

ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ МЕРЗЛОТЫ ЮГО-ВОСТОКА ЗАПАДНОЙ СИБИРИ, ЕЕ ТИПЫ И ВЛИЯНИЕ НА РЕЛЬЕФООБРАЗОВАНИЕ

Н.С. Евсеева, З.Н. Квасникова, М.А. Каширо

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия

Охарактеризованы типы мерзлоты, развитые на территории юго-востока Западно-Сибирской равнины – сезонная, острова многолетнемерзлых пород и реликтовая. Открытие реликтовой мерзлоты на вышеуказанной территории принадлежит профессору Томского госуниверситета А.А. Земцову (1957 г.), что стало сенсацией в научном мире. Приведены краткие сведения об изучении мерзлоты и открытии реликтовых мерзлых пород в Западной Сибири, оказывающих влияние на компоненты ландшафта и хозяйственную деятельность.

Ключевые слова: *Западная Сибирь, Томская область, мерзлота, криоморфогенез.*

Криогенные (мерзлотные) процессы – совокупности физических, физико-химических, биохимических и других процессов, происходящих в горных породах в результате их охлаждения до отрицательных температур, замерзания и оттаивания, оказывают существенное влияние на формирование ландшафта, развитие почв, растительности, рельефа, стока вод, хозяйственную деятельность человека. Вопросами влияния криогенеза на компоненты ландшафта, в том числе и рельеф, занимались многие исследователи – Н.И. Сумгин, Н.И. Толстихин, П.Ф. Швецов, В.А. Кудрявцев, С.П. Качурин, А.И. Попов, Н.Н. Романовский, Б.И. Тюрин, Б.Н. Достовалов, В.Л. Суходровский, Э.Д. Ершов, Ю.К. Васильев, Ю.Б. Баду, В.Т. Трофимов и др. Появились такие понятия, как «криолитогенез», «криоморфогенез», «рельефообразование в криолитозоне» и др.

По продолжительности нахождения горных пород в мерзлом состоянии различают сезонномерзлые и многолетнемерзлые породы (ММП). Поэтому принято выделять процессы, протекающие в многолетней криолитозоне и в сезонной криолитозоне, в последней породы полностью оттаивают в теплое время года. В России районы развития сезонномерзлых и многолетнемерзлых пород занимают почти 100 % ее территории: около 70 % – это территория криолитозоны, т.е. область развития ММП и 25–30 % – сезонномерзлых пород [Инженерная геодинамика... 2013]. Развита мерзлота и в пределах Томской области, расположенной в юго-восточной части Южной геокриологической зоны (рис. 1).

Основные черты современной геокриологической обстановки зоны определяются следующими факторами: непосредственной близостью южной границы криолитозоны; наличием на северной окраине и в северо-восточном секторе глубоко залегающих ре-

ликтовых ММП; длительным и глубоким сезонным промерзанием пород и др.

История исследований реликтовых многолетнемерзлых пород

Сведения о наличии мерзлоты на территории Западной Сибири в бассейнах рек Аган и Пур и др. содержатся в работах Д.А. Драницына, Б.Н. Городкова [Городков, 1928]. В 1953 г. А.И. Попов публикует результаты мерзлотных исследований в Западной Сибири и карту, на которой проводит границу распространения ММП (рис. 2) [Попов, 1953]. А.А. Земцов отмечал, что границы мерзлотных зон приемлемы лишь для верхних слоев многолетней мерзлоты [Земцов, 1976].

Необходимо отметить, что в 50-е гг. XX в. глубокозалегающие мерзлые породы не были известны. Первые сведения о них были опубликованы А.А. Земцовым в 1957 г., а позднее и в других его работах [Земцов, 1957; 1960; Земцов, Горюхин, Карлсон, 1971; Земцов, 1976; 1997]. В них А.А. Земцов дал характеристику глубин залегания кровли и подошвы (до 400 м), мощности реликтовых ММП, условий залегания. Реакция исследователей на его публикации была различной. А.А. Земцов вспоминал: «Эти сведения оказались настолько необычными и не укладывались в общепринятые представления, что автору много раз приходилось доказывать их достоверность» [Земцов, 1976, с. 184]. Позднее А.А. Земцов опубликовал карту-схему распространения ММП в Западной Сибири (рис. 3). Южная граница реликтовых мерзлых пород проведена примерно по 60°30' с.ш., т.е. на несколько сот километров южнее, чем по предположению А.И. Попова и других исследователей [Земцов, 1976].



Рис. 1. Распространение многолетнемерзлых пород [Сюрпризы... 2015]

Fig. 1. Distribution of permafrost [Syurprizy... 2015]

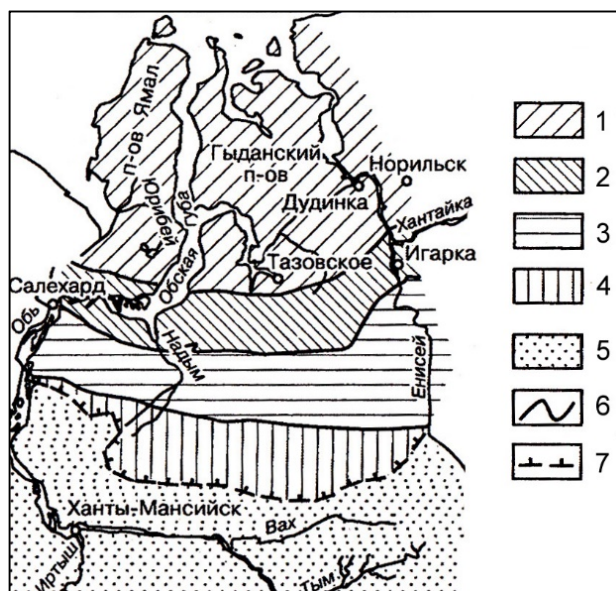


Рис. 2. Граница многолетнемерзлых пород по [Попов, 1953]

1, 2 – практически сплошное с поверхности распространение многолетнемерзлых пород (северная зона): 1 – тундровая подзона, 2 – лесотундровая подзона; 3 – массивно-островное и островное с поверхности распространение многолетнемерзлых пород (южно-таежная подзона); 5 – зона перелетков и редких мелких участков многолетнемерзлых пород; 6 – границы мерзлотных зон и подзон; 7 – южная граница многолетнемерзлых пород

Fig. 2. Permafrost boundary according to [Popov, 1953]

1, 2 – almost continuous from the surface distribution of permafrost (northern zone): 1 – tundra subzone, 2 – forest-tundra subzone; 3 – massively island and island propagation of permafrost rocks from the surface (southern taiga subzone); 5 – zone of migrations and rare small areas of permafrost; 6 – boundaries of permafrost zones and subzones; 7 – the southern boundary of permafrost

Н.А. Граве писал, что установление реликтовой мерзлоты «представляет собой научное открытие, так как до сих пор единственными надежными свидетелями древнего происхождения вечной мерзлоты были находки неразложившихся мамонтов и волосатых носорогов, сохранившихся в послеледниковых, то есть значительно более молодых отложениях» [Граве, 1968, с. 53].

Это открытие имело не только прикладное, но и научное значение, так как явилось основанием для выделения особого периода в истории криологического изучения глубоко залегающих многолетнемерзлых пород [История... 1990]. К сожалению, имя первооткрывателя реликтовых ММП в Западной Сибири во многих работах по геоэкологии не указывается.

