

Г Б О А

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМ. М.В.ЛОМОНОСОВА

Геологический факультет

На правах рукописи

Железняк
Михаил Николаевич

УДК 551.345:550.83

ГЕОТЕРМИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И
СУЩЕСТВОВАНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ ЗАПАДНОЙ
ЧАСТИ
АЛДАНСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

Специальность 04.00.07 - инженерная геология,
мерзотоведение и грунтоведение

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Москва - 1994

Работа выполнена в ордена Трудового Красного Знамени
Институте мерзлотоведения СО РАН (г.Якутск).

Научный руководитель - доктор геолого -
минералогических наук,
член-корр. РАН Балобасв В.Т.

Официальные оппоненты - доктор геолого -
минералогических наук,
профессор Романовский И.Н.

- кандидат геолого
минералогических наук
Сергеев Д.О.

Ведущая организация - Институт криосферы Земли
Сибирского отделения
Российской академии наук

Защита диссертации состоится 2 декабря 1994 г. в 16 час 30
мин на заседании Специализированного ученого совета по
гидрогеологии, инженерной геологии и мерзлотоведению
(К.053.05.06) при Московском государственном университете им.
М.В.Ломоносова по адресу: 119899 ГСП-3 Москва, Ленинские
горы, МГУ, геологический факультет, аудитория 415.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке
геологического факультета МГУ, зона "А", 6 этаж.

Автореферат разослан " 1 " ноября 1994 г.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные
печатью учреждения, просим направлять по адресу: 119899,
г.Москва, Ленинские горы, МГУ, геологический факультет,
ученому секретарю Специализированного совета, доктору
геолого-минералогических наук В.Н.Соколову.

Ученый секретарь Специализи-
рованного совета, доктор геолого-
минералогических наук



В.Н.Соколов

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Часть Дальневосточного района, расположенная на стыке Республики Саха (Якутия) с Иркутской и Читинской областями России, обладает значительным экономическим потенциалом. На этой территории обнаружены крупные месторождения полезных ископаемых (железо, уголь, медь, редкие металлы и др.), проходит Байкало-Амурская железнодорожная магистраль, имеются широкие перспективы для развития горнодобывающей и местной промышленности. Разведанные месторождения полезных ископаемых находятся в криолитозоне и глубже ее, что создает необходимость детального изучения проблемы географического распространения и развития многолетнемерзлых пород (ММП) и их геотермических параметров. Мощность ММП является одним из слабоизученных компонентов геокриологической обстановки. До настоящего времени определение мощности мерзлой толщи проводится в основном косвенными методами, что приводит к значительным ошибкам. Все это в полной мере относится к западной части Алданской антеклизы и определяет актуальность постановки и проведения специальных исследований ее мерзлотно-геотермических условий.

Цель и задачи работы. Основная цель работы - выявить особенности распространения и формирования мощности мерзлых толщ западной части Алданской антеклизы, в различных геоструктурных и географических условиях. Поставленная цель потребовала решить следующие задачи: 1 - провести анализ геотермических данных и получить температурные характеристики горных пород до глубины 2000 м; 2 - рассчитать величины внутриземного теплового потока (q) характерных геоструктурных областей и оценить его перераспределение в зависимости от рельефа; 3 - выявить на основании анализа внутриземного теплового потока и характера температурных кривых по скважинам положение стационарных и квазистационарных мерзлых толщ и причины их появления.

Для решения этих задач были проведены массовые геотермические исследования и определения теплофизических свойств скальных горных пород как в талом, так и в мерзлом состоянии.

Результаты этой работы представлены в виде карт и мерзлотно-геотермических разрезов.

Научная новизна. В основу настоящей работы положен современный подход к изучению криолитозоны, базирующийся на анализе региональных характеристик температуры пород, их теплофизических свойств и величины внутриземного теплового потока.

Автором впервые получен фактический материал о температурном режиме глубоких (до глубины 1500 м) горизонтов литосферы рассматриваемой территории, охватывающих как многолетнемерзлую толщину, так и подстилающие ее породы. Это позволило выявить тенденции изменения мощности ММП с севера на юг от предгорий к высокогорью и установить ее корреляционную связь с абсолютной высотой местности для идентичных элементов рельефа, отдельных площадей и территории в целом.

В работе фактический материал систематизируется по геолого-геоморфологическому принципу, анализируется и обобщается с геокриологических позиций, что даст возможность выявить новые особенности распространения ММП. Впервые приводится схематическая карта тепловых потоков Алданской антеклизы масштаба 1 : 5 000 000. Доказывается, что на глубину промерзания земной коры влияет внутриземный тепловой поток и его пространственное перераспределение, обусловленное тепловой неоднородностью земной поверхности. Дается количественная оценка перераспределения теплового потока в системе долина-склон-водораздел.

На основании геотермических и геофизических исследований выявляются критерии формирования сквозных и надмерзлотных таликов в долинах ручьев в высокогорье.

