

**РЕГИОНАЛЬНАЯ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОКРИОЛОГИЯ**

УДК 551.345

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-3(18-24)

**ВЫСОТНАЯ ГЕОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОЯСНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО АЛТАЯ****М.Н. Железняк, М.М. Шац, С.И. Сериков, Р.Г. Сысолятин,  
Ю.Б. Скачков, В.И. Жижин***Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН,  
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; fe@mpi.ysn.ru, mmshatz@mail.ru, grampus@mpi.ysn.ru*

На примере Алтае-Саянской горной страны по результатам многолетних геокриологических исследований прослежена роль рельефа в формировании пространственных неоднородностей мерзлотной обстановки. Показано, что условия тепло- и влагообмена горных пород с внешней средой в пределах Алтае-Саянской горной страны изменяются в соответствии с закономерностью изменения высотной поясности, т. е. последовательного чередования высотных поясов сезонномерзлых пород и многолетнемерзлых горных пород островного, прерывистого и сплошного распространения.

*Алтае-Саянская горная страна, широтная зональность, высотная поясность, распространение многолетнемерзлых толщ, температура горных пород*

**ALTITUDINAL GEOTEMPERATURE ZONATION IN CENTRAL ALTAI****M.N. Zheleznyak, M.M. Shatz, S.I. Serikov, R.G. Sysoliatin,  
Yu.B. Skachkov, V.I. Zhizhin***Melnikov Permafrost Institute, SB RAS,  
36, Merzlotnaya str., Yakutsk, 677010, Russia; fe@mpi.ysn.ru, mmshatz@mail.ru, grampus@mpi.ysn.ru*

By the example of the Altai-Sayan mountain region, the role of topography in spatial heterogeneity of permafrost is traced based on the results of multi-year permafrost studies. It has been demonstrated that conditions of heat and water exchange of rocks with the external environment within the Altai-Sayan mountain region change according to the altitudinal zonation, i.e. the consistent alternation of altitudinal belts of seasonally frozen rocks and permafrost rocks of intermediate, extensive and continuous distribution.

*Altai-Sayan mountain region, latitudinal zonality, altitudinal zonation, permafrost distribution, ground temperature*

**ВВЕДЕНИЕ**

Проблема изучения пространственных закономерностей изменения основных компонентов природной среды является одной из главных в естествознании. Характерные для географической оболочки общие закономерности ее функционирования являются следствием взаимопроникновения и взаимодействия геосфер (литосферы, атмосферы, гидросферы и др.).

К пространственным закономерностям развития геосистем относят широтную зональность, высотную поясность и меридиональную секторность в распределении их отдельных компонентов. В целом географическая зональность Земли обусловлена воздействием двух основных факторов: лучистой энергии Солнца и внутренней энергии Земли. Широтная зональность лучше всего выражена на равнинах, простирающихся на большие расстояния с севера на юг.

Высотная поясность, представляющая последовательную смену природных условий и комплексов в горах, выделяется на основе разных орographic факторов [Калесник, 1970]. Высотные пояса при поднятии в горах снизу вверх сменяются в последовательности, близкой к смене широтных зон при продвижении с юга на север. Еще одной пространственной географической закономерностью является меридиональная секторность, обусловленная континентально-океанической системой циркуляции атмосферы.

Цель статьи – на основе имеющейся литературы, косвенных данных, полученных в ходе геологоразведочных работ и современных режимных наблюдений, выявить пространственные закономерности мерзлотных условий Алтае-Саянской горной страны.

### МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫЕ ПОРОДЫ АЛТАЕ-САЯНСКОЙ ГОРНОЙ СТРАНЫ

Пространственные закономерности природной среды многообразны и разноплановы. При этом с появлением в ландшафтной структуре многолетнемерзлых горных пород (ММП) сложность определения ландшафтно-мерзлотных связей многократно возрастает.

Основной закономерностью развития многолетнемерзлых толщ в Алтае-Саянской горной стране, вытянутой с запада на восток на 1500 км и с севера на юг на 500 км, является высотная поясность.

