

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК. 551.32 : 551.34

ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УРАЛО-ПАЙ-ХОЙСКОЙ
ГОРНОЙ СИСТЕМЫ

С.М. ФОТИЕВ

*Институт криосферы Земли СО РАН
625000, Россия, г. Тюмень, ул. Малыгина, 86, e-mail: kriozem@gmail.com*

Современные геокриологические условия Урало-Пай-Хойской горной системы рассмотрены как результат неоднократных и существенных изменений суровости климатических и геокриологических условий. Показано, что формирование температуры пород, мощности, прерывистости и строения криогенной толщи на протяжении всего криогенного периода и в настоящее время подчинялось и подчиняется законам широтной зональности и высотной поясности. Приведённые характеристики современной криогенной толщи для отдельных частей Урала и Пай-Хоя наглядно иллюстрируют существенные изменения температуры пород от +3 до -11°C, мощности от 0 до 1000 м, прерывистости и строения криогенной толщи как при увеличении широты, так и абсолютной высоты местности.

Ключевые слова: криогенная область; мерзлые и морозные породы; законы широтной зональности и высотной поясности.

GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS OF THE URALS-PAI-KHOI
MOUNTAIN SYSTEM

S.M. FOTIEV

*Institute of Earth Cryosphere, Siberian branch of Russian Academy of Science,
625048, Russia, Tyumen', ulitsa Malygina, 86, e-mail: kriozem@gmail.com.*

Contemporary geocryological conditions of the Urals-Pai-Khoi mountain system has been considered as a result of the repeated and significant changes of the severity of the climatic and geocryological conditions. It has been demonstrated that during all the cryogenic period as well as at nowadays, the formation of the rock temperature, the thickness, the discontinuity and the structure of the cryogenic strata obeyed and obey the laws of latitude and altitude zoning. The given characteristics of the contemporary cryogenic strata for the segments of Urals and Pai-Khoi illustrate clearly the significant changes in rock temperature (from +3 to -11°C), in thickness (from 0 to 1000 m), discontinuities and structure of the cryogenic strata at the increase both in latitude and in altitude of the area.

Key words: cryogenic area, frozen and permafrost dry rocks, laws of latitudinal and altitudinal zonality

Введение

Урало-Пай-Хойская горная система простирается с юга на север более чем на 2500 км — от 51°25' до 69°35'. С юга она ограничена широтным участком долины р. Урал ниже г. Орска. Система со-

стоит из горной страны Урал и кряжа Пай-Хой. Ширина её от 40 до 150 км. Горная страна представлена параллельными хребтами, кряжами и отдельными массивами, разделёнными межгорными котловинами и речными долинами. Урал принято делить на части: Южный, Средний, Северный,

