

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ОЛЕКМО-ЧАРСКОГО ПОДНЯТИЯ В ЗОНЕ ПРОЕКТИРУЕМЫХ ЛИНЕЙНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА УЧАСТКЕ ИКАБЪЕКАН-ТАРЫННАХ

Железняк М.Н., Жижин В.И., Сериков С.И.

¹*Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова, СО РАН, 677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; Fe@mpi.ysn.ru*

На основе выполненного обобщения литературных и фондовых источников, а также оригинальных наблюдений представлена характеристика криолитозоны и особенностей ее строения в пределах разных геоморфологических районов Олекмо-Чарского поднятия и сопредельных территорий. В выделенных геоморфологических районах показаны различия геокриологических условий и факторы, осложняющие ее строение, которые необходимо учитывать при проектировании и строительстве линейных инженерных сооружений (литологический состав четвертичных отложений и скальных пород, ландшафтные условия, морфология рельефа, влияние снежного покрова, неотектонические движения). Сделаны выводы о необходимости организации мониторинговых наблюдений за температурой пород деятельного слоя в характерных геоморфологических районах. Представленные в статье сведения содержат информацию по температурам пород деятельного слоя, и в целом характеризуют геотермические условия криолитозоны в юго-западной части Алдано-Станового щита.

Ключевые слова: Многолетнемерзлые породы, температура пород, глубина сезонного протаивания, геотермический градиент.

GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS IN THE OLEKMA-CHARA UPLIFT WITHIN THE ZONE OF PROPOSED LINEAR STRUCTURES AT IKABYEKAN-TARYNNAKH SITE

Zhelezniak M.N., Zhizhin V.I., Serikov S.I.

¹*Melnikov Permafrost Institute SB RAS Merzlotnaya St., 36, Yakutsk 677010, Russia Fe@mpi.ysn.ru*

Based on a review of the available published and unpublished sources, as well as on authors' own observations, this study characterizes the permafrost and its structure in different geomorphological regions identified within the Olekma-Chara Uplift and adjacent areas. It describes the variations in geocryological conditions across the geomorphological regions and documents the factors that complicate the permafrost structure (lithology of Quaternary sediments and rocks, landscape conditions, geomorphology, snow effects, and neotectonic movements) and require consideration when designing and constructing linear structures. Data provided in the article contains information on active-layer temperatures and, in general, characterize the geothermal conditions of the permafrost in the south-western Aldan-Stanovoy Shield. The study indicates the necessity of establishing active-layer temperature monitoring programs in representative geomorphological regions.

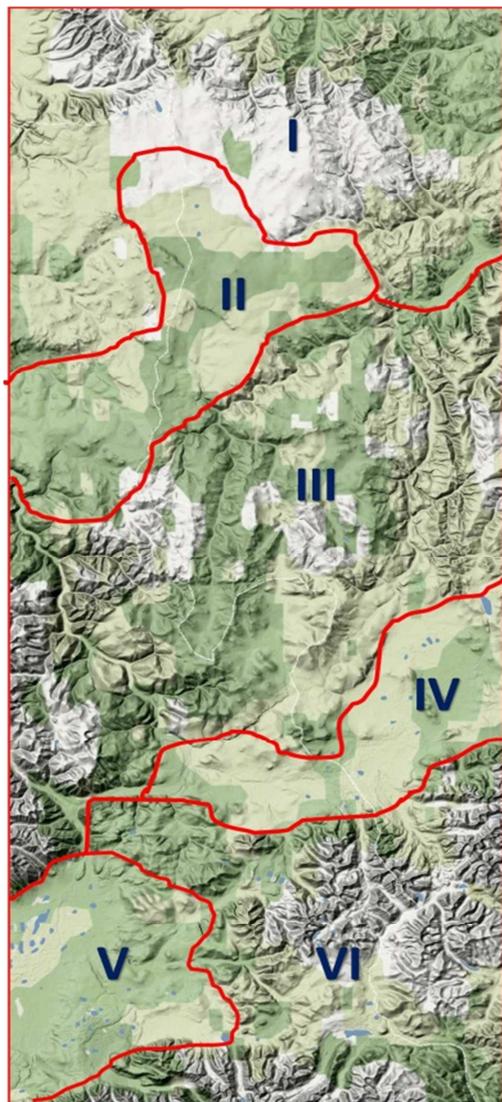
Keywords: Permafrost, ground temperature, seasonal thaw depth, geothermal gradient.