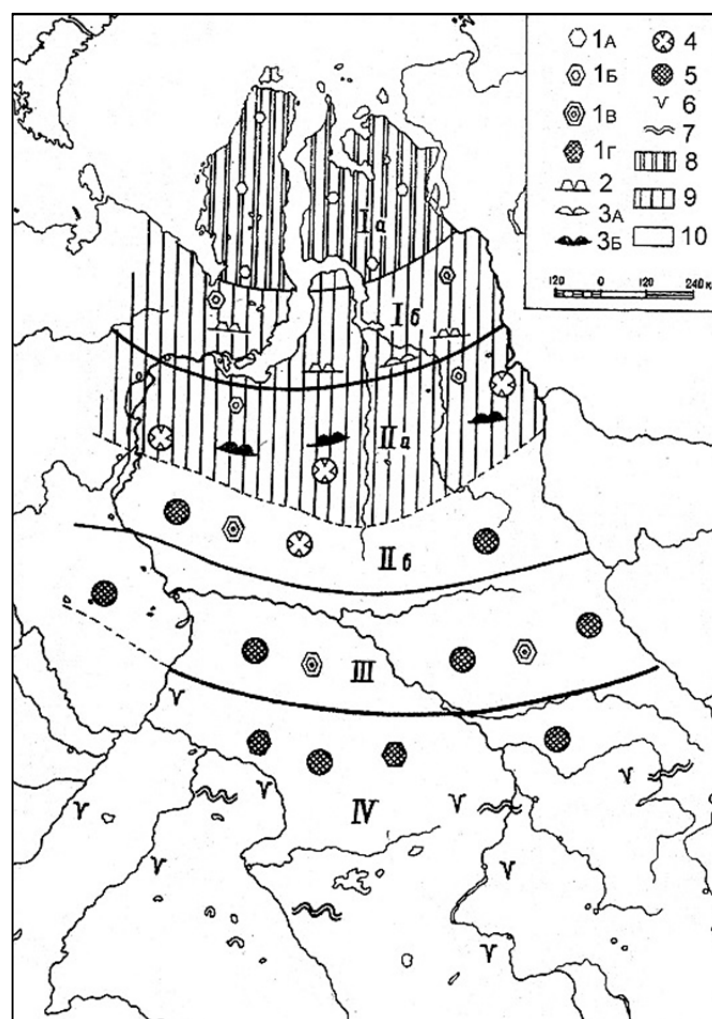


Рис. 3. Карта-схема распространения многолетнемерзлых пород в Западной Сибири [Земцов, 1976]

I. Северная зона: а – подзона полигональных мерзлых толщ; б – подзона эпигенетических мерзлых толщ. II. Центральная зона: а – подзона эпигенетических мерзлых грунтов и торфяников; б – подзона эпигенетических мерзлых торфяников. III. Южная зона. IV. Зона распространения реликтовых просадочных форм рельефа и псевдоморфоз по ледяным клиньям в отложениях плейстоцена. Жильно-полигональный рельеф: 1а – стадии роста, 1б – стадии консервации, 1в – стадии разрушения, 1г – стадии остаточной; 2 – плоскобугристые торфяники; 3а – гидралакколлиты, 3б – крупнобугристые торфяники; 4 – современный термокарст; 5 – реликтовый термокарст; 6 – псевдоморфозы по ледяным клиньям; 7 – криотурбации; 8 – область высокольдистых отложений, где геоморфологические уровни сохранили первоначальную высоту, но при протаивании высота их может понизиться на 5-10 м; 9 – область, где высота уровней изменилась в результате протаивания пород; 10 – область, в которой высота уровней не изменилась

Fig. 3. Map of the distribution of permafrost in Western Siberia [Zemtsov, 1976]

I. Northern zone: a – subzone of polygonal frozen strata; b – subzone of epigenetic frozen strata. II. Central zone: a – a subzone of epigenetic frozen soils and peatlands; b – subzone of epigenetic frozen peatlands. III. South zone. IV. The zone of distribution of relict subsidence forms and pseudomorphs along ice wedges in Pleistocene sediments. Polygon-polygonal relief: 1a – growth stage, 1b – conservation stage, 1c – destruction stage, 1g – residual stage; 2 – flat-hilly peatlands; 3a – hydrolaccoliths, 3b – large-hilly peatlands; 4 – modern thermokarst; 5 – relic thermokarst; 6 – pseudomorphs over ice wedges; 7 – cryoturbation; 8 – area of high ice sediments, where geomorphological levels retained their original height, but when thawing, their height may decrease by 5–10 m; 9 – the area where the height of the levels has changed as a result of the melting of rocks; 10 – the area in which the height of the levels has not changed

В дальнейшем в ходе геологических работ появились новые данные о реликтовой мерзлоте на юго-востоке равнины, так в 60-е гг. XX в. были получены сенсационные данные о наличии реликтовых ММП на севере и северо-востоке Томской области далеко за пределами южной границы их распространения, показываемой на геокриологических картах [Земцов, Горюхин, Карлсон, 1997]. Реликтовая мерзлота была выявлена при бурении скважин в районе г. Стрежевого на II надпойменной террасе р. Обь. Кровля ММП была вскрыта на глубинах 149–155 м, а подошва – на 220–241 м. Мощность мерзлоты изменялась от 65 до 92 м [Земцов, 1971].

Обобщение данных о реликтовой мерзлоте позволило А.А. Земцову установить, что на северо-востоке Томской области она занимает площадь порядка 20 тыс. км² (рис. 4) [Земцов, 1997]. ММП залегают на глубинах 117–283 м от дневной поверхности, а их подошва – на 443 м и более. Вскрытая мощность реликтовой мерзлоты изменяется от 6–11 до 221,4 м, но чаще составляет 9–33 м.

Температура мерзлых пород колеблется от 0 до –2°C. Реликтовые ММП междуречья Кети и Тыма – это переслаивающаяся толща песков, суглинков и глин, содержащих кристаллики льда, которые их цементируют. В глинах и суглинках наблюдаются мелкие линзочки льда толщиной не более 3 мм. Возраст мерзлых пород верхнемеловой (отложения верхнесымской свиты). На левобережье р. Обь реликтовые ММП обнаружены в бассейне р. Ларьёган, у оз. Иудкино на глубине 140 м от дневной поверхности. Кроме того, отдельные линзы реликтовой ММП сохранились и обнаружены на Кеть-Чулымском междуречье. Так, одна из скважин в 70-е гг. XX в. вскрыла небольшой останец ММП мощностью 0,7 м на III террасе р. Кеть у д. Корьевки [Шамахов, Земцов, 1979]. Позднее в верховьях р. Улуюл скважина 19 вскрыла реликтовую мерзлоту в интервалах глубин 173,0–175,0 и 195,5–198,0 м [Евсеева, Головеров, Попкова, 1984].

Кроме реликтовых ММП с отрицательной температурой (от –0,1 до –2,0°C) глубокими скважинами вскрыта так называемая вялая мерзлота на газовых и нефтяных месторождениях в бассейнах Васюгана, Парабели, Пайдугиной, где в скважинах зафиксированы плюсовые температуры, близкие к 0°C, до глубины 400 м. ММП с такой температурой – это также реликтовая мерзлота: лед уже растаял, а низкая температура еще сохранилась [Земцов, 1997].

Южная граница реликтовой ММП на территории Томской области проводится А.А. Земцовым по долине р. Кеть, долине Оби и далее на запад по водоразделу рек Васюган и Ларьёган и Большого Югана – с севера. ММП возникли более 60–100 тыс. л. н. в зырянскую ледниковую эпоху. С.А. Архипов, В.С. Волкова отмечают, что для эпохи позднезырян-

ского (сартанского) оледенения характерен суровый континентальный климат: среднегодовая температура была ниже современной на 8–10°C [Архипов, Волкова, 1994]. Климатическая обстановка отличалась сухостью и неоднократным возвратом холодов. На всей территории Западно-Сибирской равнины сформировалась вечная мерзлота, мощность ее в пределах Томской области в сартанское оледенение (20–18 тыс. л. н.) изменялась от 200–400 м в западной и центральной ее частях до 600 м – в восточной [Палеоклиматы... 2009]. На территории Томской области в это время господствовал перигляциальный тип растительности – злаки, маревые, полыни и др. [Архипов, Волкова, 1994], а из фауны – мамонт, бизон, сайга, лошадь и др. [Шпанский, 2003].

Суровый климат сартанского оледенения способствовал морозобойному растрескиванию почвогрунтов и их пучению. Палеогеографические исследования, проводимые на территории Томской области под руководством С.В. Лещинского, показали наличие морозобойных трещин в отложениях надпойменных террас р. Чулым на глубинах 1,9–4,0 м. Длина таких трещин достигала 1,6 м, а ширина в устье – до 0,7 м [Бурканова, 2018]. На названных глубинах найдены кости мамонта.