Ограниченные сведения о мерзлых породах Алтая и Саян до недавнего времени не позволяли составить четкое представление о пространственных закономерностях развития ММП. Предлагавшиеся ранее двух- и трехэтажные схемы охлаждения литосферы в горах Южной Сибири [Григорьев, 1937; Баранов, 1965; Луговой, 1970] основаны на инверсионном характере (до определенных высотных отметок) изменения температуры пород и, соответственно, распространения ММП. В частности, один из крупных специалистов региональной геокриологии И.Я. Баранов считал, что для области сурового континентального климата, где формируются устойчивые зимние инверсии (повышение температуры воздуха с высотой), свойственна двухэтажная схема охлаждения литосферы. При этом в нижнем этаже развитие мерзлых пород определяется инверсионным изменением их температуры с высотой, а в верхнем в том же направлении происходит ее неуклонное понижение. Термодинамические параметры существования ММП определяются прежде всего особенностями теплообмена горных пород в зависимости от высоты и широты местности [Луговой, 1970].

Своеобразие мерзлотных условий отличаются межгорные впадины региона. Характер распространения мерзлых толщ в межгорных впадинах (Тоджинской, Чуйской) островной и прерывистой и типичен для нижнего геокриологического пояса [Шац, 1978].

В высокогорном поясе горной страны условия теплообмена благоприятны для существования сплошных низкотемпературных и мощных мерзлых толщ. Высотный уровень нижней границы сплошного распространения мерзлых толщ неодинаков в Алтае-Саянской горной стране. Существенно различаются и тенденции изменения температуры горных пород с высотой. Полученные в 1970-е гг. сотрудниками Института мерзлотоведения СО АН СССР данные показали, что предложенные ранее для региона варианты структуры высотной поясности нуждаются в уточнении [Шац, 1978]. Анализ пространственных неоднородностей климатических элементов свидетель-

ствует, что характер изменения температуры воздуха с высотой в пределах многочисленных межгорных депрессий определяется не только их высотным положением, но и размерами, степенью замкнутости. При этом общая тенденция изменения температуры горных пород в пределах Алтая и Саян сводится к ее неравномерному, но неуклонному понижению с высотой.

Структура высотной поясности, т. е. набор высотных поясов и последовательность их смены, зависит от положения горной страны в широтной ландшафтной зоне и от соотношения с путями влагонесущих воздушных масс, а количество поясов обусловлено высотой гор и экспозицией склонов.

Мощность ММП варьирует в соответствии с изменением характера их распространения. Так, в Центральном Алтае (в районе месторождения Чаган-Узунское) на высоте 1780 м она составляет около 25 м (пояс островного распространения ММП) и увеличивается до 65 м на высоте 1850 м до 160 м на высоте 1930 м (пояс прерывистого распространения ММП), достигая, по данным бурения геологов Алтайской комплексной экспедиции Красноярского территориального геологического управления, 400 м на высоте 2920 м (пояс сплошного распространения ММП).

Некоторые особенности геотемпературного поля Алтае-Саянской горной страны освещены в работах сотрудников Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука (ИНГГ) СО РАН, Института земной коры СО РАН, Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова (ИМЗ) СО РАН [Дучков и др., 1994].

Таким образом, в пределах различных районов Алтае-Саянской горной страны с высотой отмечаются неуклонное увеличение площадей развития многолетнемерзлых толщ и нарастание их мощности, происходящие в соответствии с характерным для региона понижением температуры горных пород в этом направлении.

В некоторых районах с относительно мягкими природными условиями высотная неоднородность охлаждения пород отражается лишь в изменении глубины их сезонного промерзания.

Пространственное изменение мерзлотных условий Алтае-Саянской горной страны имеет сложный характер. Наряду с высотной поясностью отмечается закономерность меридиональной секторности, т. е. возрастает суровость мерзлотных условий с запада на восток. Многообразие мерзлотных условий характерно для всего региона и прослежено на изменении высотного положения границ геокриологических поясов [Шац, 1978]. Так, на 50° с.ш. в западной части региона нижняя граница на склонах северной экспозиции понижается до 1200–1400 м, а в восточной части проходит на высоте 500–800 м [Шац, 1978].