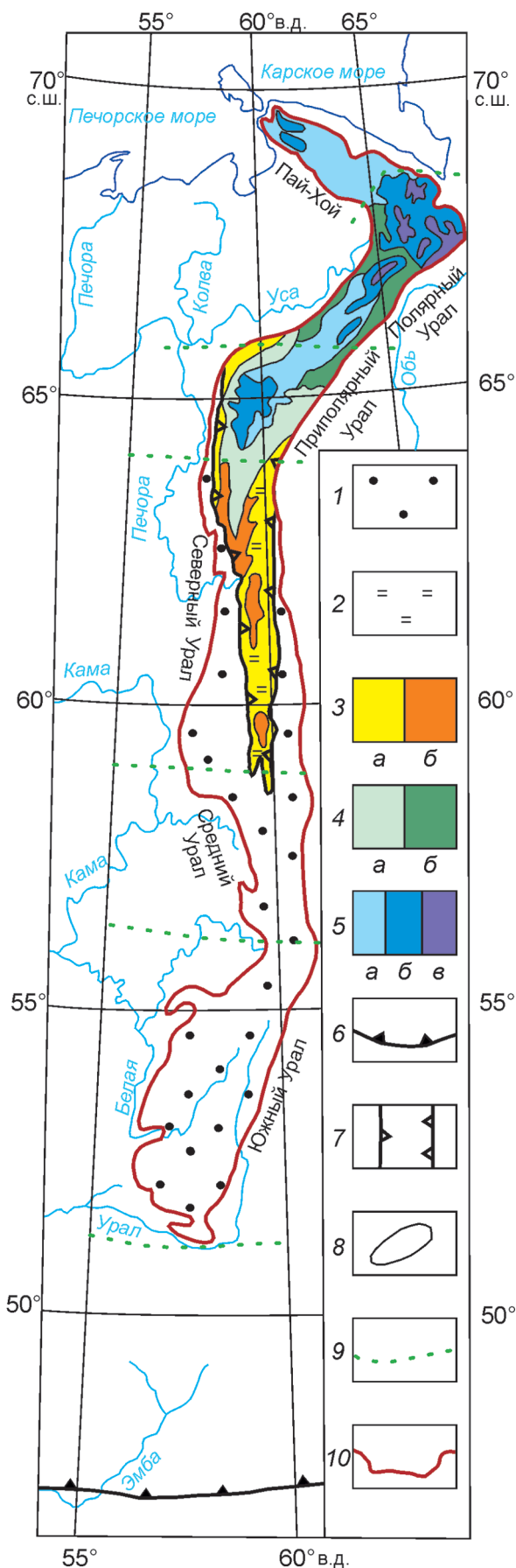


Рис. 1. Схема геокриологического районирования Урало-Пай-Хойской горной системы: 1 – зона сезонномерзлых пород: T_p от +1 до +3°C, КТ неоплейстоценового возраста деградировала полностью; 2 – площадь неполной деградации КТ неоплейстоценового возраста с глубоким залеганием кровли; 3 – КТ голоценового возраста: а – островная КТ-1, T_p до -1,0°C, M_{KT} до 50 м, F_{KT} до 25 %; б – массивно-островная КТ-1, T_p от -0,5 до -1,0°C, M_{KT} до 100 м, F_{KT} до 50 %; 4 – КТ голоценового возраста: а – прерывистая КТ-1 (в предгорьях), КТ-8 (в горах): T_p от -1,0 до -2,5°C, M_{KT} до 150 м, F_{KT} от 50 до 75 %; б – слабопрерывистая КТ-1 (в предгорьях), КТ-8 (в горах): T_p от -1,0 до -3,0°C, M_{KT} до 250–300 м, F_{KT} от 75 до 95 %; 5 – КТ неоплейстоценового возраста: КТ-1 (в предгорьях), КТ-7, КТ-8 (в горах), сплошная, F_{KT} 95–100%: а – T_p от -3,0 до -5°C, M_{KT} от 250–300 до 500 м; б – T_p от -5,0 до -7,0°C, M_{KT} от 500 до 700 м; в – T_p от -7 до -11°C, M_{KT} от 700 до 1000 м и более; 6 – южная граница криогенной области в конце сартанской аградационной эпохи; 7–10 границы: 7 – криогенной области в современный период; 8 – геокриологических провинций; 9 – географических частей Урала; 10 – Урало-Пай-Хойской горной системы; КТ – криогенная толща (толща пород с отрицательной температурой), КТ-1 – толща мерзлых пород, КТ-7 – толща морозных пород, КТ-8 – толща мерзлых и морозных пород; T_p – температура пород; M_{KT} – мощность криогенной толщи; F_{KT} – площадь криогенной толщи

Приполярный и Полярный. От Полярного Урала до пролива Маточкин Шар в пределах Югорского п-ова протягивается кряж Пай-Хой [6] (рис. 1). Современный рельеф сформировался под влиянием неоген-четвертичных поднятий. Наиболее значительные поднятия (700–1000 м) характерны для осевых частей хребтов Приполярного и Полярного Урала.

Современные геокриологические условия – результат многократных и существенных изменений теплообмена в системе атмосфера – почва – литосфера на протяжении всего криогенного периода (3,1–0,0 млн. лет [11]).

Пространственная неоднородность формирования основных характеристик криогенной толщи (КТ)¹ (температура пород, мощность, прерывистость и строение КТ) на протяжении всего криогенного периода, начиная с позднего плиоцена (3,1 млн. лет) до современного периода, определялась: значительной (более 2500 км) протяжённостью горной системы с юга на север, а также огромным диапазоном высотных отметок (от 0 до 3000 м). На фоне прогрессирующего похолодания климата, обеспечивающего возможность формирования КТ, в холодные аградационные эпохи (криохроны) температура пород понижалась, мощность и площадь распространения КТ увеличивалась, но существенно сокращалась прерывистость КТ. В тёплые деградационные эпохи (термохроны) температура пород повышалась, мощность и площадь распространения криогенной толщи сокращались, а в южных районах существенно увеличивалась её прерывистость. В [11] автором было установлено, что только в неоплейстоцене достаточно уверенно выделяются 21 криохрон и 20 термохронов. В 11 из 21

¹ Толща пород с отрицательной температурой [11, 13].

криохронов температура воздуха опускалась ниже современной на 8—12°C, а на огромной циркумполярной площади формировалась и длительное время существовала низкотемпературная (-3...-25°C), мощная (300...1500 м), сплошная по распространению КТ. В термохроны в южных районах криогенной области (КО)² КТ деградировала полностью, в центральных — частично, а в северных районах сохранялись суровые климатические и геокриологические условия, хотя температура пород повышалась и весьма значительно, но в пределах отрицательных значений.

Следы существенного криогенного преобразования толщ пород на протяжении криохронов и термохронов сохранились в недрах структур Урала до наших дней [7, 8, 11].

Климатические и геокриологические условия за последние 40 тыс. лет

Зональные и региональные различия условий формирования КТ отчётливо проявились на протяжении трёх последних геокриологических эпох: очень холодной (сартанской), тёплой (раннеголоценовой) и холодной (позднеголоценовой). В недрах структур следы значительного криогенного преобразования пород на протяжении этих эпох сохранились до наших дней. Наиболее суровые геокриологические условия всегда формировались в северной части горной системы в пределах высокогорных (1500—3000 м) сооружений.