С деградацией мерзлоты в позднезырянское время исследователи связывают формирование криогенного рельефа [Земцов, 1976; Трофимов, 1977; Мизеров, Богдашев, 1978]. Так, А.А. Земцов на территории исследования отмечал развитие реликтового термокарста, псевдоморфоз по ледяным клиньям, криотурбации [Земцов, 1976] (см. рис. 3).

В.Т. Трофимов территорию бассейна Тыма и междуречья Тымь–Кеть относит к зоне остаточного полигонального рельефа на плохо дренированных участках (термокарстовые озера и др.) и древнего остаточного полигонального рельефа на хорошо дренированных участках (крупнообломочный и бугристо-западинный рельеф) [Трофимов, 1977].

Полевые исследования показали, что для Кетско-Тымской, Кеть-Чулымской водораздельных равнин характерны своеобразные «кольцевые» формы рельефа [Мизеров, Богдашев, 1978; Евсеева, Земцов, 1990 и др.]. Величина ряда колец достигает 3–5 км в диаметре, но чаще 400–500 м. Глубина понижений не превышает 10 м, они, как правило, заболочены или заняты озерами. Например, кольцевая форма у озера Кольчуминского на междуречье Орловки и Лисицы имеет диаметр более 3 км и занята болотом. Такие кольцевые формы возникли, на наш взгляд, в процессе зарастания озер, котловины которых могли иметь термокарстовый генезис, а также флювиальный [Евсеева, Земцов, 1990].

Наличие спорадических островов ММП обуславливает развитие бугров пучения (рис. 5). Находки островов мерзлоты известны с первой половины

XX в., они обнаружены В.Г. Петровым при изыскании и проектировании железных дорог [Петров, 1937]. В пределах Томской области исследователем выявлены местонахождения мерзлых пород: по линии населенных пунктов Татьяновка – Яр, в нижнем течении р. Шегарка и в верховьях р. Икса, в бассейне р. Чая (по линии деревень Подгорная и Коло-

мино). Острова мерзлоты были представлены мерзлыми породами в болотах на глубине 50–80 см, а также мерзлым бугром высотой 2 м и диаметром 15 м. Под слоем торфа в 1 м в бугре были вскрыты мерзлые глинистые грунты. В 1970-х гг. XX в. описание мерзлотных бугров пучения есть в работах Ю.А. Львова [Львов, 1977].

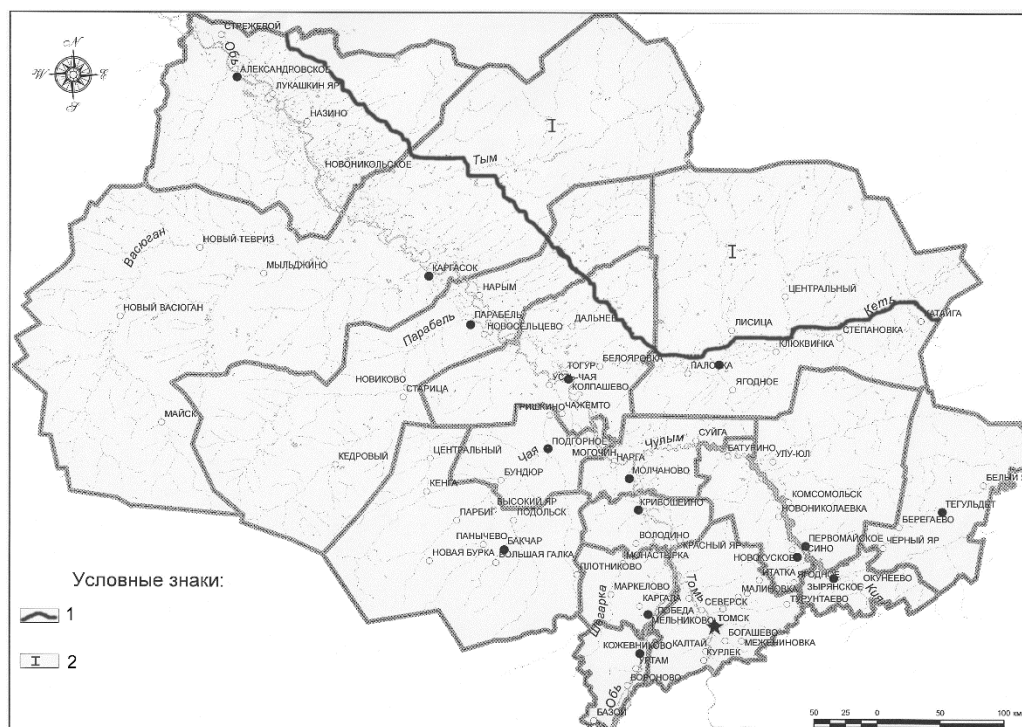


Рис. 4. Карта-схема распространения многолетнемерзлых пород в Томской области по [Земцов, 1997]
1 – граница и 2 – район распространения многолетнемерзлых пород

Fig. 4. The map of the distribution of permafrost in the Tomsk region according to [Zemtsov, 1997]
1 – the boundary and 2 – the area of distribution of the permafrost

В 1982 г. Е.Я. Мульдьяров обследовал мерзлотный торфяник, протягивающийся полосой от 40 до 150 м ширины вдоль минерального берега и обрывающийся в транзитную топь.

Поверхность торфяника образована буграми округлой и вытянутой формы. Наиболее высокие бугры возвышались над краевой полосой на 4–4,5 м, над ерсеями – на 2–4 м, а над транзитной топью – на 6–6,5 м. Глубина залегания мерзлого торфа от 25–40 см до 1,5–1,9 м. На буграх растет разреженный кедровый лес типа «пьяного леса» [Мульдьяров, 1987].

Т.А. Бляхарчук, Л.Д. Сулержицкий мерзлый бугор пучения обследовали на болоте Бугристое (58°15' с.ш., 85°20' в.д.) на Кеть-Чулымской междуречье [Blyakharchuk, Sulerzhitsky, 1999]. Бугор, сложенный мерзлым торфом, образовал выпуклый остров среди немерзлого торфа болота. На бугре произрастает сосновый лес, протаивание грунта привело к наклону дерева в разные стороны. Ю.К. Васильчук

данный бугор пучения относится к миграционным буграм (пальза) [Васильчук, 2013].

Одна из самых южных находок миграционных бугров пучения изучена А.Г. Дюкаревым и Н.Н. Пологовой в бассейне р. Бакчар (54°04' с.ш., 82°26' в.д.), что на 1° южнее описанных ранее [Дюкарев, Пологова, 2007]. Бугор обнаружен в нижней части склона к долине правого притока р. Костики. Бугор – повышение обвальной формы с двумя вершинами высотой до 2 м, вытянутое вдоль склона, отличающееся по наземному покрову и микрорельефу от окружающего леса (рис. 6).

Ю.К. Васильчук, проанализировав материалы, малоизвестные или недостаточно учитываемые публикации, уточнил положение южной границы ММП в Западной Сибири [Васильчук, 2013]. С учетом положения точек, где встречены многолетнемерзлые породы (хотя и не очень мощные), предложил проводить южную границу ММП южнее широтного

отрезка р. Обь. Анализ карты (см. рис. 5) показывает, что на территории юго-востока равнины она

опускается до широты г. Асино. Это намного южнее, чем в ее западной части.