Промышленное освоение крупных месторождений, расположенных на юго-западе республики Саха (Якутия) предполагает, в программе развития производительных сил России и РС(Я) до 2020 г, создание инфраструктуры включающей, в том числе, строительство дорог, линий электропередач и различных инженерных сооружений.

Одним из уникальных районов по совокупности различных видов полезных ископаемых является Мурун-Тарыннахское поднятие, с крупнейшим по разведанным запасам – Тарыннахским железорудным месторождением. Строительство высоковольтной линии электропередач (ВЛЭП), железной дороги и присоединение её к Байкало-Амурской магистрали, даст возможность освоения этого богатого природными ресурсами региона.

Территория предполагаемого развития расположена в пределах Олёкмо-Чарского поднятия (ОЧП), Кодарского и Удоканского хребтов. Климат региона - суровый. Среднегодовая температура воздуха на рассматриваемой территории варьирует от -6 до -10°C. Годовая амплитуда колебаний среднемесячных температур воздуха составляет 43-53 °С [1].

Отличительной особенностью территории, в том числе и для инженерного освоения, является наличие сезонных и многолетнемерзлых пород, определяющих инженерно-геологические условия.



Рельеф территории на севере представлен среднегорьем с высотами водоразделов 1000 - 1400 м, а на юге - среднегорьем и высокогорьем - до 3012 м (г.Апсат). Согласно геоморфологическому районированию с севера на юг сотрудниками ИМЗ СО РАН выделены: - Кебекте-Торгинский, Алаткит-Кебектинский плоскогорный, Кодарский среднегорный, Верхнетоккинский и Верхнечарский межгорно-котловинные и Удоканский среднегорный районы (Рис.1). Каждый из них отличается геолого-геоморфологическими, ландшафтными и соответственно геокриологическими условиями, характеристика и специфика которых, последовательно рассматриваются далее.

Рис.1. Схема геоморфологического районирования территории

Условные обозначения:

I – Кебекте-Торгинский плоскогорный район; II – Алаткит-Кебектинский плоскогорный район; III – Кодарский среднегорный район; IV – Верхнетоккинский межгорно-котловинный район; V – Верхнечарский межгорно-котловинный район; VI – Удоканский среднегорный район

Кебекте-Торгинский район (I) расположен в северной части Олёкмо-Чарского поднятия (рис.1). В его пределах наиболее распространены плоскогорно-привершинные и горносклоновые формы рельефа. Толщи коренных скальных выходов сложены докембрийскими метаморфическими и интрузивными кристаллическими породами, на склонах они перекрыты делювиально-солифлюкционными (до 35-40%) четвертичными

комплексами. Абсолютные высоты местности в долинах около 850м, на водоразделах до 1200м.

По абсолютным отметкам, и геокриологическим условиям в районе выделяются три, области [2]:

1 - полого-холмистого рельефа, с высотами не более 850м и с превышениями водоразделов над днищами речных долин 100 - 200м. Многолетнемерзлые породы (ММП) здесь имеют островное распространение и залегают в пределах заторфованных участков надпойменных террас, редких крутых склонах северной и северо-восточной экспозиций, где на поверхности залегают крупнообломочные отложения. Мощность многолетнемерзлой толщи (ММТ) на таких участках, не превышает 30-50м. Температуры пород (ТП) на глубине годовых теплооборотов в большинстве случаев изменяются от +0,6 до +1,4°C;

2 - резко расчлененного рельефа, с высотами водоразделов 1000 - 1300м и превышениями, соответственно, до 500м. ММП в этой области имеют прерывистое распространение и залегают на склонах северной и западной экспозиций, а также в подгольцовых и гольцовых областях водоразделов. ТП изменяется на водоразделах - от +0,5 до -3,8°C (рис. 2, скв.14 и 109), в седловинах, между водоразделами - от +2,5 до +0,8°C (см.рис.2, скв.81), на нагорных террасах в подгольцовых зонах; от +1,0 до +0,2°C (см.рис.2 скв.154, 27). Максимальная мощность ММТ до 500м установлена в гольцовых зонах наиболее высоких водоразделов и в верхних частях крутых склонов северной экспозиции. На участках резко расчлененного рельефа мощность ММТ вблизи крутых склонов в пределах высот 990-1090м составляет 420-470м (рис.3, скв. 10, 22), тогда как на идентичных высотах в центральной части пологих холмов она не превышает 250-300м (рис.3, скв.43).;