Результаты проведенных исследований позволили выявить и графически отобразить на карте масштаба 1:1000000 основные закономерности геокриологической дифференциации в регионе и выдвинуть следующие положения, составляющие предмет защиты:

1. Установлены закономерности изменения мощности ММП с высотой для данного региона, при этом показана высокая степень связи высоты местности с мощностью мерзлоты для идентичных элементов рельефа:

2. Внутриземный тепловой поток в пределах рассматриваемой территории изменяется от 31 до 48 Вт/м², при этом минимальные его значения отмечаются на Олско-Чарском плоскогорье

(ул.Мурун), максимальные - в Становом нагорье (ул.Апсат, Чина), что отражено на построенной карте тепловых потоков Алданской антеклизы.

3. При различных типах температурной геокриологической высотной поясности (океанической и континентальной) существует закономерность увеличения мощности мерзлых толщ с высотой местности, что связано с перераспределением теплового потока под воздействием расчлененности рельефа, которое во многом определяет особенности положения нижней границы ММП.

4. В пределах рассматриваемой территории развиты квазистационарные мерзлые толщи в широком диапазоне мощностей от 30 до 1200 м, приуроченные к скальным массивам региона, и два типа нестационарных мерзлых толщ: 1 - деградирующие мерзлые толщи большой (до 500 м) мощности во впадинах байкальского типа (Чарская, Верхне-Токкинская); 2 - деградирующие мерзлые толщи мощностью от 100 до 240 м карбонатных массивов Лено-Алданского плато.

Практическое значение. Приведенные в работе данные получены в процессе выполнения общесоюзных и Российских комплексных научно-технических программ. Материалы этих исследований были использованы экспедициями ПГО "Читагеология" и ПГО "Якутскгеология" при подготовке документов в ГКЗ по детальной и предварительной стадиям разведки семи месторождений полезных ископаемых, а также переданы для внедрения в геологические партии Чаро-Токкинской и Удоканской экспедиций при подготовке материалов по гидрогеологической съемке масштаба 1:200000. Кроме того, результаты выполненных исследований могут быть использованы изыскателями, проектировщиками и строителями, работающими в данном регионе.

Материалы, положенные в основу работы. Работа основана на результатах геотермических исследований в 920 скважинах, глубиной от 25 до 1500 м, 200 полевых и лабораторных определений теплофизических свойств мерзлых и талых пород.

Публикации и апробация работы. Основные положения диссертации частично отражены в 14 публикациях (из них 11 по теме диссертации) и доложены на нескольких научных совещаниях. В их числе: Региональная конференция "Природа и хозяйство Сибири" (Якутск, 1977); Региональные конференции "Геокриологические проблемы Забайкалья" (Чита, 1981; 1984); VII-ая

Конференция молодых ученых и специалистов (Якутск, 1986); Региональная конференция "Геотермия и ее применение в региональных и поисково-разведочных исследованиях" (Свердловск, 1989); 10-ый Всесоюзный научно-технический семинар "Использование новых геофизических методов для решения инженерно-геологических и гидрогеологических задач" (Москва, 1989); расширенное заседание Научного Совета по криологии Земли (Пуццино, 1992).

Личный вклад автора. Все первичные материалы геотермических исследований, положенных в основу диссертации, получены в период 1980-1993 гг. лично автором или при его непосредственном участии и руководстве. Анализ и обобщение материалов проведены автором при консультациях с научным руководителем.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка использованной литературы и трех приложений. Общий объем рукописи 237 страниц, в том числе: текста - 143 стр., иллюстраций - 69, таблиц - 8, список использованной литературы - 180 наименований.

Большую помощь в сборе фактического материала для данной работы оказали работавшие в экстремальных экспедиционных условиях полевые рабочие: Е.Н.Анискин, Н.М.Железняк, М.А.Зайцев, Д.Н.Федосеев, сотрудники Чаро-Токкинской ГРЭ: В.А.Бурцев, Л.А.Петров, В.К.Распопов, С.В.Сабельников, А.В.Ушков; Удоканской ГРЭ: А.В.Ласыгин, Г.А.Максименко, С.Е.Якимов; сотрудники ИМЗ: С.В.Данилевский, И.Д.Никифоров, Б.А.Шмидт. Постоянную помощь в проведении исследований оказывали руководство Чаро-Токкинской и Удоканской геологоразведочных экспедиций. Ценные советы и замечания по диссертации высказали д.г.-м.н. Л.С.Гарагуля, д.г.-м.н. Э.Д.Еришов, к.г.н. И.В.Климовский, к.г.-м.н. В.В.Куницкий, д.г.-м.н. Ю.А.Ним, к.г.-м.н. С.Ю.Пармузин, к.г.-м.н. В.М.Пигузова, к.г.н. М.М.Шац, научные сотрудники Б.В.Володько, Н.С.Ломовцева, В.Г.Русаков. Большую помощь в математической обработке и оформлении работы оказали Л.И.Шипицына и Р.В.Банчик, а также сотрудники лаборатории геотермии. Всем им автор приносит искреннюю признательность.