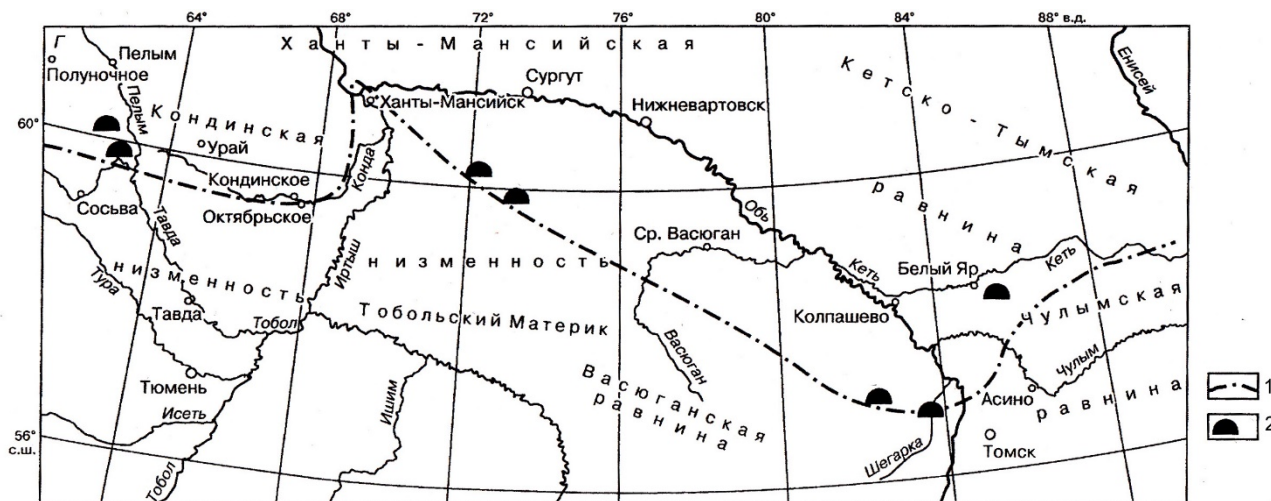


Рис. 5. Положение южной границы многолетнемерзлых пород [Васильчук, 2013]

1 – граница распространения многолетнемерзлых пород; 2 – расположение самых южных находок многолетнемерзлых толщ

Fig. 5. The position of the southern boundary of the permafrost [Vasilchuk, 2013]

1 – the boundary of the distribution of permafrost; 2 – the location of the most southern finds of permafrost

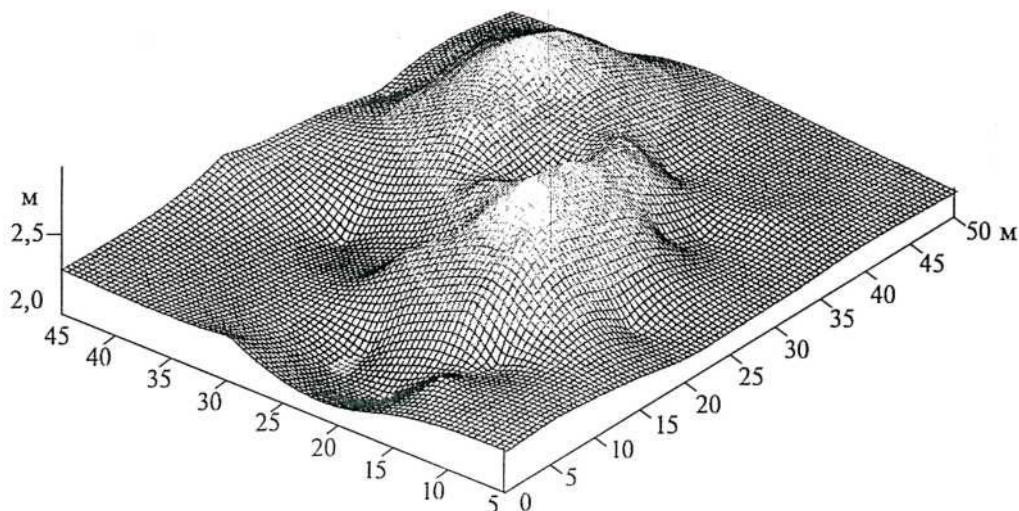


Рис. 6. Рельеф поверхности мерзлотного бугра пучения [Дюкарев, Пологова, 2007]

Fig. 6. Surface relief of a permafrost buoy [Dukarev, Pologova, 2007]

Помимо реликтовой мерзлоты и островов ММП на территории Томской области развита сезонная мерзлота. Ю.Б. Баду с соавторами отмечают, что в верхнем горизонте любого геоморфологического элемента всей территории Западно-Сибирской равнины периодически происходит сезонное промерзание-протаивание грунтов [Баду, Васильчук, Кашперук, 1986]. В этом слое совершаются процессы перемещения минеральных и органических частиц, воды и обломочного материала, четко фиксирующиеся в разрезах отложений. Так или иначе эти процес-

сы обнаруживают себя на земной поверхности в виде микро- и мезоформ рельефа. Вследствие вышесказанного необходимо рассмотреть процессы, происходившие в результате деградации ММП, и процессы, развивающиеся в сезонной мерзлоте.

Природные факторы развития сезонной мерзлоты

Развитие процессов сезонного промерзания и протаивания, согласно Ю.Б. Баду с соавторами,

определяется следующими факторами: среднегодовой температурой пород, амплитудой температур на поверхности почвы, дисперсностью пород и естественной влажностью [Баду, Васильчук, Кашперюк, 1986], а также толщиной снежного покрова, растительностью, рельефом и микрорельефом местности.

Среднегодовая температура грунтов на территории Томской области положительная. В северной части области – в Советско-Устьтымской подзоне Южной криологической зоны Западно-Сибирской равнины, расположенной севернее широтных отрезков рек Васюган и Кеть, она изменяется от 0 до 3°C, составляя на большей части территории, сложенной суглинистыми и торфяными грунтами, 0,5–

2°C [Геокриология... 1989]. Наиболее низкие температуры наблюдаются в елово-кедровых зеленомошных лесах на суглинистых почвогрунтах и в пихтово-елово-кедровых лесах на севере Вах-Кетского междуречья, где температуры не превышают 1,2°C. Для песчаных грунтов характерны более высокие температуры.

В южной половине области – Урай-Новосибирской подзоне Южной зоны среднегодовые температуры грунтов изменяются от 2 до 4,5°C, но чаще колеблются от 2,5 до 4,5°C до глубины 2,5–3,0 м. Среднегодовая температура на поверхности почвы и абсолютный минимум на поверхности почвы варьируют в значительных пределах (табл. 1).

Таблица 1
Вариации среднегодовых температур на поверхности почвы и абсолютные минимумы температуры на поверхности почвы [Научно-прикладной... 1993]

Table 1
Variations of average annual temperatures on the soil surface and absolute minimums of temperature on the soil surface [Nauchno-prikladnoy... 1993]

Станция, годы наблюдений	Среднегодовые температуры на поверхности почвы, °C.			Абсолютный минимум температур на поверхности почвы, °C
	колебания за период наблюдений	максимальные	минимальные	
Напас, 1966–2015	от –0,1 до –5,4	+0,5 (1995)	–5 (1966) –5,4 (1969) –5,1 (1974)	за период 1977–2015 от –39,7 (2005) до –60,5 (2006) от –39,4 (1995, 2005) до –56 (1999)
Александровское, 1977–2015	от +1,1 до –4,9	+1,1 (1995)	–4,9 (1968, 1969)	за период 1977–2015 –48,6 (2006)
Бакчар, 1966–2015	от +2,4 до –3,1	+2,4 (1995)	–3,1 (1984)	за период 1977–2015 –51,0 (1979) –50,2 (1999) –50,5 (2005)
Томск, 1966–2015	от +2,5 до –2,1	+2,5 (1983) +2,2 (2013)	–2,1 (1969, 2010)	

Анализ табл. 1 показывает, что в северной части области за последние 39 лет отмечалось от 1 до 6 случаев лет (2,6–15,4 %) с положительными среднегодовыми температурами на поверхности почвы; в южной части территории области число таких случаев составило 29–31 (74,4–79,5 %). Абсолютный минимум температуры на поверхности почвы за 1966–2015 гг. на метеостанции Напас достиг –60,5°C. Средний из абсолютных минимумов за 1948–1980 гг. был равен: Александровское –49°C, Напас –51°C, Бакчар –49°C, Томск –48°C [Научно-прикладной... 1993].