3 - плато и полого-холмистого рельефа, с высотами водоразделов 1000 - 1250м, пологими склонами. ММП имеют здесь островное распространение и присутствуют только на

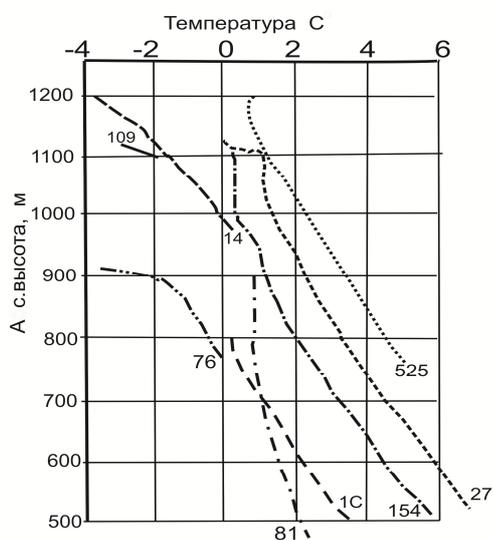
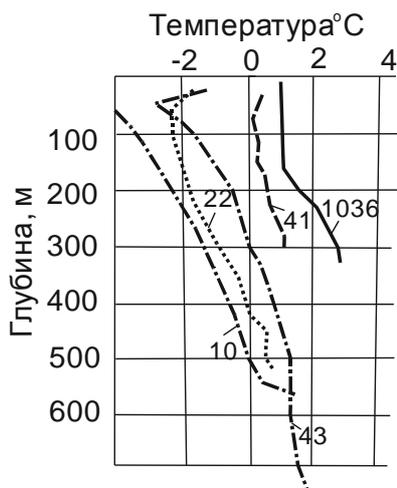


Рис.2. Изменение температуры пород с глубиной по скважинам северной части Олекмо-Чарского поднятия

локальных участках водоразделов (останцы, каменные развалы), крутых склонах северной и западной экспозиций, а также на открытых заторфованных участках в верховьях ручьев. ТП варьирует от +1,4 до -0,5°C (в пределах плоскогорий от +0,6 до +1,4°C, см.рис.2, скв.525), а мощность ММТ, не превышает 40 - 60м.

В целом, для рассматриваемого района, на изменения ТП оказывает влияние образование снежников, формирующихся на склонах и в западинах водоразделов. Так, на нагорных террасах, в верхних

частях холодных склонов, где расположены снежники площадью до 150 - 200м² и более,



размещаются породы с нестационарным температурным полем в верхней части разреза, что обусловлено частично «отепляющим влиянием» снежников (рис.3, скв.41) [3].

Наличие зональных трещин в породах вдоль разломов, способствует инфильтрации дождевых осадков и конвекции воздуха, это оказывает существенное влияние на формирование температурного поля и особенности залегания ММП, условия питания и разгрузки подземных вод.

Рис.3. Изменение ТП с глубиной в скважинах Олекмо-Чарского поднятия (Угуйский грабен)

Так, на Тарыннахском месторождении, зона талых пород шириной 200 - 350м прослежена между мерзлыми массивами. ТП в этой талой зоне, по данным режимных наблюдений, в скв. 4 (рис.4) на глубине 40м равна +1,0°C. Ширина и контуры таликовой полосы совпадают с трещиноватыми породами, в зоне крупного разлома, выраженного депрессивными седловинами в рельефе и крутыми выступами ненарушенных пород [4].

