

**Железняк М.Н.**

док. геол.-мин. наук, Директор, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН¹
fe1956@mail.ru

**Шац М.М.**

канд. геогр. наук, ведущий научный сотрудник, Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН¹
mmshatz@mail.ru

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АЛМАЗНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ «АЙХАЛ» (ЯКУТИЯ)

1. Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН 677010, Мерзлотная, 36, Якутск

В статье освещены теплофизические условия месторождения алмазов «Айхал» (Якутия). Показана значимость алмазодобывающей отрасли для народного хозяйства Якутии. Охарактеризованы местоположение и обусловленные им экстремальные, в т.ч. геокриологические и природные условия района. Прослежена история открытия и геотехнологические особенности месторождения, его перспективы.

Ключевые слова: современные условия освоения месторождения алмазов «Айхал»; значимость алмазодобывающей отрасли для народного хозяйства Якутии; местоположение и обусловленные им экстремальные, в т.ч. геокриологические и условия природные условия

Месторождение «Айхал» в административном отношении относится к МО «Мирнинский район» Республики Саха (Якутия) и располагается в 350 км на северо-запад от г. Мирный, в южной части города Айхал. Трубка находится в пределах Вилюйского плато в восточной части Среднесибирского плоскогорья, в нижней части долины р. Сосхолох-Мархинский, в Далдыно-Алаakitском алмазоносном районе (Алаakit-Мархинское поле) в нижней части долины р. Сосхолох-Мархинский. Цель статьи показать современную природную, в т.ч. теплофизическую обстановку толщ горных пород района место-

рождения. Статья предназначена для студентов и специалистов в области комплексной оценки и освоения месторождений.

Природные условия алмазного месторождения «трубка Айхал»

Трубка расположена в поле ордовикско-силурийских пород рядом с трапповым силлом, который отстоит от нее на 50 м и имеет сильно удлиненную форму (*рис.1*) на дневной поверхности и на глубине. Отношение ее осей составляет: на дневном срезе 1:6, на глубине 140 м – 1:21 и на глубине 240 м – 1:29. Далее по падению она переходит в жильное тело мощностью 2,0-3,0 м. Выпол-

нена трубка разновозрастными кимберлитовыми брекчиями. Кимберлиты её, по сравнению с породами других трубок Якутской алмазонасной провинции, характеризуются высокими содержаниями карбонатов, апатита и барита. Отличительной особенностью их является присутствие бадделита – минерала карбонатитовых комплексов [10].

Климат территории резко континентальный с холодной продолжительной зимой и коротким теплым летом. Средняя годовая температура воздуха составляет по м/с Шелогонцы -13.2 °С, по м/с Айхал -10.9 °С.

Участок трубки приурочен к водоразделу рек Сохолоох и Чукука и имеет полого увалистый рельеф. Перепад высот от 420 до 680 м. Склоны в районах распространения траппов крутые, а на карбонатных породах пологие (до $2-5^\circ$).

Современные отложения представлены аллювием долинного комплекса, а также элювиально-делювиальными и озерно-болотными отложениями. Они представлены песками, суглинками, глинами, гравием, щебнем и галькой мощностью 0,5-10 м.

В отработанной верхней части трубки отмечались кимберлитовые туфы и «стратифицированные» кимберлиты, которые представляли собой кратерную фацию. Средняя плотность кимберлитов $2,35$ г/см³. В структурном отношении предполагается, что на уровне кристаллического фундамента для трубки Айхал рудовмещающей структурой является одна из трещин скла северо-восточного простирания, опережающих субмеридиональный глубинный разлом, картируемый геофизическими методами вдоль современной долины р. Сохолоох [11].

Характер распространения ММП на месторождении, как и повсеместно в районе – сплошной.

Слой сезонного оттаивания грунтов залегает сверху собственно многолетнемерзлой толщи горных пород. Основной характеристикой этого слоя является глубина, зависящая от положения в рельефе (ориентации), состава и строения грунтов, почвенно-растительных покровов и т.д. [14].