Автор также глубоко благодарен научному руководителю работы член-корр. РАН В.Т.Балобасву.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ПРИРОДНЫЕ УСЛОВИЯ

По физико-географическому районированию /Тушинский, Давыдова, 1976/ рассматриваемая территория находится на стыке Лено-Алданского плато с Олекмо-Чарским плоскогорьем и Становым нагорьем.

К Лено-Алданскому плато относится северная часть района исследований, характеризующаяся полого-холмистым типом рельефа с абсолютными отметками водоразделов от 500 до 800 м. Геологический разрез территории представлен карбонатными породами кембрийского возраста, которые залегают в северной и центральной частях до глубины 2000-3000 м, а на юге резко сокращаются до первых метров.

К Олекмо-Чарскому плоскогорью принадлежит центральная часть рассматриваемого региона, характеризующаяся эрозионно-тектоническим типом рельефа. Поверхность представляет собой среднегорье с абсолютными отметками 1000-1450 м. В геологическом строении территории принимают участие метаморфизованные архейские, верхнепротерозойские отложения, прорванные магматическими породами архея, протерозоя, мезозоя и перекрытые маломощным чехлом четвертичных образований.

В Становом нагорье располагается южная окраина района исследований. Она относится к высокогорью. Здесь абс. отметки водоразделов достигают 3000 м, а днища межгорных впадин находятся на высоте 700-1300 м. Важнейшей чертой орографии является чередование вытянутых с запада на восток высоких довольно монолитных хребтов и глубоких котловин. В хребтах геологический разрез представлен в основном породами архейского и протерозойского возраста. Во впадинах развиты мезозойские и четвертичные отложения. Суммарная мощность их достигает 500-1500 м.

Климат территории определяется ее внутриматериковым положением, значительной высотой над уровнем моря и глубиной расчлененности рельефа, которая определяет особенности циркуляции воздушных масс. Среднегодовая температура воздуха изменяется от -5,2 - на севере до -11,3°C - в высокогорных котловинах на юге. Наблюдается неустойчивая зависимость

(коэффициент корреляции 0,55) температуры воздуха от широты, долготы и абсолютной высоты местности.

Глава 2. ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКАЯ ИЗУЧЕННОСТЬ ТЕРРИТОРИИ

Значительный вклад в изучение многолетнемерзлых пород Алданской антеклизы внесли М.И.Сумгин, В.Ф.Тумель, А.И.Попов, В.А.Кудрявцев, А.И.Ефимов, И.Д.Белокрылов и др.

В конце 1950-х - начале 1960-х годов определились два направления в подходе к решению проблемы изменения геокриологических условий в горах. Одни ученые (Качурин, 1959; 1965; Швецов, 1951; 1962; Калабин, 1960; Солоненко, 1960) считали, что увеличение мощности и понижение температуры ММП происходит с ростом высотных отметок от днщц к водоразделам. Другие исследователи (Баранов, 1952; 1963; 1965; Кудрявцев, 1954) в области многолетней мерзлоты выделили зоны океанического и континентального влияния, в которых характер распространения ММП является противоположным.

Обобщение разрозненного фактического материала о температуре горных пород и анализ климатических факторов определили различные точки зрения на особенности развития криолитозоны горных стран.

В начале 1960-х годов экспедицией Института мерзлотоведения СО АН СССР под руководством И.А.Некрасова были проведены комплексные геокриологические исследования в хр. Удокан и межгорных котловинах (Чарская, Верхне-Каларская, Нижне-Ингамакитская). Фактические данные о температуре горных пород, полученные К.Ф.Говоровым, С.И.Заболотником, Ю.Г.Шасткевичем - в Верхне-Каларской впадине, Ю.Г.Шасткевичем - в хр. Удокан, позволили более точно оценить мощность мерзлоты на водоразделах и в межгорных котловинах западной части Алданской антеклизы.

В 1961-1965 гг. и 1973-1974 гг. на сопредельной территории мерзлотные исследования проводились кафедрой геокриологии геологического факультета МГУ.

В дальнейшем изучение криолитозоны этого региона продолжили П.Н.Луговой, И.А.Некрасов, Н.А.Шполянская, И.В.Климовский, В.В.Ан, Н.Н.Романовский, В.Н.Зайцев, Л.Н.Соловьева, И.В.Дорофеев, С.П.Готовцев и др.

Ограниченность поискового бурения, отсутствие специально оборудованных скважин для проведения температурных измерений обусловили изучение, в большей степени, температурного режима слоя сезонного протаивания (промерзания) и слоя годовых теплооборотов.