Сартанская аградационная эпоха (37—11 тыс. лет назад) отличалась суровым, резко континентальным, аридным климатом и уникальной регрессией (110—130 м) Карского палеобассейна. В экстремальную фазу (18—16 тыс. лет назад), названную А.А. Величко «главным климатическим минимумом плейстоцена», на огромной циркумполярной территории температура воздуха была ниже современной на 8—14°C, а осадков выпадало на 40 % меньше [3, 11]. Устойчивые во времени суровые геотемпературные условия при малой мощности снежного покрова обусловили предельно глубокое промерзание пород на территориях Урало-Пай-Хойской горной системы и примыкающих к ней Русской и Западно-Сибирской равнин. Южная граница КО, имея субширотное простирание, проходила значительно южнее (около 500 км) отрогов Южного Урала (около 47° с. ш., рис. 1) [10, 11]. На огромной территории горной системы сформировалась низкотемпературная (-3...-25°C), мощная (от 200 до 800—1000 м), сплошная по рас-

пространению КТ. В горах Урала и на прилегающих равнинах температура пород закономерно понижалась, а мощность КТ закономерно увеличивалась в направлении с юга на север. В горах Урала температура пород аazonально понижалась, а мощность КТ аazonально увеличивалась от подножья гор к их вершинам. Именно поэтому наиболее низкая температура пород (до -20...-25°C) и наиболее мощная КТ (до 900—1000 м) формировались на вершинах гор Приполярного и Полярного Урала (вне ледниковых покровов), абсолютные отметки которых превышали 2000—2500 м [6].

Узкая (300—400 км) зона высокотемпературной (от 0 до -2...-3°C), прерывистой и островной КТ существовала вдоль южной границы КО. Мощность КТ в этой зоне изменялась от 0 до 150...200 м.

В конце сартанской эпохи КО простиралась от 70 до 47° с. ш. Её протяженность по меридиану 60° вост. долготы равнялась 2500 км.

Голоценовая деградационная эпоха (11,0—4,5 тыс. лет назад). Перелом климата в сторону потепления произошел 10 700 ± 200 лет назад [3]. По образному выражению А.В. Шера [13, с. 21], переход от неоплейстоцена к голоцену по глобальным и региональным климатическим и геокриологическим изменениям, по их скорости и последствиям можно назвать «последней катастрофой в истории Земли».

В эпоху климатического максимума голоцена³ температура воздуха была выше современной на 1—3°C, а количество атмосферных осадков вновь увеличилось до 500—700 мм/год. [2, 3, 5, 7, 8, 11]. Существенное⁴ повышение температуры воздуха, увеличение количества дождевых вод и высоты снежного покрова привели к деградации КТ: температура пород повысилась, мощность КТ уменьшилась, а её прерывистость — увеличилась. В южных районах КО, по расчётам В.Т. Балобаева [1], глубина оттаивания мёрзлых пород с поверхности могла достигать 300 м. Её величина на всех элементах рельефа определялась составом и льдистостью рыхлых отложений или трещиноватостью и закарстованностью коренных пород. Мощность пород, оттаивающих снизу, контролировалась величиной теплового потока. Расчёты А.Л. Чеховского [2] показали, что при величине теплового потока 50—85 Вт/м² за 4—5 тыс. лет мощность оттаявшей снизу пачки супесчано-суглинистых отложений с влажностью 15 % могла достигать 90—120 м. В конце деградационной эпохи суммарная мощность пачки оттаявших супесчано-суглинистых отложений могла достигать 400—500 м. Мёрзлые коренные породы

² Область распространения толщи пород с отрицательной температурой [11, 13].

³ В настоящее время единого мнения о временном отрезке и продолжительности эпохи климатического максимума голоцена нет. Нет единства и в понимании самого термина «климатический максимум». Некоторые ученые включают в него всю эпоху потепления (от 9,5 до 3,3 тыс. лет назад), тогда как другие — только эпоху максимального потепления (от 6500 до 6000 тыс. лет назад) [11]. В Западной Сибири, по мнению Н.А. Хотинского [12], эпоха максимального потепления совпадает с атлантическим периодом (от 8,0 до 4,6 тыс. лет назад).

⁴ Температура воздуха по сравнению с эпохой климатического минимума сартанской эпохи повысилась на 10—15°C.

могли полностью оттаять до глубины 500 м и более. В конце деградационной эпохи на территории горной системы обособились три зоны: южная, центральная и северная.

В южной зоне (от 47 до 60° с. ш.) на огромной территории Южного и Среднего Урала и на прилегающих равнинах отрицательная температура пород вне зависимости от их состава повысилась и стала положительной (до +1...+3°C и более). В этой зоне КТ неоплейстоценового возраста деградировала полностью. Только в пределах хребтов и на отдельных вершинах, отметки которых превышали 1000—1500 м, от полного оттаивания могли сохраниться изолированные острова или небольшие массивы мёрзлых или морозных пород реликтовой КТ.