### НОВЫЙ ЭТАП ИЗУЧЕНИЯ КРИОЛИТОЗОНЫ

В последние несколько лет, учитывая весьма слабую изученность горных территорий Южной Сибири в инженерно-геокриологическом отношении, сотрудниками ИМЗ СО РАН было решено в систему мерзлотно-геотермического мониторинга Сибири включить районы Центрального Алтая. С 2014 г. совместно с сотрудниками Института водных и экологических проблем СО РАН, Алтайского госуниверситета, Горно-Алтайского госуниверситета, ИНГТ СО РАН и ОАО «Алтай-Гео» проводились исследования в Центральном и Южном Алтае. Целью работ было получение новой информации о сезонно- и многолетнемерзлых породах, их высотной поясности и оценка реакции природной среды региона на климатические изменения.

Удачным обстоятельством оказалось частичное совпадение районов изучения с трассой проектируемого газопровода «Алтай», большую часть которой предполагается проложить по высокогорному плато Укок – сакральному для местного на-

селения. Сочетание природных условий по трассе газотранспортной системы обуславливает формирование обширных горных остепненных и опустыненных пространств, слабую инфильтрацию атмосферных осадков и в результате сильное заболачивание. Подробнее ландшафтная структура этой территории освещена в работах [Железняк и др., 2015; Шац, 2016].

На площадках мониторинга измерения температуры пород производились с помощью автоматизированных систем логгеров НОВО фирмы OpSet с 4-часовым интервалом записи температуры. Это позволяет получить данные об особенностях высотной поясности температуры горных пород, сезонной ее вариации, экстремальные значения и оценить динамику температуры пород при изменении климата. Совместно с алтайскими коллегами начаты систематизация и создание базы данных и геокриологической информационной системы «Криолитозона Алтая». В настоящее время современными логгерными устройствами оборудованы 24 площадки (рис. 1). Площадки орга-