Принципиальным с точки зрения выбора технологических решений является положение нижней границы ММП, т.е. их мощности. Конкретные данные по этому параметру приведены в работах сотрудников Института мерзлотоведения СО РАН (ИМЗ СО РАН): В.Т.Балобаева, В.Н.Девяткина, В.Н.Девяткина, В.Ю.Шамшурина И.В.Климовского, С.П. Готовцева Судья по приведенным материалам мощность ММП в пределах месторождения составляет около 800 м при температуре на подошве слоя годовых колебаний (20 м) от -3.0 до -5.7 С [13].

Немногочисленные таликовые зоны, сложенные грунтами песчано-гравийно-галечного состава, в основном приурочены к руслам местных водотоков. При этом ширина таликов обычно соответствует размерам водотоков, а мощность – от 5 до 30 м (по данным ВЭЗ и ВП).

Важной характеристикой состояния мерзлых толщ горных пород является их температурный режим. Сотрудники ИМЗ СО РАН и МГУ [1-9,13,14], провели анализ специфики формирования температурного поля горных пород для близкого по природным, в т.ч. геокриологическим условиям района среднего течения р. Вилюй. Установлено, что важными факторами формирования температурного поля верхних горизонтов горных пород подобных районов являются климатические и геоботанические, а основной – геоморфологический. Таким образом именно положения в рельефе (высота, элемент рельефа, ориентация) являются ведущими при формировании температурного поля горных пород.

На территории месторождения, температуры горных пород довольно низки и обычно варьируют от -3 до -6 °С. Четко прослеживается связь с ориентацией элементов – для северных склонов температуры на подошве слоя годовых колебаний на $1,5-2,5^\circ$ ниже по сравнению с южными, а западные и восточные по своим характеристикам занимают промежуточное положение. Значительную роль играет и состав грунтов.



Рис. 1
Месторождение трубки «Айхал», Фото пресс службы ГОКа.

В целом наиболее «холодными» являются подножья склонов северо-восточной экспозиции, перекрытые чехлом крупнообломочных пород.

В пределах водораздельных пространств определяющую роль в формировании температуры горных пород играет именно их состав. Так наиболее высокие температуры, не опускающиеся ниже $-2.4\text{ }^{\circ}\text{C}$, свойственны сухим выветрелым доломитам или туфам [7]. Минимальные температуры свойственны водораздельным пространствам, занятым термокарстовыми ландшафтами, где зафиксированы значения до $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для днищ долин местных водотоков минимальные температуры горных пород до $-6.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ зафиксированы на участках развития льдистых покровных органогенных отложений.

Особое значение при решении задач проектирования мероприятий в районах алмазодобычи приобретают геотермические условия самих кимберлитовых трубок. Эта проблема изучалась сотрудниками ИМЗ с самого начала освоения алмазных месторождений.

Установлено [13], что определяющую роль при формировании температурного поля кимберлитовых тел играют литолого-петрографические и теплофизические свойства горных пород. При этом среднее значение теплопроводности кимберлитов обычно значительно ниже, чем у вмещающих их карбонатов – соответственно 2.29 и 4.1 Вт/(мк).

Еще одним важным аспектом является определенная связь температур собственно слагающих трубки горных пород с положением в рельефе. В частности, по данным И.В. Климовского и С.П. Готовцева [13], приуроченные к водоразделам и приводораздельным пространствам трубки характеризуются более высокими температурами по сравнению с долинами рек и днищами местных депрессий. Для Далдыно-Алакитского района эта разница составляет в 2.5-3 $^{\circ}\text{C}$. Это позволяет оценить температуру горных пород для месторождения близкой к $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Важным геоэкологическим аспектом является специфика развития криогенных процессов и явлений. В целом

природные условия при естественном развитии территории месторождения не благоприятствуют высокой активности криогенных процессов. В частности, это лимитируется небольшой мощностью рыхлых отложений, обычно не превышающей 2-2,5 м. В условиях плосковершинных плакоров с незначительными (2-30) уклонами сформировались следующие основные характеристики криогенного строения грунтов.