Карты, отображающие геокриологическую обстановку рассматриваемой территории, составленные В.А.Кудрявцевым /1954/, И.Я.Барановым /1960/, П.И.Мельниковым /1966/, П.И.Луговым /1964/, И.А.Некрасовым /1967/, были некондиционными по фактуре, относительно данных о мощности ММП, и в сущности носили прогнозный характер.

Глава 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

В геокриологии для определения мощности ММП пород и положения нулевой изотермы используются данные температурных замеров в стволе выстоявшейся буровой скважины. Поэтому геотермические измерения являлись основным методом при проведении наших исследований. Кроме того, для определения мощности ММП нами использовались, в качестве вспомогательных, следующие методы: фиксирование горизонта ледяных пробок при простое скважины в процессе ее разбуривания; термокаротаж; электромагнитные зондирования методом переходных процессов.

Величина внутриземного теплового потока определялась согласно методике, изложенной в соответствующих работах (Дучков, Соколова, 1974; Балобасв, Левченко, 1978 и др.). Определения проводились по скважинам глубиной 300 м и более, которые были обеспечены данными температурных замеров и измерений теплопроводности горных пород.

Коэффициент теплопроводности определялся по кернам или непосредственно в массиве пород, при этом использовались методы: плоского источника тепла постоянной мощности /Гаврильев, 1981/, цилиндрического зонда ($L/r = 10$) /Гаврильев, 1985/ и измерительно-вычислительный комплекс "Пингвин ТФ-08" /Цибульский, 1985/.

Расчет температуры пород глубоких горизонтов проводился на основе данных геотермических измерений в скважине, с учетом теплофизических свойств пород в разрезе и величины внутриземного теплового потока.

При построении мерзлотно-геотермических разрезов за верхнее граничное условие принималась температура на подошве слоя годовых теплооборотов (T_{cp}), а за нижнее граничное условие величина внутриземного теплового потока. Коэффициент теплопроводности пород рассматривался как свойство среды.

Глава 4. ОБЩИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ И МОЩНОСТИ МЕРЗЛЫХ ПОРОД В ГОРНЫХ РАЙОНАХ

Температура пород на подошве слоя годовых теплооборотов определяется большим комплексом факторов, которые в природе находятся в тесной взаимосвязи и взаимодействии. Количественная оценка роли отдельных из этих факторов дается в работах (Общее мерзлотоведение, 1974; 1978; В.Т.Балобасв, 1991 и др). В настоящей главе зависимость T_{cp} от комплекса поверхностных факторов рассматривается на качественном уровне. С использованием фактических и расчетных данных установлено, что в районе исследований рельеф местности является основной причиной формирования пестроты мерзлотных условий. Через комплекс факторов (микроклиматические условия, особенности циркуляции атмосферы, снегоперенос и снегонакопление, инсоляция и т.д.) рельеф влияет на температуру пород.

На глубину промерзания верхних горизонтов литосферы, наряду с T_{cp} , оказывает влияние теплопроводность массива и внутриземный тепловой поток /Общее мерзлотоведение, 1974/. Отрицательные значения T_{cp} создают только принципиальные возможности для промерзания. При равных T_{cp} максимальное промерзание отмечается в областях с более высокотеплопроводной толщей и меньшим внутриземным тепловым потоком. Анализ геотермических данных, проведенный В.Т.Балобасевым /1966, 1978/, В.Н.Девяткиным /1975/, А.И.Левченко /1988/ показал, что в ряде случаев наибольшие мощности ММП приурочены к зонам наименьшего внутриземного теплового потока, где горные породы представлены высокотеплопроводным материалом, а не к областям с минимальными температурами поверхности. Поскольку тепловой поток аazonalen, азональный является в значительной степени и мощностью ММП. В результате этого становится необходимо оценка q при картировании мощности ММП.

Установлено, что горный рельеф обуславливает перераспределение внутриземного теплового потока по мере приближения к поверхности. Плотность его повышается под долинами и понижается под водоразделами. Это приводит к более быстрому повышению температуры пород с глубиной в долинах и к обратной картине на вершинах. В силу этого при равных T_{cp} , а также близких теплофизических свойствах пород мощность мерзлоты значительно больше под водоразделами, за счет понижения плотности теплового потока под ними.

Глава 5. ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ И ОСОБЕННОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

В районе исследований температурное поле горных пород и особенности распространения мерзлой толщи рассматриваются на 25 разведочных площадях по данным геотермических измерений в более чем 900 скважинах глубиной от 30 до 1500 м. По каждой из разведочных площадей приводятся характерные температурные кривые, мерзлотно-геотермические разрезы, корреляционные соотношения и совокупности точек изменения мощности ММП в зависимости от абс. высоты местности.