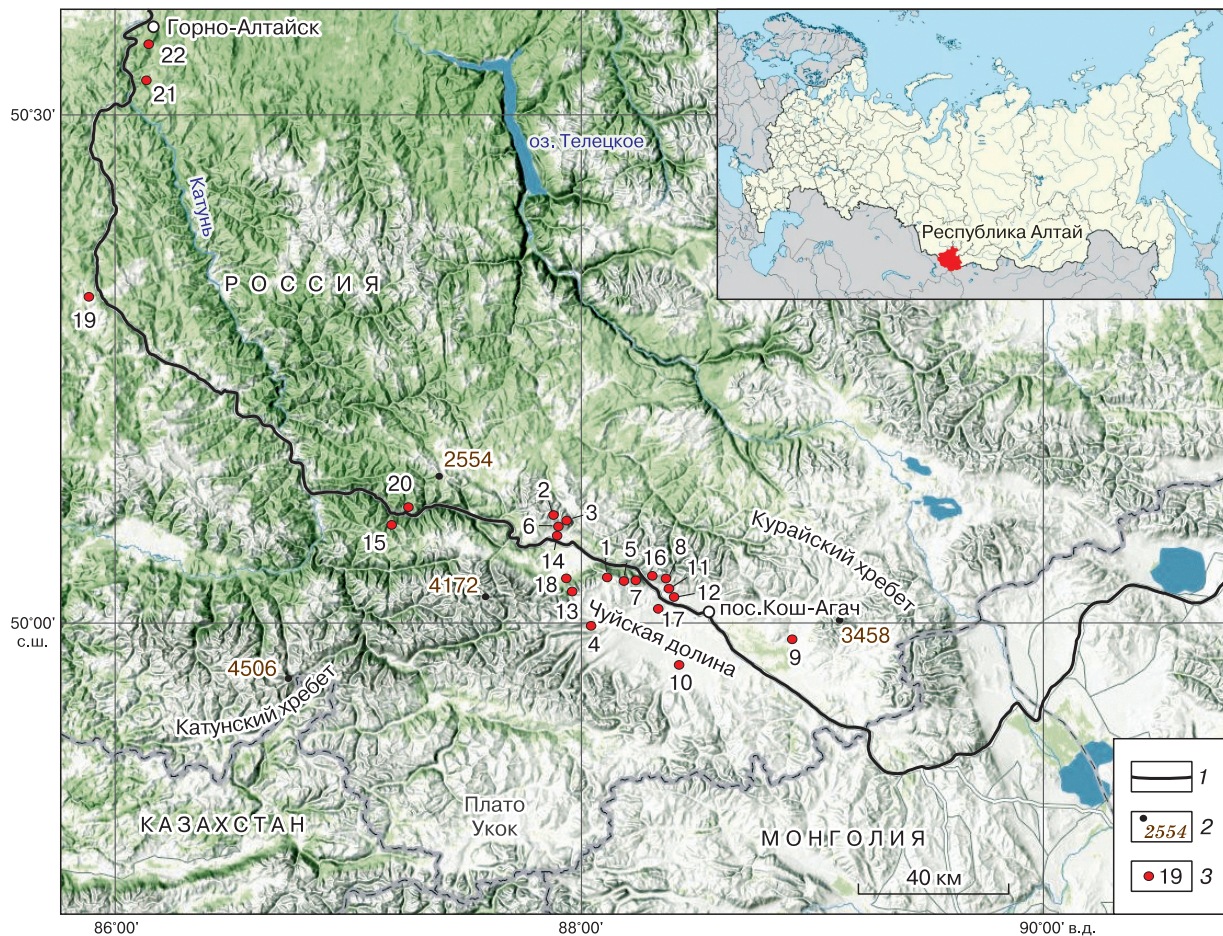


Рис. 1. Схема расположения мониторинговых площадок в Алтае-Саянской горной стране.

1 – автодорога Р256; 2 – абсолютная отметка вершин, м; 3 – мониторинговая площадка и ее номер (см. таблицу).

ВЫСОТНАЯ ГЕОТЕМПЕРАТУРНАЯ ПОЯСНОСТЬ ЦЕНТРАЛЬНОГО АЛТАЯ

Характеристика мониторинговых площадок и среднегодовая температура горных пород на глубине 1 м