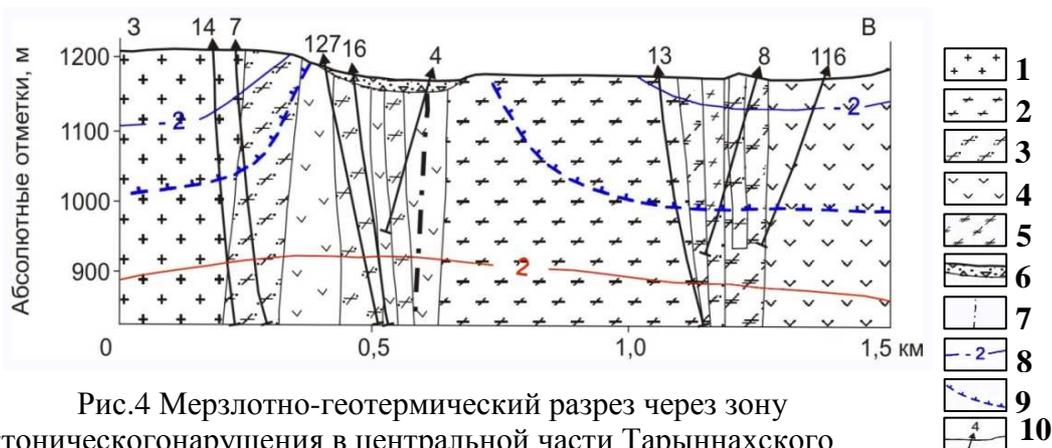


Рис.4 Мерзлотно-геотермический разрез через зону тектонического нарушения в центральной части Тарыннахского месторождения

Условные обозначения: 1-граниты, 2-гранитогнейсы, 3-железистые кварциты, 4-амфиболиты, 5-кристаллические сланцы, 6-брекчии, конгломераты, 7-тектонические нарушения, 8- изотермы, °С, 9-подошва многолетней мёрзлой толщи, 10-номер скважин

Алаткит-Кебектинский район (II) расположен в южной части Олекмо-Чарского поднятия в междуречье Алаткита и Кебекте (рис.1). Рельеф этой территории представлен плоскогорно-привершинными формами, на которых развиты склоновые делювиально-солифлюкционные и малой мощности долинные четвертичные отложения, залегающие на карбонатных толщах чехла и метаморфических образованиях фундамента. На площади этого района ММП имеют прерывистое распространение. Мерзлые толщи развиты фрагментарно на водоразделах, реке склонах, где на поверхность выходят крупнообломочные и отсутствует растительность,

кроме того на массивах торфяников. Температура пород изменяется преимущественно от $-0,5$ до $+2,0^{\circ}\text{C}$. Наиболее высокие значения ТП приурочены к участкам, где маломощный слой четвертичных отложений подстилается трещиноватыми породами (в зонах разломов). Мощность слоя сезонного промерзания здесь составляет 2-3 м - а на дренированных участках склонов, ввиду их повышенной трещиноватости увеличивается до четырёх, иногда и более метров.

В пределах Алаткит – Кебектинского района специфичным участком является Ималыкский грабен. В контурах грабена развиты преимущественно талые породы. Многолетнемерзлые толщи мощностью до 60 м установлены в виде островков под массивами торфяников [5], на локальных возвышенностях, которые на дневной поверхности покрыты крупнообломочными элювиально-делювиальными отложениями. В характере изменения ТП с глубиной (рис.3, скв.1036), малая величина геотермического градиента ($0,7-0,8^{\circ}\text{C}/100$ м) обусловлена высокой теплопроводностью пород (известняки, доломиты). Наличие без градиентных (зона транзита) и высоко градиентных зон (притока, поглощения) обусловлено движением воды в стволе скважины.

В придолинных, слабодренированных природных комплексах района широко распространены мари, которые представляют собой участки с заболоченной поверхностью. Кроме того, здесь имеются термокарстовые озёра, термоэрозионные воронки, бугры пучения, структурные грунты и наледи. На участках развития карбонатных толщ развиты карстовые образования, достигающие иногда значительных размеров, так глубина наиболее крупных воронок в верховьях р.Нижний Горкит достигает 8-10 м.

Кодарский среднегорного район (III) включает в себя правобережную часть долины р.Чара в среднем её течении (рис.1). Водоразделы прорезаны многочисленными впадающими в реку ручьями. Абсолютные отметки высот этой площади изменяются от 700 м - в долинах и до 1425 м - на водоразделе. В долинах рек залегают аллювиальные и местами ледниковые отложения, вдоль склонов распространены преимущественно горносклоновые коллювиальные, делювиально-коллювиальные четвертичные комплексы. В их составе преобладает песчано-щебнисто-глыбовый материал магматических и метаморфических пород.