В пределах Лено-Алданского плато установлено несколько основных факторов, оказывающих влияние на формирование мерзлой толщи и температурный режим горных пород. К этим факторам относятся: а) существование теплого "термического коридора" в атмосфере северной части территории, обусловленного циркуляционными потоками с запада, что определяет в этой зоне наиболее высокие среднегодовые температуры воздуха ($-5,2$ - $-6,0^{\circ}\text{C}$); б) контрастность рельефа определяющая пестроту мезо- и микроклиматических условий; в) наличие обширных массивов закарстованных карбонатных пород. По характеру распространения и мощности мерзлоты с севера на юг в этом регионе выделяются 3 области: 1 - сплошного распространения ММП с температурой от $-0,2$ до $-1,4^{\circ}\text{C}$ и мощностью от 30 до 110 м; 2 - сплошного распространения ММП с температурой от $0,0$ до $-1,8^{\circ}\text{C}$ и мощностью от 20 до 240 м; 3 - прерывистого распространения ММП с температурой от $+2,0$ до $-0,4^{\circ}\text{C}$ и мощностью до 60 м.

В пределах Олекмо-Чарского плоскогорья ММП носят прерывистый характер распространения. Основной причиной,

оказывающей влияние на формирование пестроты мерзлотных условий, является рельеф и связанное с ним перераспределение снежного покрова, инсоляции и внутриземного теплового потока. Чем больше глубина расчлененности рельефа, тем более суровыми мерзлотными условиями характеризуется территория.

Наиболее низкие температуры пород (до -6°C) и наибольшие мощности мерзлоты (до 560 м) отмечаются в пределах узких водоразделов с крутыми склонами и абс. отметками 1450 м и более. Выше абс. высот 1300 м распространение ММП носит сплошной характер. Это области интенсивного выхолаживания, происходящего в существенной степени благодаря тому, что зимой с их поверхности значительное количество снега сносится на гипсометрически более низкие уровни. В интервале высот 800-1230 м мерзлые породы носят прерывистый характер распространения. Температура пород и мощность мерзлоты определяются степенью расчлененности рельефа. Минимальные ($-4,5^{\circ}\text{C}$) температуры пород и максимальные (до 500 м) мощности мерзлоты наблюдаются на вершинах водоразделов, вблизи крутых склонов северной и северо-западной экспозиций. Условия снегонакопления и инсоляции определяют температурный режим склонов. Многолетнемерзлые породы развиты преимущественно на крутых склонах северной и западной экспозиций. Склоны же южной и восточной экспозиции, занятые стланиковой растительностью, в большинстве случаев характеризуются положительными температурами пород. Обнаженные участки склонов, перекрытые крупнообломочными отложениями, проморожены до значительной глубины независимо от экспозиции.

На плоскогорьях ММП имеют островной характер распространения и развиты в торфяниках и на выпуклых локализованных в рельефе участках. Мощность мерзлых толщ в этих условиях, как правило, не превышает 50-60 м, а температура пород составляет $-0,3 - -1,0^{\circ}\text{C}$.

Талики распространены в долинах рек и ручьев, межгорных распадках, заложенных, в большинстве случаев, по зонам простирания разломов.

Основной закономерностью в Становом нагорье является то, что мощность ММП увеличивается от долин к водоразделам, достигая 600 м на вершинах с абсолютными отметками 1900 м. Вместе с тем на этой территории установлено наличие инверсии температуры пород, а в некоторых случаях и мощности мерзлоты.

Мощность ММП во впадинах байкальского типа, сложенных с поверхности до глубины 500-1500 м четвертичными отложениями, (Чарская, Верхне-Токкинская) в большинстве случаев варьирует от 100 до 450 м и определяется глубиной залегания коренных пород и гидрогеологическими особенностями территории. Эти толщ имеют дестрадирующий характер и протравивают снизу.

Глава 6. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ КРИОЛИТО-ЗОНЫ В РЕГИОНЕ

По полученным данным, в пределах рассматриваемой территории мощность мерзлоты увеличивается с севера на юг. Это происходит вследствие увеличения в этом направлении абс. высот и глубины расчлененности рельефа местности, т.е. здесь высотная поясность превалирует над широтной зональностью.

Нами рассчитан коэффициент корреляции (r), равный 0,68, и выведено уравнение регрессии зависимости мощности мерзлоты (h) от абс. высоты местности (H) по 100 точкам.

$$h = 60,08 + 0,20 H, \quad \text{при } 2100 > H > 290$$

В данной зависимости при установлении корреляционной связи исключались области с прерывистым распространением мерзлоты, т. е. плакоры Олекмо-Чарского плоскогорья и южная часть Лено-Алданского плато. Вышеприведенная зависимость указывает на имеющуюся, но неустойчивую связь рассматриваемых факторов.

Зависимость h от H , установленная для центральной части Лено-Алданского плато, подтверждает устойчивую связь этих факторов с $r = 0,84$, а уравнение регрессии имеет вид:

$$h = 0,57 H - 103,16 \quad \text{при } 280 < H < 550$$

Для Олекмо-Чарского плоскогорья и Станового нагорья коэффициент корреляции исследуемых параметров равен 0,31. Столь низкая его величина связана с тем, что мощность ММП на плоскогорьях определяется, в большей степени, глубиной расчлененности рельефа, нежели абсолютной отметкой. Если в высокогорье основные элементы рельефа близки по своему облику, то среднегорье отличается значительным разнообразием форм поверхности, что определяет через комплекс взаимосвязанных факторов морфологию мерзлой толщ.