В центральной зоне (от 60 до 68° с. ш.) (Северный и Приполярный и южная часть Полярного Урала) повышение температуры пород привело к оттаиванию пород и сверху, и снизу. Понижение кровли реликтовой КТ в результате оттаивания мёрзлых пород с поверхности не было повсеместным, как в южной зоне, а выборочным. На отдельных участках реликтовая КТ деградировала полностью, тогда как на других — реликтовая КТ сохранилась, но её кровля залегала на глубине нескольких десятков и даже сотен метров⁵ [8]. Наиболее активно мёрзлые породы оттаивали в предгорьях западного склона Северного Урала под многочисленными озёрами и на плоских, платообразных, хорошо дренированных междуречьях, сложенных закарстованными породами. В южных предгорьях Северного Урала мощность яруса пород, оттаявших сверху, могла достигать 200—300 м. Она уменьшалась в северном направлении (вплоть до 68° с. ш.) и с увеличением высоты местности. В высокогорных хребтах Приполярного и Полярного Урала глубина оттаивания пород с поверхности была незначительной или полностью отсутствовала.

В северной зоне (к северу 68° с. ш.) (Полярный Урал и кряж Пай-Хой) температура пород повышалась, но оставалась отрицательной.

В конце голоценовой деградационной эпохи площадь КО существенно уменьшилась. В результате полной деградации реликтовой КТ неоплейстоценового возраста на огромной территории южных районов КО, её южная граница существенно продвинулась к северу. КО простиралась от 70 до 64° с. ш. Её протяжённость по меридиану 60° вост. долготы составляет 700 км. По сравнению с сартанской эпохой она сократилась на 1800 км.

Голоценовая аградационная эпоха (4,5—0,0 тыс. лет назад) отличалась общим похолоданием климата. Расчёты А.Л. Чеховского [2] показали, что

температура воздуха по сравнению с эпохой климатического максимума голоцена понизилась на 3—5°C. Похолодание климата, начавшееся после деградационной эпохи, вновь привело к многолетнему промерзанию (охлаждению) пород. КТ голоценового возраста формировалась на тех участках Северного, Приполярного и Полярного Урала, в пределах которых мерзлые породы КТ неоплейстоценового возраста оттаивали с поверхности в деградационную эпоху голоцена. В южных районах КО в первую очередь промерзали породы, плохо фильтрующие воду (торфяники, глины, доломиты и слабо трещиноватые коренные породы) — формировалась высокотемпературная (от 0 до - 2°C), маломощная (до 100—150 м) КТ островного и прерывистого распространения. На участках, сложенных породами, хорошо фильтрующими воду (песок, закарстованные или сильно трещиноватые коренные породы), сохранялись талики с положительной температурой пород. В северных районах на участках, где мощность голоценовой КТ превысила мощность яруса пород, оттаявших с поверхности, произошло смыкание КТ голоценового и плейстоценового возраста. На этих участках мощность разновозрастной (голоцен-неоплейстоценовой) КТ не соответствуют современным условиям теплообмена — она значительно больше.

На территории кряжа Пай-Хой и в осевых частях хребтов Приполярного и Полярного Урала на высоких абсолютных отметках там, где на протяжении деградационной эпохи оттаивания мёрзлых пород с поверхности не было, произошло лишь понижение температуры пород в пределах отрицательных значений.

В современный период КО простирается от 70 до 59° с. ш. (рис.1). В результате новообразования КТ на территории Северного Урала её протяжённость по меридиану 60° в.д. составляет 1200 км. Следовательно, по сравнению с голоценовой деградационной эпохой она увеличилась на 500 км.

Современные геокриологические условия

Суровость современных геокриологических условий, подчиняясь законам широтной зональности и высотной поясности теплообмена, закономерно увеличивается с юга на север и с ростом абсолютных отметок местности. В результате существенного различия климатических и геолого-тектонических условий западного (европейского) и восточного (азиатского) склонов горной системы⁶ современные геокриологические условия западного склона менее суровые по сравнению с восточным

⁵ В межгорных котловинах восточного склона Полярного Урала кровля реликтовой КТ мощностью 200—300 м залегает на глубине 110 м от поверхности [8].

⁶ На западном склоне: средняя годовая температура пород на 0,5—2,5°C выше, радиационный баланс выше на 2,110 кДж/м; атмосферные осадки на 300—600 мм больше, заозёрность в восемь раз выше, а заболоченность значительно меньше. Западный склон сложен карбонатными закарстованными породами, а восточный — кварцитовидными песчаниками, сланцами и базальтами [7].