Геокриологические условия этого района существенно отличаются от южных и северных. Здесь, в области среднегорья, развиты ММТ сплошного распространения. ТП изменяется от $-3,5^{\circ}\text{C}$ - на высотах 1000 м до $-7,8^{\circ}\text{C}$ на высотах 2200 м. По данным геотермических исследований и расчётам в пределах среднегорной части хребта Кодар в интервале высот 1200-1900 м мощность ММТ изменяется от 350 до 720 м. Для водоразделов и верхних частей склонов она описывается следующим уравнением регрессии: $h = 0,84 H -$

740,35 при $1200 > H < 2100$, где h - мощность мёрзлых толщ, H – абсолютная отметка поверхности.

Долины наиболее крупных рек, имеют троговую форму. Таликовые зоны, развиты вдоль долин рек и ручьев, заложенных, как правило, вдоль разломов. В зависимости от степени трещиноватости скальных пород и гидрологических характеристик здесь формируются сквозные и несквозные талики (Рис.5).

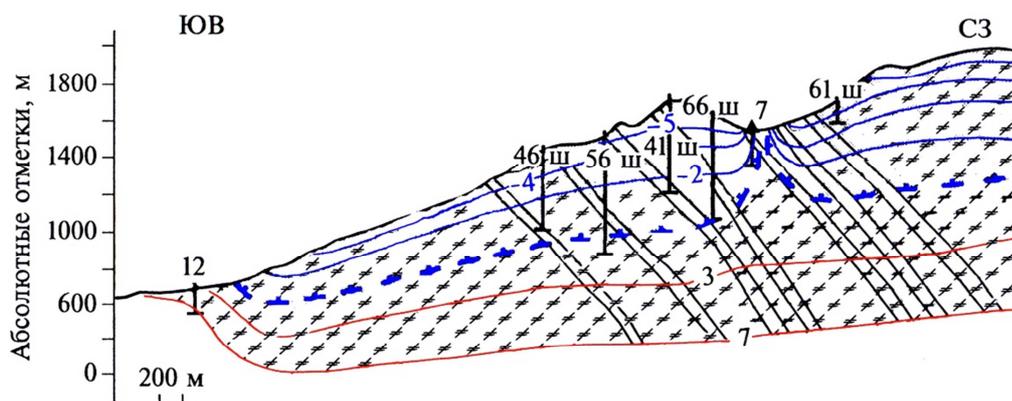


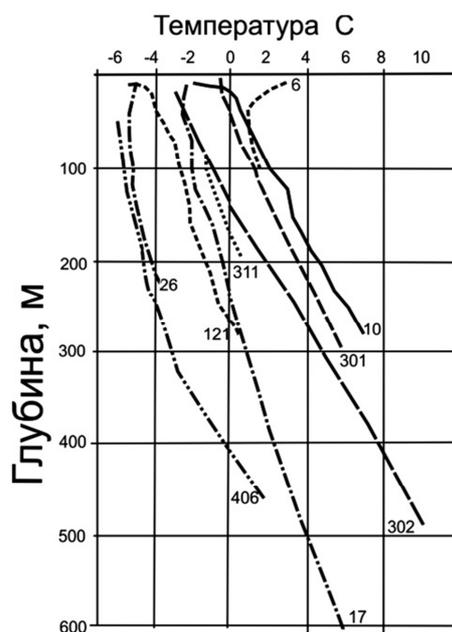
Рис.5. Мерзлотно-геотермический разрез в верховье руч.Березовый (центральная часть Олёкмо-Чарского плоскогорья). Условные обозначения см.рис.4.