Водоразделы региона являются близкими по условиям формирования температурного поля пород. Проведенный для этих

элементов рельефа корреляционный анализ показал наличие прямой устойчивой связи h от H , которая может быть описана уравнением:

$$h = 0,31 H - 26,84 \quad \text{при } 1900 > H > 422,$$

Для Олекмо-Чарского плоскогорья и Станового нагорья r равен 0,96, а уравнение регрессии имеет вид:

$$h = 0,46 H - 260,00 \quad \text{при } 920 < H < 1900 (1).$$

Таким образом, в области сплошного распространения ММП на водоразделах мощность мерзлоты возрастает с ростом абс. отметок поверхности территории по выражению (1).

Коэффициент корреляции абс. высоты нижней границы мерзлоты (H_m) от H для водоразделов равен 0,98 а уравнение регрессии имеет вид:

$$H_m = 0,80 H - 64,15 \quad \text{при } 260 < H < 1900 (2).$$

Таким образом, в интервале высот от 260 до 1900 м при увеличении абс. высоты дневной поверхности на 100 м мощность мерзлых пород возрастает на 20 м. Вышеприведенное уравнение регрессии (2) правомочно для использования его при мелкомасштабном геокриологическом картировании всей рассматриваемой территории.

Отдельно для некоторых площадей эта зависимость не выдерживается. Так, в северной части Лено-Алданского плато (Бордонская площадь) максимальные мощности мерзлоты наблюдаются в долинах, а не на водоразделах.

Наименьшие колебания подошвы мерзлых пород при изменении абс. высоты поверхности отмечаются на площадях Наминга, Южно-Березовская, Чина. В пределах этих площадей на выдержанность нижней границы ММП оказывают влияние перераспределение теплового потока за счет неоднородности рельефа и сложные гидрогеологические условия территории.

Для характеристики температурного поля и выявления закономерностей распространения ММП необходима оценка значений q . Известно, что среднее значение теплового потока соответствует возрасту стабилизации земной коры в геологической структуре, а вариации этих значений в пределах структуры отражают локальные особенности геологического строения и степень новейшей активизации.

Установлено, что в пределах рассматриваемой территории величина внутриземного теплового потока варьирует от 31 до 50 мВт/м². Область Лено-Алданского плато и Олекмо-Чарского

плоскогорья характеризуется изменениями q с севера на юг от 40 до 34 мВт/м². Наибольшая (42 мВт/м²) величина q отмечается в зоне Сельского внутриплатформенного разлома на уч.Верхнее Джеге, а наименьшая величина (31 мВт/м²) - на площади Муруи.

Становое нагорье характеризуется тепловым потоком от 31 - на севере до 48 мВт/м² - на юге. Повышенной величиной q (45-50 мВт/м²) выделяются мезозойские и более молодые депрессии, а также Чинейский габбро-поритовый массив.

Значения внутриземного теплового потока и теплопроводность пород определяют характер температурного поля глубоких горизонтов. Полученные результаты позволили более точно подойти к картированию и моделированию морфологии криолитозоны. Рассматривая в качестве верхнего граничного условия $T_{ср}$, а в качестве нижнего граничного условия температуру на глубинах 1000 или 2000 м, учитывая свойства среды и величину внутриземного теплового потока, нами были построены карты геотермических полей на глубинах 1000 и 2000м, а также сводный мерзлотно-геотермический разрез (рис. 1) и карта распространения и мощности ММП исследуемой территории (рис. 2). Эти материалы позволяют выявить важнейшие геокриологические особенности западной части Алданской антеклизы.

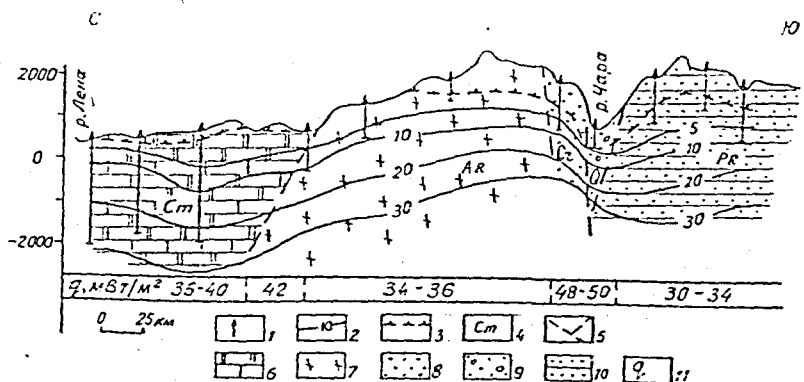
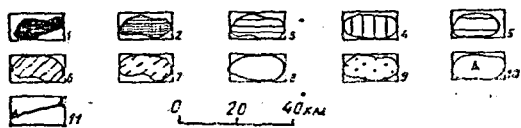


Рис. 1. Мерзлотно-геотермический разрез западной части Алданской антеклизы.