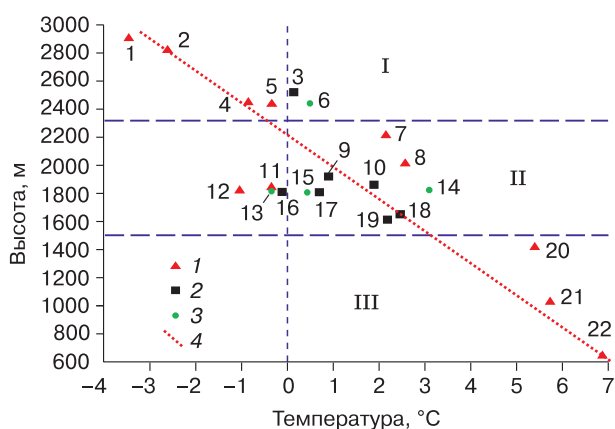
Номер площадки	Участок	Абс. отметка, м	Положение в рельефе	Растительность	Состав отложений	Среднегодовая температура пород*, °С
1	2	3	4	5	6	7
<i>Пояс I – отрицательных температур</i>						
1	Сукор	2879	Водораздел (гольцовая зона)	Редкие пятна разнотравья	Суглинисто-супесчаные отложения с щебнисто-дресвяным материалом	$\frac{-3.7 / -3.2 / -3.3}{-3.4}$
2	Курай	2809	Выпуклый водораздел (подгольцовая зона)	Кедровый стланник и кустарники	Суглинисто-супесчаные отложения с включениями щебня и гравия, с выходами их на поверхность	$\frac{- / -2.6 / -2.6}{-2.6}$
3	Курай 2	2491	Межгорный распадок	Луговая растительность	Суглинки и глины с включениями щебня; ярко выражено морозобойное растрескивание	$\frac{- / - / -0.1}{0.1}$
4	Акайры	2420	Плоский водораздел	Разнотравье	Суглинки и глины с включениями щебня, гравия, с выходом их на поверхность	$\frac{- / -0.9 / -0.8}{-0.9}$
5	Сукор 2	2415	Водораздел (гольцовая зона)	–	Супесчано-суглинистые отложения с включениями гравия и щебня	$\frac{-0.5 / -0.3 / -0.5}{-0.4}$
6	Курай 3	2410	Склон (подгольцовая зона)	Густое альпийское разнотравье	Супесчаные отложения с содержанием щебня и гравия	$\frac{- / 0.3 / 0.5}{0.4}$
<i>Пояс II – высокой изменчивости температур</i>						
7	Сукор 3	2188	Плоский водораздел (подгольцовая зона)	Редкое разнотравье	Супесчано-суглинистые отложения, ниже 0.5 м – с гравием и щебнем до 50 %	$\frac{1.3 / 2.8 / 2.2}{2.1}$
8	Красная вышка	2013	Выпуклый водораздел (подгольцовая зона)	Редкое разнотравье	Валуны, галька с песчано-супесчаным заполнителем	$\frac{2.2 / 3.1 / 2.6}{2.6}$
9	Кокоря	1906	Межгорная котловина (подгольцовая зона)	Степная растительность	Песчано-супесчаные отложения с включениями щебня и мелкой гальки до 10 %	$\frac{0.6 / 1.2 / -}{0.9}$
10	Кабай-Таш	1865	Межгорная котловина (подгольцовая зона)	Редкие пятна разнотравья	Пески и супеси с выходом на поверхность отдельных валунов и гальки	$\frac{- / - / 1.9}{1.9}$
11	Чаган-Узун	1852	Плоский водораздел (подгольцовая зона)	–	Песчано-супесчаные отложения с включениями редкой гальки	$\frac{- / - / -0.3}{-0.3}$
12	Туярык	1845	Плоский водораздел (подгольцовая зона)	Редкие пятна разнотравья	Песчано-супесчаные отложения с включениями гальки, гравия и щебня	$\frac{-1.1 / -1.0 / -}{-1.1}$
13	Чёлтык	1838	Нижняя часть склона северо-западной экспозиции; горно-таежная зона	Лиственница высотой до 10–15 м, кустарник, разнотравье, мохово-лишайниковый покров	Суглинисто-глинистые отложения с включениями щебнисто-гравийного материала и галькой до 30 %	$\frac{- / - / -0.3}{-0.3}$
14	Курай 4	1838	Склон южной экспозиции	Луговая растительность	Суглинисто-супесчаные отложения с включениями щебня и гравия	$\frac{2.2 / - / 4.0}{3.1}$
15	Ачик	1829	Склон северо-восточной экспозиции; горно-таежная зона	Лиственница высотой до 15–20 м	Плитчатые глинистые сланцы с суглинистым заполнителем	$\frac{-0.1 / 0.6 / 0.8}{0.4}$
16	Чаган-Узун 2	1823	Денудационная терраса межгорной котловины	Редкий древостой	Супесь, тяжелый суглинок с включениями гравия до 10 %	$\frac{- / -0.1 / -}{-0.1}$
17	Чуряк-Кюэль	1814	Межгорная котловина	Отдельные пятна лугового разнотравья	Сухая, сыпучая супесь с включениями гальки и валунов	$\frac{- / 0.9 / 0.5}{0.7}$

1	2	3	4	5	6	7
18	Эргечи	1687	Межгорная котловина	Луговая растительность	Валунно-галечные отложения с супесчано-суглинистым заполнителем	$-\ / 2.0 / 2.9$ 2.5
19	Семинский	1617	Межгорная седловина	Лиственница высотой до 10–15 м, густое разнотравье	Сильногумусированная супесь с включениями щебня	$1.7 / 2.5 / 2.3$ 2.2
<i>Пояс III – положительных температур</i>						
20	Тутугай	1406	Водораздел	Лиственница, кедр, ель высотой до 15–20 м, густое разнотравье	Супеси с включениями щебня и гравия	$4.2 / 5.6 / 6.0$ 5.3
21	Манжерок	1005	Водораздел	Лиственница, кедр, ель высотой до 15–20 м, густое разнотравье	Переслаивание влажных супесей и сильногумусированных суглинков с включениями щебня и гравия	$5.3 / 5.7 / 6.1$ 5.7
22	Тугая	631	Водораздел	Лиственница, кедр, ель высотой до 10–12 м, густое разнотравье	Супеси и суглинки с включениями щебня и гравия	$6.4 / 7.0 / 7.3$ 6.9

\* В числителе – данные за 2014–15/2015–16/2016–17 гг., в знаменателе – средняя многолетняя температура.