склоном (рис. 1). На локальных участках под влиянием аazonальных факторов (состав пород, экспозиция склонов, мощность снежного покрова, дождевые, поверхностные и подземные воды и т. д.) зональная и поясная температура пород на локальных участках могут повышаться на 2–4°C [8]. Неоднородность криогенного преобразования толщ пород выражается различием гидрогеокриологического строения КТ и степени её прерывистости.

В каждой гидрогеологической структуре специфика криогенного преобразования толщ горных пород определялась наличием воды в порах и трещинах пород, её химическим составом и минерализацией [10, 11], а пространственная неоднородность — конкретным соотношением мощности КТ либо с мощностью зоны пресных вод, либо с мощностью обводненной зоны региональной трещиноватости пород, либо с мощностью зоны воздушно-сухих пород. В конкретной гидрогеокриологической обстановке формировались различные по строению типы КТ⁷ [10, 11]. В недрах структур Урало-Пай-Хойской горной системы в различных гидрогеологических и геокриологических условиях сформировались три типа и два подтипа КТ (рис. 2). Гидрогеокриологические условия формирования типов КТ таковы: КТ-1 — мощность КТ меньше мощности зоны пресных вод — толща мерзлых пород сформировалась на равнинах, в предгорьях на низких междуречьях и в межгорных впадинах;

КТ-7 — мощность КТ меньше мощности зоны воздушно-сухих пород — толща морозных пород сформировалась в осевых частях горных хребтов и на отдельных вершинах при значительной глубине эрозионного расчленения рельефа; КТ-8 — мощность КТ больше мощности зоны воздушно-сухих пород, ниже которой трещины и поры пород заполнены пресными водами — толща морозных и мерзлых пород сформировалась в предгорьях и в горных районах при незначительной глубине эрозионного расчленения рельефа. Подтипы КТ-1 (КТ-1,1 и КТ-1,2) формировались только в южных районах КО на участках глубокого оттаивания мерзлых пород с поверхности (рис. 2). До настоящего времени строение КТ во всех частях Урала изучено недостаточно.

Прерывистость КТ — единственный критерий, объективно отражающий сплошное, прерывистое и островное распространение КТ на площади любой величины. Прерывистость КТ определяется соотношением площадей, занятых КТ и сквозными таликами (таблица). Автором установлено [10, 11], что основная роль в формировании прерывистости КТ принадлежит сквозным инфильтрационным и радиогенным таликам, площади которых соизмеримы с площадью островов и массивов КТ. Оптимальные условия формирования и существования инфильтрационных таликов таковы: 1) значительное количество тепла ($Q_{\text{инф.}}$), поступающего к земной поверхности с дождевыми водами; 2) ши-

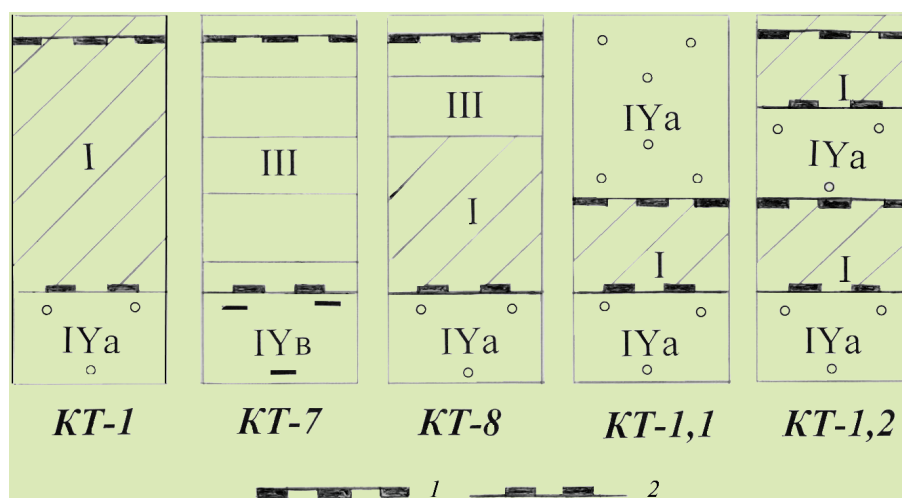


Рис. 2. Гидрогеокриологическое строение криогенной толщи разных типов и подтипов, их названия и индексы, по [11]: I и III — ярусы пород с отрицательной температурой: I — мерзлых пород, трещины и поры заполнены льдом; III — морозных пород, трещины и поры не содержат ни воды, ни льда; IV — пород с положительной температурой, трещины которых содержат пресную воду (а) или не содержат её — воздушно-сухие породы (в). Типы КТ: *тип первый* — КТ-1 — толща мерзлых пород; *тип седьмой* — КТ-7 — толща морозных пород; *тип восьмой* — КТ-8 — толща морозных и мерзлых пород; подтипы КТ-1: *подтип первый* — КТ-1,1 — одновозрастная (неоплейстоценовая) КТ, кровля которой залегает на глубине до 50–300 м от поверхности; *подтип второй* — КТ-1,2 — две разновозрастные КТ-1 разделены ярусом пород с положительной температурой: верхняя — голоценового возраста, а нижняя — неоплейстоценового возраста; 1 — кровля криогенной толщи; 2 — подошва криогенной толщи

⁷ Гидрогеокриологическое строение и условия формирования 9 типов и двух подтипов КТ приведены в [11].