Дисперсность и влажность грунтов. Сезонному промерзанию-протаиванию подвергаются в основном покровные отложения субаэрального генезиса позднеплейстоцен-голоценового возраста. Они залегают с поверхности и плащеобразно перекрывают другие генетические типы рыхлых пород разного состава и возраста на различных геоморфологических уровнях – междуречьях, надпойменных террасах.

Мощность их изменяется от первых метров до 8–12 м. Покровные отложения – продукт выветривания материнских пород, они представлены преимущественно лессовидными суглинками, в меньшей степени легкими глинами, супесью, пылеватыми песками, залегающими прослоями и линзами. Содержание пылеватых частиц (0,05–0,001 мм) достигает 80 %, породы карбонатные: в северных районах содержание карбонатов колеблется – от 0 до 8 %, в южных районах области – до 23,5 % [Евсеева, Земцов, 1990]. Естественная влажность лессовидных отложений изменяется от 6 до 34 % на левобережье р. Чулым, от 17 до 40 % – на западном макросклоне Томь-Яйского междуречья, от 2 до 15 % – на дренированных участках междуречий правобережья и левобережья Оби и до 20–30 % – на дренированных участках [Герасимова и др., 1971]. Влажность песков – от 16,5 до 35 %.

Особенностью ландшафтов Томской области является его сильная заболоченность как часть мирового природного феномена – заболоченности За-

падно-Сибирской равнины. Средняя заболоченность равнины оценивается в 30 % [Лисс, Березина, 1981], на территории Томской области – в 39,5–50 % [Инишева и др., 1995]. Мощность торфяных отложений изменяется от 0,5 до 11 м, составляя в среднем 3 м. Естественная влажность торфяных отложений верхового типа может достигать 1 500 %, низинных торфов – не более 500 % [Геоэкология... 1989]. Различия во влажности пород объясняются особенностями рельефа и глубинами залегания уровня грунтовых вод и верховодки. На междуречьях большей части территории области грунтовые воды залегают на глубине 0–3 м, в долинах рек, в бассейнах Чулыма, Томи, на Обь-Шегарском междуречье – от 0,5 до 10–15 м [Трофимов, 1977; Геоэкология... 1989], но местами глубже. Воды, как правило, безнапорные и слабонапорные в долинах рек и напорные на междуречьях. Величина напоров достигает 10 м, реже более.

Состав (дисперсность) и естественная влажность пород сезонного слоя промерзания и протаивания играют существенную роль [Баду, Васильчук, Кашперюк, 1986]: увеличение дисперсности и влажно-

сти приводит к уменьшению глубины сезонного промерзания (в случае, если уровень грунтовых вод ниже подошвы слоя сезонного промерзания) и протаивания.

Глубины сезонного промерзания пород разного состава, по данным ряда исследователей, изменяются в следующих пределах [Баду, Васильчук, Кашперюк, 1986; Геоэкология... 1989; Ландшафты болот... 2012; Кисилев, Воропай, Дюкарев, 2016]: в песках маловлажных (5–10 %) на хорошо дренируемых участках, в обнажениях террас – до 2,5–3,5 м; при влажности песков более 10 % – 0,7–2,0 м; в суглинках под лесом – не более 1,0–2,0 м; в суглинках на безлесных участках – до 1,6–1,8 м; в супесчано-суглинистых породах – 1,4–2,0 м; в глинистых и суглинистых грунтах – 2,2–2,4 м; в торфе (рям, мочажина, гряда, топь) – до 0,6 м, в среднем 0,3–0,4 м, редко до 1,2 м.

Различия в температурном режиме, гранулометрическом составе почвогрунтов, толщине снежного покрова, микрорельефе, влажности и т.д. определяют значительную изменчивость глубины промерзания почв (табл. 2).

Таблица 2

Глубина промерзания и продолжительность оттаивания почв за период 1967–1997 гг. по данным Томской ЦГМС [Ландшафты болот... 2012]

Table 2

The depth of freezing and the duration of thawing of the soil for the period 1967–1997 according to the Tomsk Center for Hydrometeorology and Environmental Monitoring [Landshafty bolot... 2012]

Станция	Значения характеристик почв		
	среднее	максимальное (год)	минимальное (год)
Глубина промерзания, см			
Бакчар	97	141 (1969)	52 (1993)
Первомайское	120	171 (1976)	56 (1997)
Томск*	77	146 (1968)	9 (1993)
Кожевниково*	107	более 150 (1970–1972)	45 (1983)
Продолжительность оттаивания, дни			
Бакчар	38	67 (1968)	18 (1991)
Первомайское	42	69 (1968)	18 (1990)
Томск	35	59 (1970)	17 (1991)
Кожевниково	22	54 (1972)	14 (1993)

Примечание: * – данные о промерзании почв имеются по ст. Томск за последние 23 года, а по ст. Кожевниково – за последние 17 лет.

Note: * – soil freezing data are available under art. Tomsk over the past 23 years, and according to Art. Kozhevnikovo – for the last 17 years.

Таблица 3

Толщина снежного покрова и средняя глубина промерзания почв по [Ресурсы, 1972; Азьмука, 1986; Пашнева, Печень-Песенко, 1987; Ястремская, 1987; Хмелев, Панфилов, Дюкарев, 1988; Дюкарев, Пологова, 2007; Дюкарев, Пологова, Дюкарев, 2011]

Table 3

The thickness of the snow cover and the average depth of soil freezing according to [Resursy, 1972; Azmuka, 1986; Pashneva, Liver-Pesenko, 1987; Yastremskaya, 1987; Khmelev, Panfilov, Dyukarev, 1988; Dyukarev, Pologova, 2007; Dyukarev, Pologova, Dyukarev, 2011]

Толщина снежного покрова, см	Глубина промерзания почв, см
0–30	100–200 и более
30–50	70–135
50–60	40–60
60–85	5–20
85–100	0–30
100–200	0–5

Вариации глубин промерзания почвогрунтов отмечаются и в последние годы, например: в 2005 г. – 51–100 см; в снежную и теплую зиму 2008 г. – 23–94 см; в 2010 г. (на редкость холодная зима за последние 100 лет, она занимает второе место после зимы 1968/69 гг.) – 75–150 см; в зиму 2011 г. – 44–109 см [Экологический... 2009; 2011; 2012]. Изучая климат почв Томской области, Т.И. Азьмука установила, что в четырех из девяти лет почва промерзает на глубину 111–130 см [Азьмука, 1986]. Наблюдения авторов данной статьи за глубиной промерзания почв на пашне Томь-Яйского междуречья, анализ материалов других исследователей по названной территории подтвердили выводы Н.А. Качинского [Качинский, 1927] о том, что промерзание почв на пашне происходит неравномерно и зависит от толщины снежного покрова и микрорельефа. Многолетние площадные снегомерные работы [Петров, Евсеева, Каширо, 2013] показали, что в марте – периоде максимального снегонакопления – толщина снежного покрова изменяется от 0–30 до 80–90 см, а в сугробах у лесополос и кромок леса, депрессиях рельефа – до 200–241 см, возможно, более. Вследствие этого средняя глубина промерзания почв весьма различается (см. табл. 3).

Т.И. Азьмука установила, что при одинаковой мощности снежного покрова максимальная глубина промерзания почв в северных районах области меньше, чем в южных [Азьмука, 1986]. Это связано, на наш взгляд, с большой переувлажненностью почв центральной и северной частей территории области – от 50–75 % и более. Коэффициент корреляции между уменьшением глубины промерзания почв с увеличением толщины снежного покрова изменяется от 0,56 до 0,9 [Ландшафты болот... 2012]. Продолжительность сохранения мерзлоты составляет 5–6 месяцев [Кисилев, Воропай, Дюкарев, 2016]. В целом для исследуемой территории, как и для всей центральной и южной частей Западно-Сибирской равнины, характерен переходный и длительно устойчивый тип промерзания пород со среднегодовыми температурами, не превышающими 5°C [Гиличинский, 1986].