низованы на участках, находящихся в различных ландшафтных условиях, в том числе на склонах разных экспозиций в диапазоне высот 600–3000 м. Глубина заложения датчиков составляла 1 м; ее выбор определялся техническими возможностями подготовки горных выработок и значительным сглаживанием суточных колебаний на этой глубине. Температура на глубине 1 м напрямую зависит от климатических особенностей региона и условий теплообмена на поверхности горных пород.

По распределению температуры в исследуемом диапазоне высот отчетливо выявляются три

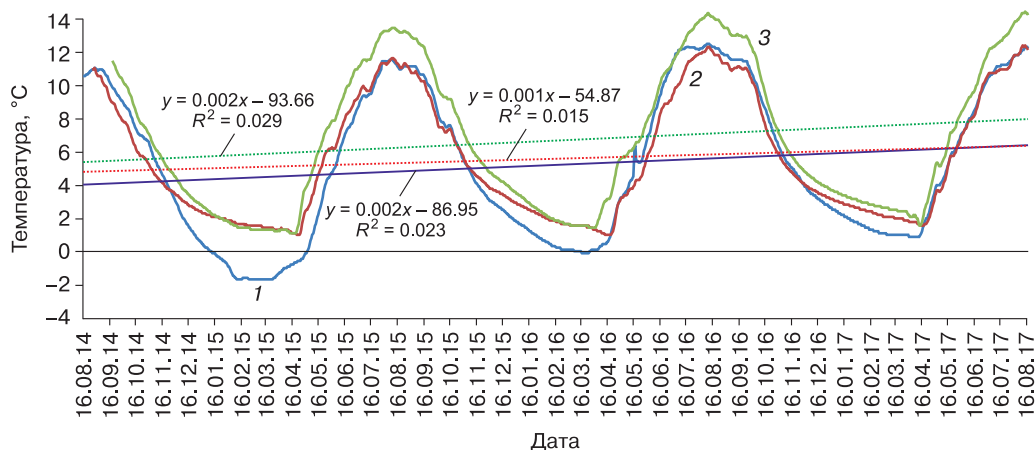


**Рис. 2. Изменение температур пород (глубина 1 м) с высотой для различных элементов рельефа в центральной части Алтае-Саянской горной страны.**

Средняя многолетняя температура пород: 1 – на водораздельных участках (вершины, гребни); 2 – в межгорных распадках, котловинах; 3 – на склонах; 4 – линия аппроксимации для водоразделов. I, II, III – высотные пояса (см. таблицу).

интервала, занимающие определенное место в высотной поясности (см. таблицу; рис. 1). На основе анализа изменения температуры горных пород и в соответствии с ландшафтной картой Республики Алтай [Черных, Самойлова, 2011] территории, расположенные выше отметок 2200 м, относятся к высокогорным областям с криогенно-эрозионно-денудационными поверхностями, крутыми склонами и тектоногенными уступами. Для этих территорий характерны длительные периоды формирования отрицательной температуры пород – от 200 дней и более, а также минимальные температуры до  $-17$  и  $-20$  °C. Амплитуда колебаний средней годовой температуры пород на глубине 1 м составляет  $4.2$  °C (от  $0.5$  до  $-3.7$  °C), это пояс отрицательных среднегодовых температур (I). Для этого пояса характерны ММП, имеющие в основном сплошное распространение.