Типизация криогенной толщи по распространению и степень её прерывистости
(по С.М. Фотиеву [11])

Криогенная толща							
Тип			Подтип			Степень прерывистости криогенной толщи	Площадь сквозных таликов, %
Номер	Название	Площадь мёрзлых пород, %	Номер	Название	Площадь мёрзлых пород, %		
1	Сплошная	95–100	1	Сплошная	95–100	Ничтожная	0–5
2	Прерывистая	75–95	2	Слабопрерывистая	75–95	Весьма незначительная	75–95
		50–75	3	Прерывистая	50–75	Незначительная	25–50
3	Островная	25–50	4	Массивно-островная	25–50	Значительная	50–75
		5–25	5	Островная	5–25	Весьма значительная	75–95
		0–5	6	Редкоостровная	0–5	Весьма значительная	95–100

рокие плоские междуречные пространства, 3) значительная пористость, трещиноватость или закарстованность пород, 4) хорошая дренированность массива пород. Оптимальные условия формирования и существования радиогенных таликов таковы: обилие тепла солнечной радиации при незначительных потерях его на турбулентный теплообмен и испарение, а также значительная высота снежного покрова при незначительной плотности снега. Условия формирования инфильтрационных и радиогенных таликов зональны. Их тепловая устойчивость невелика. Именно поэтому, они формировались и существуют только в южной части КО, где в раннем голоцене мерзлые породы неоплейстоценового возраста оттаивали с поверхности, а в позднем голоцене сформировалась высокотемпературная (от 0 до -2, -3°C), маломощная (от 0 до 150 м), прерывистая и островная толща мёрзлых пород голоценового возраста. В зонах островной и прерывистой КТ степень прерывистости КТ (таблица) определяется различием условий формирования инфильтрационных и радиогенных таликов на разных элементах рельефа. В этих зонах острова и массивы мерзлой толщи существуют только на тех элементах рельефа, где в современных климатических и геолого-геоморфологических условиях формирование сквозных инфильтрационных и радиогенных таликов невозможно.

На территории Приполярного и Полярного Урала, а также кряжа Пай-Хой на участках, где КТ голоценового возраста сомкнулась с КТ неоплейстоценового возраста, сформировалась низкотемпературная (от -3 до -11°C), мощная (300–1000 м), сплошная по распространению КТ, непрерывно существующая на протяжении нескольких десятков и даже сотен тысяч лет. В такой суровой геокриологической обстановке могут существовать только гидрогенные талики, приуроченные к зонам питания или разгрузки карстово-пластовых, трещинно-карстовых и трещинно-жильных вод. Размещение сквозных таликов в днищах долин

контролируется наличием омоложенных тектонических разломов и карстовых полостей. Тепловая устойчивость таких таликов обеспечивается высоким коэффициентом фильтрации пород и большим удельным объёмом потока воды, ограниченного по площади [11].

По соотношению площадей мёрзлых пород и сквозных таликов автором [11] предложено выделять три типа и шесть подтипов КТ (таблица). Выделение шести подтипов КТ позволяет предельно чётко охарактеризовать КТ по распространению и степени прерывистости.

Каждому элементу рельефа в любой части Урало-Пай-Хойской горной системы свойственны вполне определённые криогенные процессы, формирующие конкретные криогенные образования. На речных террасах и в межгорных впадинах широко развиты грунтовые и речные наледи, термокарстовые озёра, гидролакколиты, сезонные и многолетние бугры пучения и повторно-клиновидные льды. На склонах долин и гор преобладают солифлюкционные формы или курумы, а на плоских вершинах в гольцовом поясе — каменные россыпи, каменные многоугольники и пятна медальоны. На западном склоне возможно формирование снежных лавин и селей.

Пространственная и временная неоднородность условий развития криогенного процесса в неоплейстоцене и голоцене, естественно, отразилась на формировании современных характеристик КТ. В разных частях Урало-Пай-Хойской горной системы температура пород изменяется от +3,0 до -11,0°C, мощность КТ — от 0 до 1000 м, прерывистость КТ — от весьма значительной до весьма незначительной, так как площадь сквозных таликов изменяется от 95 до 5% и возраст КТ (от 1–5 тысяч лет до многих сотен и тысяч лет) (рис. 1). Широтно-зональные особенности теплообмена определяют суровость геокриологических условий только в пределах западных и восточных предгорий горной системы, абсолютные отметки рельефа которых не превышают 200–600 м. Внутри горной системы су-

ровость геокриологических условий, подчиняясь высотно-поясовым особенностям теплообмена, азонально увеличивается от подножья к осевой части хребта.