В пределах Апсатской грабен-синклинали, формирование геотемпературного поля и многолетнемерзлой толщи носит специфичный характер, обусловленный повышенным (относительно средней величины ОЧП) внутри земным тепловым потоком (48 мВт/м^2) и более низкими значениями теплопроводности пород. ММП здесь имеют сплошное распространение, а ТП на отдельных участках достигает $-7,4^\circ\text{C}$. Мощность ММТ в интервалах абсолютных высот 1100 - 1800м изменяется от 140 - в долинах до 520м - на водоразделах (рис.6).ММТ мощностью менее 140м и небольшие талики вытянуты вдоль речных долин и связаны, с гидрогеологическими особенностями и трещиноватостью пород в зонах разломов. В пределах склонов и водоразделов в интервале высот 1500 - 1800м нижняя граница ММТ залегает на глубинах от 300 до 400м (рис.6, скв. 26, 121, 406). Величина геотермического градиента изменяется от 0,3 до $2,8^\circ\text{C}/100 \text{ м}$ и зависит от различия теплофизических свойств пород, перераспределения внутриземного теплового потока в системе склон – водораздел и гидрогеологических условий.

Зависимость мощности ММТ (h) от абсолютной высоты поверхности (H) имеет линейную связь[3] с коэффициентом корреляции 0,96, и может быть описана следующим уравнением регрессии : $h = -771,2 + 0,7 H$ при $1500 > H < 1800$.В межгорных распадках мощность ММТ в интервале высот 1150 – 1620м, в большинстве случаев, изменяется от 140 до 240м скв.17,301,302,311 (рис.6). Наличие сквозных и надмерзлотных таликов установлено

геотермическими исследованиями в скважинах 6 и 10 (рис.6) и электромагнитным зондированием (ЗМПП).

В плане талики имеют узкую (10-50м), вытянутую вдоль долины форму. Площадь



таликов разнообразна – от 50 до 1500м². Мощность надмерзлотных таликов достигает 20-50м и связана с инфильтрацией и транзитом поверхностных вод в грубообломочных ледниковых отложениях и интенсивно трещиноватых скальных породах. Сквозные талики приурочены к зонам трещиноватых пород, по которым круглогодично происходит взаимосвязь грунтовых и подземных вод глубоких горизонтов [6,7]. Сквозные талики в высокогорной (центральной) части ОЧПимеются только в зонах разгрузки и фильтрации подземных вод по трещиноватым породам.

Рис.6. Температуры пород по скважинам участка Апсат (Скв. 6, 10, 17, 301, 302, 311 – долины ручьев; 25, 121 – склон юго-западной экспозиции; 406 – склон западной экспозиции)

Существенное влияние на температурный режим горных пород в регионе оказывает инверсия температуры воздуха. Специальными исследованиями, выполненными в Апсатской грабен-синклинали, установлено, что её величина, в зависимости от высотных отметок варьирует от 0,63 до 0,38°С/100м и прослеживается в породах на высотах до 150-300м над дном долины [3].

Специфические геокриологические условия характерны для Чарской и Верхне-Токкинской впадин «байкальского типа», расположенных в центральной части рассматриваемого региона (см.рис.1). Это относительно молодые грабены, фундамент под ними разбит на отдельные блоки, а мощность четвертичных отложений составляет от 100 до 1500м [6].

В формировании современного рельефа здесь, наряду с неотектоническими процессами участвовала экзарационная деятельность ледников, а также флювиогляциальные потоки и работа рек. Поверхность впадин в значительной степени заболочена, на пологих склонах распространены многочисленные мари. Суровые климатические условия способствуют здесь сплошному развитию ММП значительной мощности.

Верхне-Токкинский межгорно-котловинный район (IV) расположен в верхнем течении р. Токко (см.рис.1). В структурном отношении это северо-восточное продолжение Чарской депрессии. Рельеф в границах котловины пологохолмистый, с абсолютными высотами 650-750 м. Мощность четвертичных толщ составляет 100-250 м.

В этой структуре геотермические исследования были выполнены в 1985 году сотрудниками ИМЗ СО РАН в двух скважинах глубиной 60 и 150 м [3].

Основываясь на этих данных, сведениях в процессе бурения скважин при проведении инженерно-геологической съёмки в 1980-х годах, а также данных геофизических исследований, мы считаем, что ММП в пределах впадины имеют сплошное распространение. Наибольшая мощность ММП приурочена к местам глубокого погружения фундамента, т.е. на севере и юге впадины, где глубина четвертичных отложений достигает 250 - 270 м. ТП в этой впадине в большинстве случаев варьирует от $-1,7$ до $-2,6^{\circ}\text{C}$.