Криогенные процессы и явления, развивающиеся в сезонной мерзлоте

Спектр мерзлотных явлений и образований на территории Томской области разнообразен и представлен криогенным выветриванием, сегрегационным льдообразованием, пучением, наледеобразованием, морозобойным растрескиванием, оплыванием (сползанием).

О криогенном выветривании пород. В исследуемом районе с поверхности развиты коры выветривания на рыхлых континентальных отложениях –

неоэлювий. Он представлен породами лессовидного облика, слагающими верхние горизонты отложений междуречий, их склонов, террас. В стратиграфическом отношении они, как правило, не расчленены, и их часто называют «покровные отложения». Лессовидные породы, несмотря на различия климатических условий Западно-Сибирской равнины, как и по всей Сибири и в других районах мира, обладают одними и теми же особенностями: значительно большая пылеватость, чем у материнских пород – до 80 % содержания крупной пыли (0,05–0,01 мм – лессовая фракция); рыхлое сложение вследствие высокой пористости, наличие микропор; отмечается отдельность – вертикальная столбчатость; повышено содержание солей, главным образом карбонатных.

Сегрегационное льдообразование. Промерзание горных пород – сложный физический и физико-химический процесс. В дисперсных породах, широко распространенных в исследуемом регионе, наряду с переходом воды в лед без заметного ее перемещения с образованием льда-цемента, наблюдаются миграция влаги и ее последующее замерзание с образованием шлирового (сегрегационного) льда [Инженерная геодинамика... 2013]. Промерзание с образованием льда-цемента наблюдается или в песчаных грунтах, когда в процессе его развития влага отжимается книзу от фронта промерзания, или при замерзании в условиях низких температур замкнутых объемов маловлажных тонкодисперсных пород, в которых существуют условия для «свободного» увеличения объема воды при переходе ее в лед. Образование льда-цемента происходит непосредственно в порах грунта. Замерзание без сколько-нибудь заметного перемещения влаги может развиваться и в случае, когда промерзание грунтов даже с большой влажностью происходит очень быстро, и шлиры – обособленные выделения чистого льда различной формы и размеров в толще мерзлой породы – не успевают образоваться. Шлировый лед активно образуется и в настоящее время, поскольку промерзание происходит в пылеватых супесях, суглинках и глинах разного генезиса. Особая роль сегрегационного льдообразования состоит в том, что именно с ним обычно связана пучинистость промерзающих дисперсных отложений.

Морозное пучение дисперсных пород. Промерзание достаточно влажных дисперсных пород в естественных условиях сопровождается криогенным (морозным) пучением, одним из наиболее распространенных и опасных криогенных процессов на территории России, в том числе и в Томской области. Морозное пучение дисперсных пород обусловлено увеличением объема замерзающей влаги и льдонакоплением (вследствие миграции воды) при замерзании [Ершов, 1990]. Под влиянием этого процесса поверхность земли испытывает ежегодное

циклическое поднятие при промерзании и опускание при оттаивании, что приводит к постоянной пульсации поверхности земли. Такую пульсацию принято называть гидротермическим движением.

Территория Томской области подвержена сезонному пучению грунтов, где оно развито интенсивно [Гиличинский, 1986]. Средняя величина площадного пучения сезонноталого слоя обычно в 1,5–2 раза меньше пучения слоя сезонного промерзания. Это связано с тем, что сезоннопромерзающий слой чаще всего является открытой системой и его промерзание сопровождается активной миграцией влаги [Ершов, 1990]. Согласно исследованиям П.И. Кашперюк с соавторами [Геокриология... 1989], на территории южной половины Томской области в результате промерзания грунтов формируются пучинные образования (бугры) высотой до 20 см, это нередко приводит к деформации и нарушению сплошности дорожного полотна, приобретающего «волнистость». Нами неоднократно наблюдались деформации дорожного полотна на Кеть-Чулымском, Улуял-Чулымском, Томь-Яйском междуречьях, в бассейне р. Васюган и др.

Сезонное площадное пучение пород характеризуется большой неравномерностью, крайним выражением которой является формирование однолетних (или сезонных) миграционных бугров пучения. Образование таких бугров связано, согласно Ю.К. Васильчуку [Инженерная геодинамика... 2013], как правило, с тремя процессами: 1 – сегрегацией влаги (выделение из водонасыщенного грунта чистого льда при промерзании); 2 – миграцией влаги из окружающих и подстилающих водонасыщенных грунтов; 3 – инъекцией из замкнутых объемов при расширении в результате промерзания. Э.Д. Ершов отмечает, что инъекционные бугры пучения обычно связаны с неравномерным промерзанием пород сезонноталого слоя, в результате чего возникает гидростатический напор в движущихся надмерзлотных водах [Ершов, 1990]. Промерзание пород создает напор в том случае, когда в результате неравномерного промерзания образуется замкнутый объем талой водонасыщенной породы (кровля и бока – мерзлая порода, подошва – водонепроницаемая талая или тоже мерзлая порода), промерзающий наиболее поздно. Свободного пространства пор может оказаться недостаточно для компенсации увеличения объема, что приводит к отжатию избытка воды и инъекции ее в направлении наименьшего сопротивления породы.

Когда напор свободной подземной воды при промерзании замкнутого объема превысит сопротивление кровли изгибу или разрыву, происходит деформация кровли: сводообразное поднятие над участком внедрения воды, образование новых или расширение старых, не занятых льдом трещин [Васильчук, 2013]. Э.Д. Ершов отмечает, что наиболее

часто такое явление фиксируется у подножий склонов [Ершов, 1990]. Ширина таких бугров достигает первых метров, а превышение над окружающей поверхностью – 0,2–1,5 м. Авторами данной статьи сезонные бугры пучения встречены на Кеть-Чулымском, Улуял-Чулымском междуречьях. Размеры их небольшие: диаметр 1–5 м, высота от 0,2 до 1,5 м. Т.В. Афанасьева, В.И. Василенко также указывают на интенсивное развитие пучения грунтов в этом регионе [Баду, Васильчук, Кашперюк, 1986].

Морозобойное растрескивание в сезонной мерзлоте на территории Томской области проявляется в зимнее время и ранней весной на наиболее дренированных участках поверхности с минимальным снежным покровом – это обнажения вдоль рек, повышенные участки пахотных угодий и др. [Евсеева, 2009]. Морозобойное растрескивание (трещинообразование) – результат действия напряжений, возникающих в массиве мерзлой породы вследствие его сжатия при охлаждении [Природные опасности... 2000]. При сжатии мерзлого грунта напряжение в нем возрастает. Концентрация напряжений приводит к образованию микротрещин и дальнейшему макроскопическому разрушению. Трещины возникают на поверхности и проникают в глубь массива пород. При сезонном промерзании пород их глубина ограничивается толщиной слоя сезонного промерзания, в пределах исследуемой территории – от 0,7 до 3,5 м. Они зафиксированы в описаниях разрезов в обнажениях террас, междуречий, карьеров и др., например в обнажении второй террасы р. Кеть у д. Палочка. Процесс образования трещин начинается в середине декабря и заканчивается с середины по конец марта. В большинстве случаев криогенное растрескивание происходит в результате резкого понижения температур воздуха и грунта (табл. 4).

Температурные условия холодного периода года на территории Томской области благоприятны для развития морозного растрескивания, так как в это время наблюдаются низкие температуры воздуха (табл. 5) и абсолютные минимумы температур на поверхности почвы (см. табл. 1).

Необходимо отметить, что низкие температуры воздуха, способные вызвать морозобойное растрескивание, в отдельные годы наблюдались даже в мае, например на станции Напас -18°C (1986) $-15,4^{\circ}\text{C}$ (2004). По данным метеостанции Томск низкие температуры воздуха в январе–марте и апреле отмечаются часто, что можно проиллюстрировать примерами (см. табл. 4–6).

Низкие температуры воздуха способствуют образованию морозобойных трещин и на пашне, особенно на положительных микроформах рельефа на склонах южной экспозиции, где толщина снежного покрова обычно невелика. Например, в 2015 г. на плакоре пашни Томского района юго-восточной

экспозиции в глубоком разрезе (более 2 м) Т.П. Соловьевой вскрыты морозобойные трещины. Глубина проникновения трещин – 0,85 м (рис. 7).