1 - скважина, глубина проведения температурных замеров и термокаротажа; 2 - изотерма 0°C; 3 - нижняя граница ММП; 4 - геологический индекс пород; 5 - тектонические нарушения; 6 - известняки, доломиты; 7 - гнейсы, гранито-гнейсы, граниты; 8 - песчаники; 9 - четвертичные отложения; 10 - песчаники метаморфизованные.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные мерзлотно-геотермические исследования с обобщением и систематизацией имеющихся и новых материалов позволили охарактеризовать температурное поле горных пород и выявить специфические региональные особенности криолитозоны западной части Алданской антеклизы и сделать следующие выводы:

1. Геотермические условия Западной части Алданской антеклизы в значительной степени определяются геоморфологическими особенностями территории. Наблюдается тенденция увеличения мощности квазистационарных ММП с высотой для идентичных орографических поверхностей. Выведены корреляционные зависимости мощности ММП от абс.высоты в пределах водоразделов для отдельных областей и территории в целом.

2. Нестационарные мерзлые толщи развиты во впадинах байкальского типа и закарстованных карбонатных массивах в центральной части Лено-Алданского плато. Мерзлые толщи впадин байкальского типа (Чарская, Верхне-Токкинская) имеют аномально большие мощности и деградиционный характер современного развития. В Чарской впадине мощность многолетнемерзлых пород варьирует от 200 до 475 м, а в Верхне-Токкинской от 150 до 250 м. На

Рис. 2. Карта распространения и мощности ММП западной части Алданской антеклизы.

1 - сплошное распространение ММП мощностью более 600 м. Температура пород от -7,0 до -15,0°C; 2 - сплошное распространение ММП мощностью от 400 до 600 м. Температура пород от -4,0 до -8,0°C; 3 - сплошное распространение ММП мощностью от 200 до 400 м. Температура пород от -3,0 до -6,0°C. Талики имеют место в поймах рек, на плоских водоразделах с абс. отм. 900-1200 м; 4 - сплошное распространение ММП мощностью от 100 до 250 м. Температура от -0,5 до -2,5°C. Талики в поймах рек; 5 - сплошное распространение ММП мощностью от 30 до 150 м. Температура пород от -0,3 до -1,5°C. Талики развиты в долинах рек и на водоразделах с нарушенным растительным покровом; 6 - сплошное распространение ММП мощностью от первых метров до 200 м. Температура пород от -0,5 до -3,0°C. Талики в поймах рек и ручьев; 7 - сплошное распространение ММП мощностью от 200 до 500 м с нестационарной мерзлой толщей. Температура пород от -3,5 до -7,2°C; 8 - прерывистое распространение ММП мощностью до 100 м. Температура пород от +2,0 до -2,0°C. Талики развиты в долинах рек и ручьев, на плоских водоразделах, склонах южной и восточной экспозиций; 9 - талики. Температура пород от +0,1 до +2,0°C; 10 - местоположение площади исследования; 11 - положение мерзлотно-геотермического профиля.

Лено-Алданском плато деградирующие мерзлые толщн характеризуются мощностью от 100 до 250 м.

3. Значения фонового теплового потока в пределах Алданской антеклизы, вследствие ее тектонической активности в мезозое, выше, нежели на стабильных древних щитах типа Анабарского. В пределах рассматриваемой территории величина q изменяется от 31 - в областях выхода пород архея и протерозоя до 48 мВт/м² на участках, сложенных интрузиями мезозоя и в мезо-кайнозойских впадинах.

Расчитаны температуры пород на глубине 2000 м для всех структур региона. Эти значения изменяются в диапазоне от 13 до 32°C. Наиболее низкие температуры 13-14°C отмечаются соответственно в хр. Удокан и в центральной части Лено-Алданского плато, а наиболее высокие - 32°C - в мезозойской впадине в зоне контакта хребта Кодар и Чарской депрессии. Эти различия находят отражение в морфологии и характере распространения ММП.

4. Увеличение мощности ММП под водоразделами и ее сокращение под долинами связано с перераспределением внутриземного теплового потока, величина которого отличается на глубине 300 м от поверхности на 30-40 % и зависит от глубины расчлененности рельефа.

5. В пределах Лено-Алданского плато по характеру распространения и мощности ММП выделяются три области, отличающиеся структурой теплового баланса, составом и теплофизическими свойствами пород, степенью и масштабами развития карстовых процессов, а также микроклиматическими особенностями, формирующимися под воздействием циркуляции воздушных масс в предгорье.

6. Переходная зона от Лено-Алданского плато к Олекмо-Чарскому плоскогорью характеризуется прерывистым распространением ММП и мощностью от первых метров до 60 м.