Верхнечарский межгорно-котловинный район (V) расположен в верхнем течении р. Чара (см. рис.1). В целом, в пределах Чарской котловины ТП в зависимости от ландшафтных и гидрогеологических условий варьирует от $+1,5$ до $-6,2^{\circ}\text{C}$. Наиболее низкие значения ТП отмечены в северной части впадины, под массивами торфяников. Талики зафиксированы бурением и геотермическими измерениями в бортах впадины, в долинах и поймах ручьев, в местах выхода на поверхность термальных источников [6]. Они связаны с особенностями разгрузки подземных вод и занимают не более 5-6% площади.

Геотермическими исследованиями [3] в северной части впадины, установлено, что максимальная мощность ММП в местах глубокого погружения фундамента (более 1100 м) достигает 470 м. Форма температурной кривой имеет нестационарный тепловой режим.

В северо-восточной части котловины ТП изменяется от $+0,1^{\circ}\text{C}$ (конечный моренный вал) до $-3,3^{\circ}\text{C}$ (маревый участок), а мощности ММП соответственно равны 16 и 300 м. Столь большие изменения мощности ММП на этом участке впадины объясняются наличием очагов разгрузки и транзита подземных вод в шовной зоне между впадиной и хр. Кодар, а также неотектоническим влиянием и компенсационным осадконакоплением в условиях сурового климата.

Удоканский среднегорный район (VI) соответствует восточной части Кодаро-Удоканского прогиба. Он сложен нижнепротерозойскими карбонатно-терригенными породами удоканского комплекса. Эта структура ограничена и разбита крупными тектоническими нарушениями. Для района характерны высоты водоразделов 1400-2600 м, которые определяют приуроченность его к верхнему геокриологическому поясу, где с увеличением высоты гор, мощность ММП возрастает, а ТП понижаются.

Рельеф юго-восточной части Удоканского среднегорного района (территория исследований) резко расчлененный, с абсолютными высотами водоразделов 1100-1300 м и превышениями водоразделов над днищами долин 300-500 м. ТП на склонах южной экспозиции изменяется от $-1,8$ до $-2,5^{\circ}\text{C}$, понижаясь до $-5,6^{\circ}\text{C}$ - соответственно на северных склонах. Мощность ММП изменяется от 200 м - в долинах до 525 м - на водоразделах.

Наличие нагорных террас в верхних частях склонов, плоские водоразделы и связанные с ними условия снегопереноса способствуют повышению ТП на этих элементах рельефа.

Более стабильные геокриологические условия в южной части Удоканского прогиба имеют межгорные плато с высотами 1350-1500 м. ММП в их пределах имеют сплошное распространение, мощность их изменяется от 200 до 240 м, а ТП от $-2,4$ до $-3,6$ °С [17]

В целом, для района типично сплошное распространение ММП, которое прерывается таликами (в том числе сквозными) только под руслами крупных водотоков и в местах выхода подземных вод. ТП на надпойменных террасах и в долинах водотоков изменяется от положительных до -5 °С. На маревых участках, где грунты сложены оторфованными супесями и пылеватými песками, ТП варьирует от $-3,0$ до $-4,5$ °С. На поросших лесом дренированных участках с кустарниками (где, грунты сложены мелкими и пылеватými песками), ТП изменяется от $-2,0$ до $-3,0$ °, а мощность ММП составляет 100 - 200 м и уменьшается до 10-50 м вблизи талых обводненных зон разломов. [8,9,10].

Разнообразие литологического состава рыхлых четвертичных отложений обусловило многообразие подземных льдов, из которых наиболее распространены текстуро-образующие льды. Они формируют самые различные типы криогенных текстур - от массивных до шпировых. Значительно изменяется объемная льдистость отложений от 50-60% - в оторфованных и пылеватых песках пойменных террас до 2-5% - относительно сухих крупнообломочных мореных отложениях. Крупные ледяные массивы представлены погребенными, инъекционными и повторно-жильными льдами, кровля которых залегает на глубинах 1,4-6,0 м, а мощность их изменяется от 1 до 15м. [8].

Ледниковые отложения широко развиты в долине р.Икабъекан и представлены супесями и песками с включением гравия, гальки и валунов. Содержание валунов составляет до 30-50%. На отдельных участках по берегам реки, валунно-галечниковый горизонт перекрыт с поверхности суглинками, супестью и песками, мощность которых в среднем 3м. Температура грунтов варьирует здесь от $2,5$ до $-3,5$ °С.