К поясу высокой изменчивости температур пород (II) относятся ландшафты межгорно-котловинных и среднегорных типов с активной эрозионно-денудационной и аккумулятивной деятельностью. Этот пояс находится в интервале высот от 1400–1500 до 2200–2400 м и характеризуется значительным разнообразием лесных, лесостепных и степных типов растительности, определяющих интенсивность изменения температуры пород на глубине 1 м. Амплитуда колебаний среднегодовой температуры в этом поясе достигает  $5.1$  °C (от  $4.0$  до  $-1.1$  °C), причем обычно наибольшая изменчивость отмечается в положительном диапазоне, и лишь в узком высотном интервале 1700–1900 м преобладают участки с отрицательной температурой пород от 0 до  $-1.1$  °C. Зависимость температуры горных пород от высоты в этом поясе (рис. 2) имеет более сложный характер по сравнению с



**Рис. 3.** Ход изменения температур пород в горах (на глубине 1 м) и линейные тренды.

1 – Тутугай (1406 м); 2 – Манжерок (1005 м); 3 – Тугая (631 м).

двумя другими в связи с местными климатическими, геоботаническими и грунтовыми особенностями.

К ландшафтному поясу II в основном относятся нижние части подножий склонов, сложенных, как правило, коллювиально-делювиальными отложениями, и языки пассивных или слабоактивных каменных глетчеров с незначительным содержанием льда. Для данного пояса характерно прерывистое и островное распространение многолетнемерзлых пород.

Ниже абсолютных отметок 1500 м температура горных пород в деятельном слое имеет достаточно высокие положительные значения от 2 °С и более, достигая максимума 7.0 °С. Соответственно, при такой высокой среднегодовой температуре в деятельном слое наличие ММП невозможно, более того, на мониторинговых геотермических площадках Манжерок (1005 м) и г. Тугая (631 м), как показали геотермические замеры в течение года, не формируется даже сезонномерзлый слой (рис. 3). Объясняется это значительной мощностью снежного покрова (1.5 м и более). Таким образом, диапазон высот ниже 1500 м можно отнести к поясу формирования положительной температуры горных пород (III) при полном отсутствии ММП.

Анализ среднегодовой температуры грунтов в деятельном слое по всем орографическим мониторинговым элементам Горного Алтая свидетельствует о проявлении закономерности высотной поясности (см. рис. 2), при этом следует отметить, что в интервале высот от 1400–1500 до 2200–2400 м связь температуры с высотой более сложная.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрены закономерности изменения температуры пород с высотой в пределах одного из

наиболее разнообразных в природном отношении регионов Сибири – в Алтае-Саянской горной стране. Дана оценка изменения температуры пород (на глубине 1 м) и особенностей распространения мерзлых пород. На наиболее низких отметках находится пояс сезонного промерзания горных пород, который выше сменяется поясами многолетнемерзлых пород островного, прерывистого и сплошного распространения. С ростом высоты местности увеличивается и мощность многолетнемерзлой толщи, изменяясь в отдельных районах Горного Алтая от 25 м (на абсолютных высотах 1780 м) до 400 м (на 2920 м).

На основе режимных наблюдений за формированием температуры пород авторами выделены три интервала, различающиеся особенностями распространения и температурного режима горных пород и занимающие определенное место в высотной поясности региона.

Пояс I – высокогорные области (выше отметок 2200 м) сплошного распространения ММП, для которых характерны среднегодовые температуры пород (на глубине 1 м) ниже –0.4 °С и малый диапазон их изменения (4.2 °С).

Пояс II – среднегорные области (от 2200 до 1500 м) с ландшафтами межгорно-котловинных и среднегорных типов, с прерывистым, чаще островным, распространением многолетнемерзлых пород. Среднегодовая температура пород на глубине 1 м варьирует от +4.0 до –1.1 °С, а диапазон изменения среднегодовой температуры составляет 5.1 °С. Эти области являются переходными от многолетнего к сезонному промерзанию горных пород.

Пояс III – области низких гор (ниже абсолютных высот 1500 м) с отсутствием многолетнемерзлых пород, а в некоторых случаях (ниже глубины 0.5 м) и сезонномерзлого слоя. Среднегодовая

температура пород (на глубине 1 м) здесь почти повсеместно более +2.0 °С.

В Алтае-Саянской горной стране пространственное изменение мерзлотных условий достаточно сложное: наряду с высотной поясностью здесь прослеживается закономерность меридиональной секторности, что вносит коррективы в формирование природных, в том числе геокриологических, условий.