Южный Урал (от 51°25' до 55°55' с. ш.) и Средний Урал (от 55°55' до 59°08' с. ш.) расположен в зоне сезонного промерзания пород (рис. 1) [4]. Лишь в осевых частях горных хребтов и на отдельных вершинах возможно спорадическое существование небольших по размерам островов КТ-7, сложенных морозными породами.

О существовании на этой территории низкотемпературной и мощной КТ в сартанскую аградационную эпоху напоминают лишь псевдоморфозы по повторно-клиновидным льдам, формирующие полигонально-валиковый рельеф, термокарстовые озёра и зоны повышенной криогенной трещиноватости пород в недрах гидрогеологических структур.

Северный Урал (от 59°08' до 64° с. ш.) приурочен к югу современной КО [4], южная граница которой на равнинах Европейского Севера проходит по 66° с. ш. [4, 7–10], а в Западной Сибири — по 64° с. ш. [2, 4, 11]. В результате увеличения суровости климата с высотой, современная южная граница КО пересекает Северный Урал по 59° с. ш., т. е. на 500–700 км южнее, чем на прилегающих равнинах [2, 4, 7].

В предгорьях западного и восточного склонов в интервале высот от 200 до 400 м при температуре пород +1...+3° С многолетнемёрзлых пород нет, а в зимний период формируются и существуют сезонно-мёрзлые породы. Мощность сезонномёрзлого слоя изменяется от 0,5 до 1,5 м. В интервале высот от 400 до 600 м доминирует высокотемпературная (от 0 до – 1°С), маломощная (до 10–50 м), редко островная и островная КТ-1, которая слагает небольшие изолированные острова, суммарная площадь которых не превышает 25%⁸. В интервале высот от 600 до 1000 м температура пород изменяется от – 1,0 до – 2,5°С, мощность КТ увеличивается до 50–100 м, а площадь редкoprерывистой КТ-7 или КТ-8 (рис. 2), слагающей крупные острова и массивы, увеличивается до 50–75 % [4, 8].

Приполярный Урал (от 64 до 65°40' с. ш.) расположен в центральной части современной КО [4] (рис. 1). Современные геокриологические условия отчетливо отражают существенную неоднородность развития криогенного процесса на протяжении трёх последних геокриологических эпох, об-

условленную не только активным влиянием высотно-поясных особенностей теплообмена, но и различием условий теплообмена на европейском и азиатском склонах горной системы.

Вдоль западных предгорий в интервале высот от 200 до 600 м преобладает высокотемпературная (– 0,5...– 1,0°С), маломощная (до 50 м), островная КТ-1, занимающая до 50 % площади. В этом же интервале высот, но на восточном склоне, геокриологические условия более суровые. Температура пород изменяется от – 1,0 до – 2,0°С, мощность КТ увеличивается до 50–100 м, а площадь слабопрерывистой по распространению КТ — до 50–75%. В интервале высот от 600 до 800 м и на западном, и на восточном склонах горной системы доминирует прерывистая по распространению КТ, температура которой от – 1,0 до – 2,5°С, а мощность — 100–150 м. В осевой части хребтов в интервале высот от 800 до 1900 м⁹ господствует низкотемпературная (от – 3,0 до – 5,0...– 7,0°С), мощная (от 300 до 500–700 м), сплошная по распространению КТ-7. Сквозные талики — редкость. Суровость геокриологических условий растёт с высотой¹⁰.

Полярный Урал (от 65°40' до 68°23' с. ш.) расположен в северной части современной КО [4] (рис. 1). Современные крайне суровые геокриологические условия наглядно иллюстрируют результаты взаимодействия широтно-зональных и высотно-поясных особенностей теплообмена на территории Арктики.

Широтная геокриологическая зональность отчетливо проявляется при сравнении основных характеристик КТ вдоль западных и восточных предгорий в интервале высот от 200 до 600 м. В направлении с юга на север температура пород понижается от – 1,0 до – 3...– 5°С, мощность КТ-1 увеличивается от 25 до 300–500 м, а распространение КТ-1 изменяется от островного, когда площадь изолированных островов мёрзлых пород не превышает 25 %, до сплошного, когда мерзлые породы занимают 100 % площади. Высотная геокриологическая поясность отчетливо проявляется в осевой части хребтов в интервале высот от 800 до 1500 м и выше¹¹). Суровость геокриологических условий заметно увеличивается с высотой¹². Температура пород понижается до – 9°С, а мощность толщи (КТ-7) увеличивается до 500–700 м. В хребтах, высота которых близка к 2000 м мощность КТ-7 может достигать 900–1000 м [8]. Она имеет сплошное рас-

⁸ В южной части восточного склона, в широких (до 4 км) и глубоких (абсолютные отметки днища 150–200 м) межгорных впадинах обнаружены оба подтипа КТ-1 [8] (рис. 2).

⁹ Для осевых частей хребтов характерен альпийский рельеф, отличающийся крутизной склонов, обилием острых гребней, пиков и ледниковых цирков: глубина расчленения рельефа 800–1000 м [6, 8].