В подобных условиях развиваются следующие криогенные процессы, ранжированные по степени пораженности района месторождения [13].

Морозное выветривание преобразовывает 30-40% поверхности района и наиболее активно протекает в глинисто-карбонатных породах кембрия и ордовика. В них формируется достаточно мощная (2-7 м) кора криогенного выветривания, которая по своим свойствам резко отличается от подстилающих коренных пород. Этот факт должен быть учтен при проектировании.

Солифлюкция развита на 20-30% площади, главным образом на глинисто-карбонатных породах кембрия и ордовика. В результате выветривания эти породы перекрыты рыхлыми пылеватыми отложениями. Они в условиях достаточного увлажнения и под действием гравитационных сил перемещаются вниз по склонам. Скорость процесса обычно 8-10 см в год.

Морозное пучение грунтов развито лишь на 10-15% территории месторождения. Это связано с относительно низкой влажностью грунтов. В основном пучению подвержены озерно-аллювиальные и озерно-болотные отложения, а также аллювиальные отложения пойм и низких террас. Здесь формируется кочковатый микрорельеф. Диаметр кочек 30-50 см, высота 10-30 см, редки кочки до 1,5 м в поперечнике и 0,3-0,4 м высотой. Все эти формы являются результатом сезонного пучения.

Многолетнее пучение грунтов наблюдается редко. Возможно оно только на участках развития торфяников. Образующиеся при этом отдельные слабовыпуклые многолетние бугры пучения имеют высоту не более 1-1.5 м (*рис.2*).



Рис. 2

Многолетний бугор пучения на вершине плакора. Фото И.В.Дорофеева

Термокарстовые явления охватывают 5-8% территории. Небольшое развитие термокарста обусловлено отсутствием крупных залежеобразующих масс подземных льдов и ограниченностью сильнольдистых четвертичных отложений, зафиксированных лишь на отдельных участках поймы, I и II надпойменных террас, в долинах временных водотоков и на плоских, или слабо выгнутых водораздельных пространствах.

Термокарстовые формы мезорельефа – небольшие, размером до 10 м в поперечнике и глубиной до 1 м, озера на пойме, низких террасах и в днищах долин водотоков. Своим происхождением они обязаны общему изменению условий теплообмена дневной поверхности на отдельных участках [14].

Термоэрозия имеет развитие лишь на 4-6% территории. Сформированные этим процессом делли имеют несколько стадий развития, зависящих от мощности и льдистости склоновых отложений. В частности, слабовыраженные на местности делли глубиной всего 20-30 см обычно приурочены к склонам средней крутизны с маломощным и мало льдистым делювием. Делли этой генерации характеризуются прямолинейностью.

Морозобойное трещинообразование имеет наименьшее развитие из криогенных процессов, затронувших лишь 1% площади [13], (рис. 3.4). Это связано с тем, что в данном районе отсутствуют необходимые для широкого развития морозобойного трещинообразования условия – высокая влажность грунтов, их низкие температуры, обуславливающие большие температурные градиенты в деятельном слое. Тем не менее возможно наличие законсервированных маломощных полигонов морозобойных трещин при обнажении участков высоких пойм и низких террас.



Рис. 3
Морозобойная трещина на выровненной приводораздельной поверхности. Фото С.И.Серикова.

История открытия месторождения

Первой к изучению алмазности территории Якутии в бассейне верхнего течения Вилюя приступила в 1948 г. Вилюйская партия Тунгусской (с 1949 г. – Амакинской) экспедиции Иркутского геологического управления. Коллектив экспедиции обязался полностью выполнить план поисковых работ, утвержденных проектом, но с меньшими затратами и силами, а за счет сэкономленных средств, сформировать дополнительную партию для работы в бассейне Вилюя [12].