7. На Олекмо-Чарском плоскогорье геоморфологический фактор является основным в формировании температурного поля пород. Он определяет условия снеготранспорта и инсоляции, под воздействием которых формируется мерзлотная обстановка территории. Для Олекмо-Чарского плоскогорья характерно наличие таликов на склонах южной и восточной экспозиции в долинах ручьев и межгорных распадках, а также на плоских водоразделах в пределах абс. высот 900-1250 м. Наряду с этим мощные (до 500 м)

толщи ММП отмечаются на водоразделах, близ крутых склонов северной и западной экспозиций.

8. В Становом нагорье ММП имеют сплошной характер распространения и прерываются лишь в долинах рек и ручьев, где происходит взаимосвязь поверхностных и подземных вод, а также под крупными озерами.

Максимальная измеренная (616 м) мощность мерзлоты и наиболее низкая (до -8°C) температура отмечены в хр. Удокан на водоразделе с высотой 1900 м. На вершинах с абс. отметками 2500 м мощность мерзлоты, по расчетам автора, может достигать 850-900 м, а $T_{\text{ср}}$ может составлять -11°C .

Инверсия температуры пород в нижней и средней частях склонов наблюдается до высоты 200-300 м над дном долины. Явление это обусловлено комплексом факторов: инверсией температуры воздуха, избыточным увлажнением нижней части склонов, их затененностью, различной крутизной и т.д. На конкретных участках перечисленные факторы действуют в различных сочетаниях.

9. В пределах рассматриваемой территории мощность мерзлой толщи увеличивается с севера на юг. Это является следствием повышения высоты дневной поверхности в указанном направлении. Высотная геокриологическая поясность уверенно прослеживается выше абс. отметок 1300 м. Ниже этих высот мерзлые породы развиты на участках с благоприятными микроклиматическими и геолого-геоморфологическими условиями. В пределах территории четко выделяются гипсометрические уровни: 200-600 м и 1300 и более метров, где ММП имеют сплошной характер распространения; 600-1300, где ММП характеризуются прерывистым распространением.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Геотермические условия Чаро-Токкинского междуречья // Тематические и региональные исследования мерзлых толщ северной Евразии. - Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1981. - С. 65-74. (Соавторы И.В.Дорофеев, Б.В.Володько, М.С.Саржин).

2. Мощность мерзлых пород и геотермические параметры Тарынахского железорудного месторождения // Проблемы

геокриологии Забайкалья. - Тезисы докл. к предстоящей конф. - Чита, 1981. - С. 21-22. (Соавторы В.Т.Балобасв, Б.В.Володько).

3. Факторы определяющие формирование мерзлых пород в переходной зоне Лено-Алданского плато и Олекмо-Чарского плоскогорья // Проблемы геокриологии Забайкалья. - Тезисы докл. к предстоящей конференции. - Чита, 1984. - С. 50.

4. Температурное поле горных пород переходной зоны Лено-Алданского плато и Олекмо-Чарского плоскогорья // Региональные и инженерные геокриологические исследования. - Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1985. - С. 117-126.

5. Вопросы картографирования мерзлых толщ во впадинах в зоне БАМа // Вопросы геокриологического картирования. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1986. - С. 113-121. (Соавтор В.В.Ан).

6. Электронизирование методом переходных процессов при решении инженерно-геологических и гидрогеологических задач в криолитозоне // Использование новых геофизических методов для решения инженерно-геологических и гидрогеологических задач. - Тезисы докл. 10-го Всесоюз. научно-техн. семинара. Москва: ВСЕГНИГЕО, 1989. - С. 198-199. (Соавторы Ю.А.Ним, В.В.Стопши).

7. Мерзлотно-геотермические условия Ансатского каменноугольного месторождения // Геотермия и ее применение в региональных и поисково-разведочных исследованиях. - Тезисы докл. региональной конф. - Свердловск: УрО АН СССР, 1989. - С. 54.

8. Импульсное индукционное зондирование при изучении геокриологических условий Ансатского угольного месторождения // Комплексные мерзлотно-геокриологические исследования. Якутск: ИМЗ СО АН СССР, 1989. - с.126-135. (Соавторы Ю.А.Ним, А.В.Ласыгин, В.Ф.Крохалев).

9. Особенности формирования подрусовых таликов в южной части хребта Кодар (на примере месторождения Ансат) // Формирование подземных вод криолитозоны. - Якутск: ИМЗ СО РАН, 1992. - С. 75-79.

10. Мерзлотно-геотермические условия южной части хребта Каларский (на примере месторождения Катугино) // Геология и геофизика. - 1994. - N4. - С. 86-90.

11. Мощиость многолетнемерзлых пород и тепловой поток западной части Алданской антеклизы // Радиогенное тепловыделение раннедокембрийских кристаллических комплексов в связи с геотермией мерзлой зоны. - (В печати, соавтор В.Т.Балобасв)