На поверхности пашни, особенно по зяби, весной хорошо прослеживается сеть морозобойных трещин, ширина их изменяется от 1–3 до 15–20 мм, редко более [Евсеева, 2009]. Трещины образуют полигоны, размеры которых варьируют от 3 × 5 см до 10–12 × 30 см. Талые воды, проникающие ранней весной в трещину, замерзают в ней и образуют вертикальную жилку льда, которая в летний период вытаивает.

С наступлением следующей зимы температурные напряжения приводят к новому растрескиванию. Образующиеся при этом трещины, как правило, закладываются по местам предыдущих, которые являются ослабленными зонами, где сопротивление пород (льда) на разрыв ниже по сравнению с ненарушенными массивом пород. Характерной особенностью морозобойного растрескивания почв на пашне является то, что полигональное растрескивание сочетается с развитием трещин при усыхании грунтов.

Таблица 4

Температурные условия морозобойного растрескивания по [Инженерная геодинамика... 2013]

Table 4

Temperature conditions for frost cracking according to [Inzhenernaya geodinamika... 2013]

Местоположение участка	Температура воздуха (грунта) или диапазон температур воздуха (грунта), при котором наблюдается растрескивание, °С
Западная Сибирь (торфяники)	–45 (–12,5)
Западная Сибирь (песчано-глинистые грунты)	(–9)
Центральная Якутия (супесчаные грунты)	(–24)
Северо-западные территории Канады	от –31 до –45, от –25 до –40
Аляска, мыс Барроу (малольдистый грунт)	(от –5 до –17–9)
Омская область (суглинистые грунты на дороге с цементно-грунтовым покрытием)	–15, –20

Таблица 5

Среднемесечные температуры воздуха в холодный период года и абсолютные минимумы воздуха, °С
[Хмелев, Панфилов, Дюкарев, 1988]

Table 5

Average monthly air temperatures during the cold period of the year and absolute minimums of air, °С
[Khmelev, Panfilov, Dyukarev, 1988]

Станции наблюдения, годы	Среднемесечные температуры воздуха (числитель) и абсолютный минимум температуры (знаменатель, год)				Абсолютный минимум температуры за периоды
	декабрь	январь	февраль	март	
<i>Напас,</i> 1881–1980	<u>–21,0</u> –53,0 (1958)	<u>–24,0</u> –52,0 (1973)	<u>–23,0</u> –50 (1969)	<u>–14,0</u> –44,0 (1941)	–53,0 (1958)
Абс. минимум за 1977–2015	<u>–19,0</u> –51,4 (1984)	<u>–21,9</u> –53,4 (2006)	<u>–19,5</u> –48,5 (1979)	<u>–9,9</u> –42,8 (1978)	–53,4 (2006)
<i>Томск,</i> 1881–1980	<u>–17,3</u> –50 (1938)	<u>–19,1</u> –55 (1931)	<u>–16,9</u> –51,0 (1951)	<u>–9,9</u> –42,0 (1892)	–55 (1931)
1966–2015	<u>–15,4</u> –44,9 (1984)	<u>–18,1</u> –46,7 (2001)	<u>–16,0</u> –45,1 (1977)	<u>–7,4</u> –34,0 (2003)	–46,7 (2001)

Таблица 6

Абсолютный суточный минимум температур воздуха на примере ряда лет (Томск), °С

Table 6

Absolute daily minimum air temperatures on the example of a number of years (Tomsk), °С

Декабрь		Январь		Февраль		Март		Апрель	
<i>t</i>	Год	<i>t</i>	Год	<i>t</i>	Год	<i>t</i>	Год	<i>t</i>	Год
–44,9	1984	–55,0	1931	–49,3	1931	–42,3	1931	–29,0	1963
–40,5	1986	–48,5	1945	–51,3	1951	–34,0	1948	–31,1	1964
–43,6	1999	–47,5	1969	–40,0	1954	–35,6	1958	–15,6	1996
–37,6	2000	–46,5	1979	–47,2	1957	–32,0	1964	–13,6	2001
–38,5	2001	–39,5	1987	–44,7	1966	–37,7	1971	–21,8	2002
–39,5	2002	–39,1	1990	–44,6	1969	–31,2	1978	–17,1	2003
–35,8	2003	–40,5	1996	–45,1	1977	–31,9	1985	–14,3	2004
–35,0	2004	–41,1	1999	–40,7	1978	–30,4	1991	–14,4	2005
–28,9	2005	–42,8	2000	–35,9	1990	–31,6	1995	–22,4	2006
–26,2	2006	–46,7	2001	–34,8	1991	–30,9	1999	–5,7	2007

Декабрь		Январь		Февраль		Март		Апрель	
<i>t</i>	Год	<i>t</i>	Год	<i>t</i>	Год	<i>t</i>	Год	<i>t</i>	Год
-26,4	2007	-44,1	2006	-33,7	2006	-28,4	2008	-16,4	2008
-30,4	2008	-40,3	2008	-40,8	2009	-26,7	2009	-6,6	2009
-38,3	2009	-41,1	2010	-37,4	2010	-27,4	2010	-13,0	2010
-40,6	2010	-35,8	2011	-30	2011	-22,8	2011	-7,8	2011
-27,0	2011	-34,9	2012	-36,4	2012	-19,9	2012	-7,4	2012
-39,6	2012	-33,3	2013	-27,0	2013	-27,3	2013	-9,7	2013
-25,0	2013	-36,6	2014	-38,0	2014	-20,6	2014	-9,3	2014
-25,0	2014	-35,6	2015	-28,3	2015	-22,0	2015	-10,1	2015

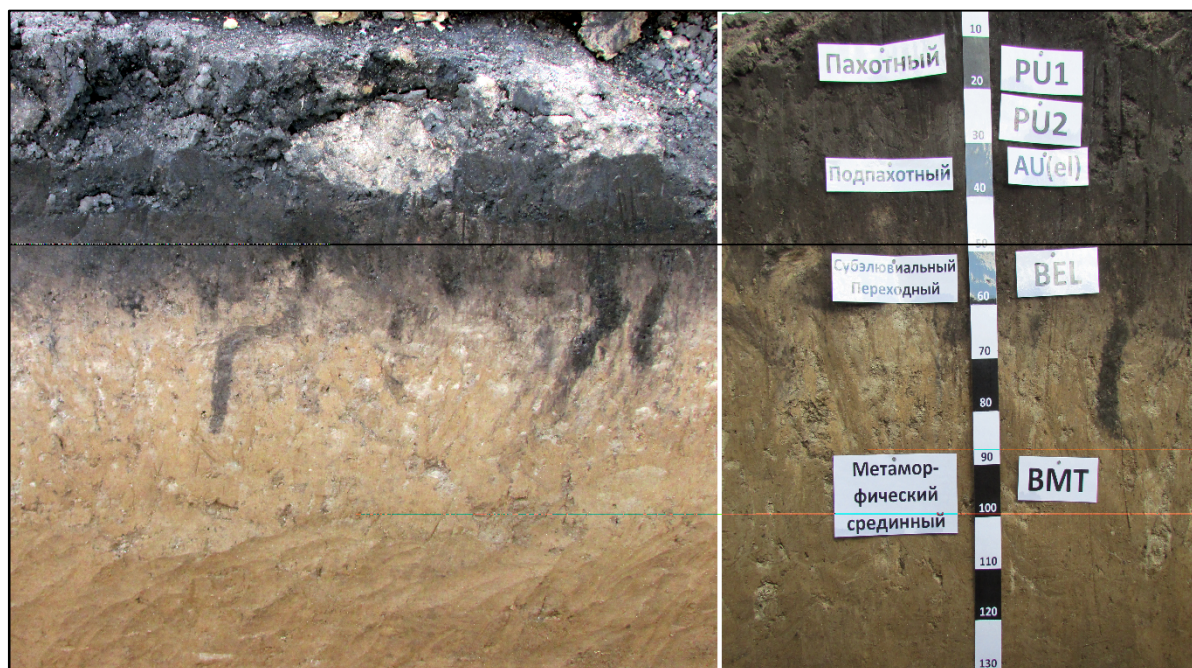


Рис. 7. Морозобойные трещины на пашне юго-востока Томской области (фото З.Н. Квасниковой, 2015)