В 1950 г. в пределах будущего Вилюйского алмазносного бассейна начали проводить поисково-разведочные работы. Таким образом, открытие сотрудниками Амакинской ГРЭ многочисленных алмазносных аллювиальных россыпей в бассейне Вилюя и Мархи, позволило сделать вывод, что ими обнаружена богатая алмазносная провинция со своими коренными источниками алмазов – Якутская алмазносная провинция.

Первые алмазы в Якутии были найдены 7 августа 1949 г. на косе Соколиная в 6 км выше якутского пос. Крестьях Сунтарского района. До середины сентября на этой косе было обнаружено 22 алмаза. В россыпях Вилюя и Мархи содержания алмазов оказались значительно выше, чем в месторождениях Урала, тем не менее они были намного ниже, чем в россыпях, успешно обрабатывавшихся на юге Африки.

В 1957 г. отряд, работающий в бассейне Сохолооха-Мархинского междуречья, обнаружил там небольшую кимберлитовую трубку, а в 1959 г. в пробах небольшого объема нашли более 40 алмазов и это однозначно указывало на то, что ручей Мелко-ильменитовый размывает богатое месторождение алмазов, скорее всего коренное. И уже 26 января 1960 года один из поисковых шурфов вскрыл кимберлит, а промывка проб из него выявила феноменальное содержание алмазов. Такого количества алмазов не удавалось получать даже из кимберлитов трубки «Мир».

Параметры драгоценных кристаллов в верхних горизонтах новой трубки «Айхал», а именно так назвали её, что в переводе с якутского означает «Слава» были значительны, а уже августе 1961 года началась ее эксплуатация. Открытие алмазного месторождения «Айхал» в значительной мере базировалось на пироповом методе поиска и именно новая трубка послужила подтверждение его эффективности при геологическом поиске и открытии и в 1963 г. разведка трубки была завершена [17].

На начальной стадии освоения с августа 1961 до 1997 года проводилась открытая добыча с созданием карьера глубиной 325 м. Позднее осуществлялся переход на подземный способ со строительством рудника, действующего по настоящее время.



Рис. 4

Активно-растущая морозобойная трещина у подножия склона. Фото И.С. Силькова.

После вывода из эксплуатации карьера в 1997 году начались опытно-промышленные горные работы для запуска подземной добычи.

Вводом подземного рудника в эксплуатацию в 2005 году завершилась программа Айхальского ГОКа по наращиванию проектной мощности до 500 тысяч тонн руды в год, на нее рудник вышел в 2012 году. В недавнее время проводится оценка возможности применения новой системы разработки рудника, которая позволит снизить затраты и повысить производительность добычи. Одно из предлагаемых решений – камерная система разработки с закладкой, размеры выемочных блоков будут составлять от 20 до 25 метров в высоту, 15 метров в ширину и 120 метров в длину.

Геозкологическое состояние месторождения

Геологоразведочные работы, как и другие виды производственной деятельности человека, наносят вред различным компонентам геологической среде, в основном верхних горизонтам горных пород и почвам. Временное воздействие работ на недра связано с проходкой буровых скважин; отбором части добытых горных пород в качестве проб для анализов и технологических испытаний.

При оборудовании площадок под буровые работы воздействие на почвенный слой в основном незначительно, а для его уменьшения и максимального сохранения поверхности в ее естественном или близком к нему природном состоянии обычно предусматривается специальные мероприятия [18], направленные на уменьшение ущерба.

Воздействие на атмосферу также сопряжено с различными уровнями загрязнения поверхности – максимальными непосредственно в зоне проведения работ, но уже при удалении на расстояния порядка 200 м они быстро снижаются и становятся заметно ниже нормативов, установленных для атмосферного воздуха населенных мест.

Территория месторождения активно осваивается с 1961 г., когда была начата разработка карьера, завершенная в 1988 г. К этому времени работы в проектных контурах завершены при глубине горной выработки 320 м при фактических отметках дна на западном участке +235 м, а на восточном – 200 м абсолютной высоты.