¹⁰ По данным Н.Г. Обермана, «мощность мерзлоты в центральной части Приполярного Урала на абсолютных отметках 420, 670, 816 и 1217 м равна соответственно 15, 286, 369 и 490 м» [8, с. 313].

¹¹ Для осевых частей хребтов характерен альпийский рельеф, отличающийся крутизной склонов, обилием острых гребней, пиков и ледниковых цирков: глубина его расчленения 800–1000 м [6, 8].

¹² По данным Н.Г. Обермана, «Мощность мерзлоты в центральной части Полярного Урала на абсолютных отметках 142, 712, и 929 м равна соответственно 90, 479 и 615 м» [8, с. 313].

пространение, так как степень её прерывистости ничтожная.

Пай-Хой (от 68°23' до 69°35' с. ш.). Современные достаточно суровые и однородные по площади геокриологические условия горного кряжа, средняя высота которого порядка 200 м, формировались в основном под влиянием широтно-зональных усло-

вий теплообмена. Температура пород изменяется от - 3 до - 5°С, а мощность КТ-1 — от 300 до 500 м. Мёрзлая толща имеет сплошное распространение, так как сквозные талики редкость. Их площадь менее 5 % [4, 8, 9]. Только в отдельных горах, поднимающихся до 450 м, температура пород понижается до - 7°С, а мощность КТ-1 увеличивается до 700 м.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. 193 с.
2. Баулин В.В., Чеховский А.Л., Суходольский С.Е. Основные этапы развития многолетнемерзлых пород Европейского Северо-Востока и Западной Сибири // История развития многолетнемерзлых пород Евразии. М.: Наука, 1981. С. 41–60.
3. Величко А.В. Природный процесс в плейстоцене. М.: Наука, 1973. 256 с.
4. Геокриологическая карта СССР. М-б 1:2 500 000. Винница: Картпредприятие, 1991.
5. Кинд Н.В. Геохронология позднего антропогена по изотопным данным: М.: Наука, 1974. 216 с.
6. Краткая географическая энциклопедия. М.: Изд-во Советская энциклопедия, 1964. Т. 4. 448 с.
7. Оберман Н.Г. История формирования многолетнемерзлых пород Полярного, Приполярного и Северного Урала // История развития многолетнемерзлых пород Евразии. М.: Наука, 1981. С. 73–78.
8. Оберман Н.Г., Борозинцев В.Е. Урал. Геокриология СССР. Европейская территория СССР. М.: Недра, 1988. С. 301–324.
9. Суходольский С.Е. Парагенезис подземных вод и многолетнемерзлых пород. М.: Наука, 1982. 152 с.
10. Фотиев С.М. Гидрогеотермические особенности криогенной области СССР. М.: Наука, 1978. 236 с.
11. Фотиев С.М. Криогенный метаморфизм пород и подземных вод (условия и результаты). Новосибирск: Академическое изд-во «Гео», 2009. 280 с.
12. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии М.: Наука, 1977. 200 с.
13. Шер А.В. Природная перестройка в Восточно-Сибирской Арктике на рубеже плейстоцена и голоцена и ее роль в вымирании млекопитающих и становлении современных экосистем // Криосфера Земли. 1997. Т. 1. № 1. С. 21–29.

УДК 624.131.1 (571.5)

КОМПЛЕКСНАЯ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОТЕРОЗОЙСКИХ ПЕСЧАНИКОВ (СТРОИТЕЛЬНАЯ ПЛОЩАДКА В РАЙОНЕ УДОКАНА)

Т.Г. РЯЩЕНКО, С.А. ТИРСКИХ, Т.А. КОРНИЛОВА, Е.В. БРЫЖАК

*Институт земной коры СО РАН
664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, e-mail: ryashenk@crust.irk.ru*

Рассмотрены результаты комплексных инженерно-геологических исследований протерозойских песчанников строительной площадки в районе Удокана. При обработке данных о плотности, прочности и водостойкости грунтов, полученных в процессе изысканий, применены программы «Стандартная статистика» и «Кластер-анализ». В образцах определено водопоглощение, измерены скорости распространения продольных сейсмических волн; впервые изучены структурно-текстурные особенности пород в петрографических шлифах. На основе комплексных данных сделаны выводы о факторах прочности исследованных объектов.

Ключевые слова: песчаник; плотность; прочность; водопоглощение; скорость сейсмических волн; структура; текстура.

INTEGRATED ENGINEERING GEOLOGICAL EVALUATION OF PROTEROZOIC SANDSTONES: A CASE STUDY OF THE CONSTRUCTION SITE NEAR THE TOWN OF UDOKAN

T.G. RYASHCHENKO, S.A. TYRSHIH, T.A. KORNILOVA, E.V. BRYZHAK

*Institute of the Earth's Crust, SB RAS
664033, Russia, Irkutsk, Lermontov ul., 128, e-mail: ryashenk@crust.irk.ru*