Наледи широко развиты в долинах рек Мурурин, Хани, Икабъекан, Кебекте, Туостах и на некоторых их склонах. Например, в долине р. Хани большое количество наледей расположено в верховьях и низовьях реки. Объем льда в наледях долины р. Хани превышает 2 млн. м³ при средней мощности льда около 3м.

Заключение

На основании комплексной геокриологической характеристики территории, представленных в статье температурных данных, которые возможно использовать как основу для инженерных проектов, сделаны следующие выводы: 1. Геокриологические условия в зоне проектируемых линейных сооружений на участке Икабъекан-Тарыннах

Олекмо-Чарского поднятия, отличаются пестротой и разнообразием, которое определяется сочетанием комплекса природных факторов. Авторами на основании собственных исследований, литературных и фондовых материалов, выполнено районирование территории и дана характеристика геокриологических условий вихраницах.

2. Установлено, что в пределах выделенных районов геокриологические условия имеют существенные различия и это необходимо учитывать при проведении инженерных изысканий и выработке проектных решений. ТП в области развития ММТ, является индикатором состояния грунтов оснований инженерных сооружений. Учитывая пестроту геокриологических условий и существенные изменения климата на Земле в последние годы, необходимо на начальных стадиях освоения территории сформировать мониторинговую геокриологическую сеть. Представленные в статье температурные данные позволяют подготовить эффективные проектные решения при освоении месторождений, контролировать и разрабатывать обоснованные превентивные мероприятия по устойчивости инженерных сооружений и конструкций, а также способствуют обеспечению экологической безопасности территории.

Список литературы

1. Караушева А.И. Климат и микроклимат района Кодар-Чара-Удокан / - Л.: Гидрометеиздат, 1977. - 128 с.
2. Железняк М.Н. Мощность многолетнемерзлых пород Кодаро-Удоканской горно-складчатой области //Материалы первой конференции геокриологов России. Всерос.конф.(Москва, 4-12 июня, 1996г.).- М.: Изд-во МГУ, 1996. - Кн.1. – С. 381-388.
3. Железняк М.Н. Геотермические условия формирования и существования криолитозоны в западной части Алданской антеклизы / - Якутск: Изд-во СО РАН, 1998. - 91 с.
4. Дорофеев И.В., Железняк М.Н., Володько Б.В., Саржин М.С., Геотермические условия Чаро-Токкинского междуречья //Тематические и региональные исследования мерзлых толщ Северной Евразии. - Якутск: ИМ СО АН СССР, 1981. – С.65-74.
5. Готовцев Г.П., Дорофеев И.В. Морфология мерзлой толщи Чаро-Токкинского междуречья // Геокриологические условия зоны БАМ. - Якутск, Изд-во ИМ СО АН СССР, 1980 – с.89-95.
6. Железняк М.Н. Геотемпературное поле и криолитозона юго-востока Сибирской платформы. Новосибирск.: Наука, 2005. -228 с.
7. Ним Ю.А., Железняк М.Н., Крохалев В.Ф., Ласыгин А.В. Импульсное индукционное зондирование при изучении геокриологических условий Апсатского угольного

месторождения // Комплексные мерзлотно-гидрогеологические исследования. – Якутск, ИМЗ СО АН СССР, 1989. – С.126-135.

8. Фотиев С.М., Данилова Н.С., Шевелева Н.С. Геокриологические условия Средней Сибири. – М., Наука, 1974. – 146 с.

9. Некрасов И.А., Климовский И.В. Вечная мерзлота зоны БАМ.- Новосибирск, Изд-во «Наука», 1978. – 120с.

10. Ан В.В., Любомиров А.С., Соловьева Л.Н. Геокриологические условия Байкало-Становой части зоны БАМ. – Новосибирск, Наука, 1984. -152 с.

Рецензенты:

Макаров В.Н., д.г.-м.н., профессор, зав. лабораторией геохимии криолитозоны, ФГБУН Института мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН, г. Якутск;

Григорьев М.Н., д.г.н., г.н.с., зам. директора ФГБУН Института мерзлотоведения им. П.И.Мельникова СО РАН, г.Якутск.