Переход на подземную добычу с созданием подземного рудника осуществляется в условиях, значительно отличающихся от подобных объектов, создаваемых на слабо- или вообще неосвоенных площадях. Здесь ранее уже размещались многочисленные объекты системы открытой добычи алмазов: карьер трубки «Айхал», промзона, хвостохранилище, нефтебаза и т.д. При разработке месторождения открытым способом на большую глубину возникают трудности, затрагивающие практически все стороны горного производства и отрасли его обеспечивающие. Особенно остро эти проблемы возникают при разработке кимберлитовых месторождений Якутии, находящихся в крайне суровых природных условиях, когда воздействию подвергаются все компоненты природной среды и возникают широкомасштабные последствия в виде нарушения поверхностных геосистем разной степени.

Горными работами вскрыты подмерзлотные напорные пластовые воды, насыщенные различными газами: метаном, гомологами метана, сероводородом, а также радиоактивными аэрозолями, оказывающими пагубное влияние на людей и окружающую среду. Анализ объективных закономерностей развития открытых горных работ свидетельствует о том, что объемы вскрышных работ в контуре кимберлитового карьера на каждые сто метров погружения при глубине 600 м возрастают от 2,07 до 6 раз, а себестоимость вскрышных работ – от 1,53 до 6,53 раза. С глубиной резко сокращаются параметры рабочей зоны карьера, что ухудшает показатели использования горнотранспортного оборудования.


Уникальность горнотехнических условий кимберлитовых карьеров, обусловленная в значительной степени спецификой вмещающих ММП, выдвинула крупную проблему разработки данных месторождений и потребовала поиска новых технических решений, направленных на повышение эффективности открытого способа в экстремальных условиях Севера [16,17].

Заключение

Открытие и начало разработки в середине 20-го века в Западной Якутии нескольких крупных коренных и россыпных алмазных месторождений привело к созданию в республике специализированной отрасли по добыче драгоценных кристаллов.

Начальные запасы алмазов на трубке превышали 100 млн. карат. Балансовые запасы алмазов на 01.01.2017 г. составляли: разведанные (категории С1) – 61,1 млн. карат, предварительно оценённые (С2) – 10,5 млн. карат [10-12].

Среди алмазов трубки Айхал из кристалло-морфологических типов преобладают ромбододекаэдры (59,8%), октаэдры составляют всего 14,9%, комбинационные формы – 16,3%. В то же время, округлых камней («бразильский» тип) мало – 0,2%, обломки без следов огранки – 55,3%. Среди цветных разновидностей преобладают кристаллы с грязно-зеленоватым оттенком. В объеме тела алмазы распределены неравномерно, в период разведочных работ было выявлено три самостоятельных блока по содержанию алмазов. Границы блоков близко совпадают с петрографическими разновидностями кимберлитов. За 2016 г АК «АЛРОСА» добыла на месторождении 2,80 млн. карат алмазов.

Таким образом, пройдя стандартные стадии начального этапа отработки месторождения, объект перешел к подземной стадии освоения. Этот период предполагается осветить в последующей публикации. 