### Литература

- Баранов И.Я.** Принципы геокриологического (мерзлотного) районирования области многолетнемерзлых пород. М., Наука, 1965, 150 с.
- Григорьев А.А.** Опыт аналитической характеристики состава и строения физико-географической оболочки земного шара. Л.; М., Гл. ред. горно-топл. и геол.-развед. лит.-ры, 1937, 68 с.
- Дучков А.Д.** Температура, криолитозона и радиогенная теплогенерация в земной коре Северной Азии / А.Д. Дучков, В.Т. Балобаев, Б.В. Володько. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 1994, 141 с.
- Железняк М.Н., Сериков С.И., Шац М.М.** Мерзлотно-геотермический мониторинг южной части магистрального газопровода "Алтай" // Трубопроводный транспорт: теория и практика, 2015, № 3–4, с. 43–49.
- Калесник С.В.** Общие географические закономерности Земли. М., Мысль, 1970, 485 с.
- Луговой П.Н.** Особенности геокриологических условий горных стран. М., Наука, 1970, 135 с.
- Черных Д.В., Самойлова Г.С.** Ландшафты Алтая (Республика Алтай и Алтайский край). М-б 1:500 000. Новосибирск, Новосиб. картогр. ф-ка, 2011, 4 л.
- Шац М.М.** Геокриологические условия Алтае-Саянской горной страны. Новосибирск, Наука, 1978, 103 с.
- Шац М.М.** Эколого-геокриологическая специфика проектируемого магистрального газопровода "Алтай" // Теорет. и прикл. экология, 2016, № 2, с. 94–98.

### References

- Baranov I.Y. Printsipy geokriologicheskogo (merzlotnogo) raionirovaniya oblasti mnogoletnemerzlykh porod [Principles of Geocryological Zoning of the Permafrost Region]. Moscow, Nauka, 1965, 150 p. (in Russian).
- Grigoryev A.A. Opyt analiticheskoi kharakteristiki sostava i stroeniya fiziko-geograficheskoi obolochki zemnogo shara [Attempt of Analytical Characterization of the Composition and Structure of the Globe's Physico-geographical Environment]. Leningrad; Moscow, 1937, 68 p. (in Russian).
- Duchkov A.D., Balobaev V.T., Volod'ko B.V. Temperatura, kriolitozona i radiogennaya teplogeneratsiya v zemnoi kore Severnoi Azii [Temperature, Cryolithozone and Radiogenic Heat Generation in the Earth's Crust of North Asia]. Novosibirsk, SB RAS, 1994, 141 p. (in Russian).
- Zheleznyak M.N., Serikov S.I., Shatz M.M. Permafrost-geothermal monitoring of the southern part of the Altay main gas pipeline. Truboprovodny Transport: Teoria i Praktika, 2015, No. 3–4, p. 43–49.
- Kalesnik S.V. Obshchie geograficheskie zakonomernosti Zemli [General Geographical Patterns on the Earth]. Moscow, Musl', 1970, 485 p. (in Russian).
- Lugovoy P.N. Osobennosti geokriologicheskikh uslovii gornykh stran [Specific Features of Geocryological Conditions in Mountain Regions]. Moscow, Nauka, 1970, 135 p. (in Russian).
- Chernykh D.V., Samoilova G.S. Landscapes of the Altai (Altay Republic and Altay region). 1:500,000 scale. Novosibirsk, Novosibirsk map factory, 2011, 4 sheets.
- Shatz M.M. Geokriologicheskie usloviya Altae-Sayanskoi gornoj strany [Geocryological Conditions in the Altay-Sayan Mountain System]. Novosibirsk, Nauka, 1978, 103 p. (in Russian).
- Shatz M.M. Eco-geocryological characteristics of the proposed Altai main gas pipeline. Teoreticheskaya i Prikladnaya Ekologiya, 2016, No. 2, p. 94–98.

*Поступила в редакцию 28 сентября 2018 г.,  
после доработки – 29 сентября 2019 г.,  
принята к публикации 20 октября 2019 г.*