., Mandarov A.A. Estuary irrigation of meadows in Central Yakutia. Novosibirsk: Nauka, 1976, 165 p.
- [6] Gavriliev P.P., Mandarov A.A., Ugarov I.S. Hydrothermal reclamation of agricultural land in Yakutia. Novosibirsk: Nauka, 1984, 201 p.
- [7] Gavriliev P.P. Reclamation of permafrost lands in Yakutia. Novosibirsk: Nauka, 1991, 184 p.
- [8] Ugarov, I.S. Hydrothermal regime of soils during agricultural development in Central Yakutia: specialty 25.00.08 "Engineering geology, permafrost and soil science": abstract of the dissertation for the degree of candidate of geographical sciences / Ugarov Innokenty Spiridonovich. Yakutsk, 2001, 23 p.
- [9] Gavriliev P.P., Ugarov I.S., Efremov P.V. Permafrost-ecological features of the taiga agricultural landscapes of Central Yakutia. Yakutsk: IMZ SB RAS, 2001, 196 p.
- [10] Ugarov I.S. Experience in restoring disturbed agricultural lands // Successes of modern natural science. 2012, no. 11, pp. 137-139.
- [11] Zhirkov A, Permyakov P, Wen Z, Kirillin A. Influence of Rainfall Changes on the Temperature Regime of Permafrost in Central Yakutia. Land. 2021; 10(11):1230. <https://doi.org/10.3390/land10111230>.
- [12] Samarsky A.A. Theory of difference schemes. 3rd ed. Moscow: Nauka, 1989, 616 p.
- [13] <https://rp5.ru/>.
- [14] Skachkov Yu.B. Trends in climate change in Central Yakutia at the turn of the 20th-21st centuries. / Proceedings of the International Scientific Conference "Regional Environment Response to Global Changes in Northeast and Central Asia". Irkutsk. 2012, pp. 236-238.