Литература

1. Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 193 с.
2. Балобаев, В. Т. Железняк М. Н. Этапы развития геотермии в Якутии / В. Т. Балобаев, // Геофизика Якутии на пороге XXI века. Геофизические исследования в Якутии. - 2000. - Якутск: Изд-во ЯГУ. - Вып. 5. -С. 24-32.
3. Балобаев В.Т., Каменский Р. М., Шепелев В. В. Основные результаты и перспективы развития геокриологических исследований в Институте мерзлотоведения СО РАН // Материалы II конференции геокриологов России. - Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 2001. - Т. 5.-С. 43-50.
4. Балобаев, В. Т., Железняк М. Н. Геотермические исследования в Якутии //Геофизика Якутии на пороге XXI века. Геофизические исследования. - Якутск, 2001. — № 5. — С. 24-32.
5. Галкин А.Ф., Железняк М.Н., Жирков А.Ф. ВЛИЯНИЕ ГЕОТЕРМИИ МЕСТОРОЖДЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО РЕЖИМА В РУДНИКАХ КРИОЛИТОЗОНЫ В книге: Горнодобывающая промышленность в 21 веке: вызовы и реальность. Сборник тезисов докладов международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию института «Якутнипроалмаз» АК «АЛРОСА». Мирный, 2021. С. 95.
6. Геокриология СССР. Средняя Сибирь / Под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 414 с.
7. Геология СССР, том XVIII, Западная часть Якутской АССР. Часть 1. Геологическое описание. Книга 1. Коллектив авторов. М., изд-во «Недра», 1970, 536 с.
8. Дубровин В.А., Брушков А.В., Дроздов Д.С., Железняк М.Н. Изученность, современное состояние, перспективы и проблемы освоения криолитозоны Арктики // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2019. № 3 (166). С. 55-64.
9. Жижин В.И., Жирков А.Ф., Кириллин А.Р., Железняк М.Н., Шац М.М. ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРНЫХ ПОРОД В ПРЕДЕЛАХ ОТДЕЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ АЛМАЗОВ НА СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЕ Маркшейдерия и недропользование. 2020. № 2 (106). С. 41-50.
10. Кисленко А.Б. Особенности геологического строения месторождения алмазов трубки Айхал. // труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Изд-во ТПУ, 2017 г. 24 с.
11. Кисленко А.Б. Перспективы Российской Федерации на рынке алмазов. // труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Изд-во ТПУ, 2018 г. 23 с.
12. Кисленко А.Б. Вещественный состав кимберлитов трубки Айхал. // труды XIX Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Изд-во ТПУ, 2019 г.
13. Климовский И.В., Готовцев С.П. Криолитозона Якутской алмазоносной провинции. Новосибирск: Наука, 1994. 168 с.
14. Мерзлотно-Ландшафтная карта Якутской АССР масштаба 1: 2 500 000 / Под ред. П.И. Мельникова. – М.: ГУГК, 1991. – 2 л.
15. Об особенностях алмазов перспективных территорий Сибирской платформы. Об утверждении Стратегии развития минерально-сырьевой базы ... \\\ Вестник Пермского университета Геология 2 (27): 41. Электронный ресурс. URL: <https://docs.cntd.ru/document/552051127>. Дата обращения: Июнь 2015 г.
16. Перспективы развития минерально-сырьевой базы алмазов. Электронный ресурс. URL: <https://www.rucont.ru/efd/436862>. Источник <https://www.rucont.ru/>: Дата обращения: 26.11.2021
17. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ ... Электронный ресурс. URL: [865181/ekonomika/problemy_perspektivy_ispolzovaniya_mineralno_syryevyh_bogatstv_rossii](https://ozlib.com/). Источник: <https://ozlib.com/>. Дата обращения: 12.05.2021
18. Шац М.М., Галкин А.Ф. База данных №0220409730 «Опасные и потенциально опасные геотехнические объекты алмазной провинции РС (Я)». Электронная база данных. Государственный регистр баз данных РФ. Свидетельство №9045 от 03.06.2004, 94,4 Мв, 6 печ. л

UDC 550.98

M.N. Zheleznyak, doc. Geol.- Min. of Sciences, Director, Melnikov Permafrost Institute SB RAS, fe1956@mail.ru

M.M. Shatz, Cand. geogr. Sci., Leading Researcher, P. I. Melnikov Permafrost Institute SB RAS, mmshatz@mail.ru

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ АЛМАЗНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ТРУБКИ АЙХАЛ (ЯКУТИЯ)

Abstract. The article highlights the teplofysical conditions of the «Aikhal» diamond deposit (North-West Yakutia). The importance of the diamond mining industry for the national economy of Yakutia is shown. The location and associated extreme ones, incl. geocryological and natural conditions of the deposit area. The history of discovery and geotechnological features of the field, its prospects are traced.

Key words: modern conditions for the development of the Aikhal diamond deposit; the importance of the diamond mining industry for the national economy of Yakutia; location and associated extreme, incl. geocryological and natural conditions.