Fig. 7. Frost cracks on arable land in the south-east of the Tomsk region (photo by Z.N. Kvasnikova, 2015)

Наледеобразование. В пределах Томской области, особенно в ее восточной и юго-восточной частях, в холодный период года на реках образуются наледи – на Чулыме, Кети, Томи, Пайдугиной, Улулюле, Чичкаюле, Васюгане и др. (рис. 8). По времени существования наледи территории относятся к однолетним, большинство их существует в течение 5–6 месяцев (ноябрь–апрель). Образование наледей происходит при послойном замерзании воды на поверхности в результате многократного излияния вод при промерзании русла реки или подземных источников. Наледи грунтовых вод чаще всего образуются на участках перехода грунтового потока в поверхностный водоток. Вследствие этого наледи на реках формируются ниже участков резкого мощности аллювия или выхода в русло коренных водонепроницаемых пород. Наледи, образуемые водами глубокого подмерзлотного стока, часто приурочены к зонам новейших или омоложенных тектонических нарушений. Сопоставление распространения наледей и зон разрывных нарушений (см. рис. 8) показывает,

что они совпадают в плане, например, на реках Васюган, Кеть, Пайдугина, Чузик, Чичкаюл, Улулюл, Тым, на р. Обь у с. Александровское и др. [Евсеева, 2009]. Наиболее крупные наледи на реках наблюдались в 1967–1968 гг. на реках бассейнов Яи, Кии. Наледные воды в эту зиму затопили мосты и лесные склады на прилегающей местности [Ресурсы... 1972]. Но до настоящего времени роль наледей в формировании современных речных долин изучена слабо.

Криогенно-склоновые процессы изучены на исследуемой территории недостаточно. Наши наблюдения на пашне южных районов Томской области показали, что на склонах пашни крутизной 2–3° и более во время снеготаяния происходят течение и оплывание почвогрунтов. Наиболее характерны эти процессы для южных склонов пашни, где на ее возвышенных участках, на склонах балок ложбин южной экспозиции при высоких температурах воздуха в дневное время почва оттаивает в конце марта – середине апреля на глубину от 0,5–3,0 до 25–30 см. Влажность

оттаявших почв высокая (38–81 %), и под действием силы тяжести почвы либо оплывают, либо наблюдается их течение вниз по склонам по мерзлому слою. Проследить истинные размеры этих процессов на

распаханной и лишенной снега поверхности пашни трудно. В местах, где конжелифлюкционные потоки разгружаются на снег в депрессиях, на склонах, эти процессы прослеживаются ясно.

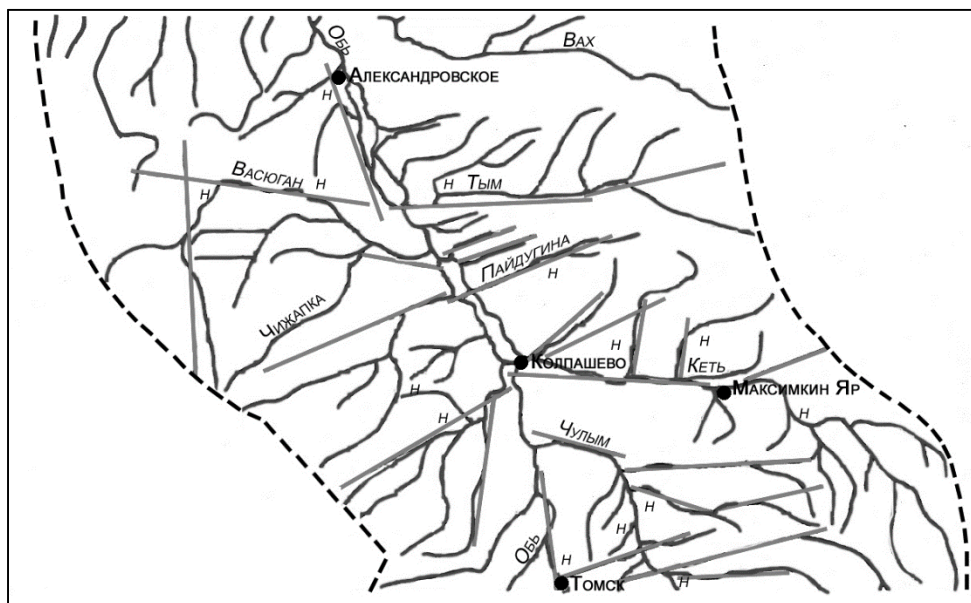


Рис. 8. Фрагмент схемы наледей бассейна р. Оби: н – наледь; линиями показаны тектонические разломы по [Сильвестров, 1997; Космогеологическая карта... 1980; Евсеева, Лыготин, 2002]

Fig. 8. Fragment of the scheme of icings in the p. Obi: н – ice; lines indicate tectonic faults according to [Sil'vestrov, 1997; Kosmogeologicheskaya karta... 1980; Evseyeva, L'gotin, 2002]

Выводы

Уточнение южной границы ММП на территории юго-востока Западной Сибири имеет как научное, так и практическое значение. В условиях меняющегося климата при похолодании вблизи южной границы криолитозоны на заболоченных, затененных участках могут возникать массивы ММП, особенно на северо-востоке Томской области, где и в настоящее время зимние температуры наиболее низкие (см. табл. 5).

При расширении хозяйственной деятельности на территории области необходимо учитывать наличие как реликтовой мерзлоты, так и островной. Это связано со значительной динамичностью ММП: они могут изменять конфигурацию, исчезать и возникать в течение нескольких лет.

Строительство дорог, зданий, распашка земель и т.д. изменяют характер распределения снежного покрова и растительности, что влияет на температуру и влажность почвогрунтов, например на пашне увеличивается глубина промерзания почв, запаздывают сроки их оттаивания и прогревания до активных температур; на крупных пахотных массивах формируются очаги холода, способствующие общему выхолаживанию пашни. При строительстве зданий при оттаивании грунтов оснований наблюдаются осадки, имеющие характер просадок, что может привести к деформации зданий и технологическим авариям. Пучение грунтов сильно повышает стоимость содержания дорог и др. Данные о распространении реликтовых ММП необходимо учитывать при проектировании и бурении поисковых скважин на нефть, газ и подземных вод, строительстве зданий, трубопроводов и др.

ЛИТЕРАТУРА

- Азьмука Т.И. Климат почв Среднего Приобья. Новосибирск : Наука, 1986. 120 с.
- Архипов С.А., Волкова В.С. Геологическая история, ландшафты и климаты плейстоцена Западной Сибири / отв. ред. чл.-кор. РАН А.В. Каньгин. Новосибирск : НИЦ ОНГТМ СО РАН, 1994. 105 с.
- Бадю Ю.Б., Васильчук Ю.К., Кашперюк П.И. Геологические процессы и явления, обусловленные сезонными изменениями температур в слое сезонного промерзания-протаивания // Экогеодинамика Западно-Сибирской плиты (пространственно-временные закономерности). М. : Изд-во Моск. ун-та, 1986. С. 74–92.
- Бурканова Е.М. Палиностратиграфия каргинско-голоценовых отложений комплекса речных долин Среднего Приобья : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. Томск, 2018. 20 с.

- Васильчук Ю.К.** Современное положение южной границы зоны многолетнемерзлых пород Западно-Сибирской низменности // Криосфера Земли. 2013. Т. XVII, № 1. С. 17–27.
- Геокриология СССР. Западная Сибирь** / под ред. Э.Д. Ершова. М. : Недра, 1989. 454 с.
- Герасимова А.С., Афонская Л.Г., Ершова С.Б., Коломенская В.Н., Семенов В.М.** Инженерно-геологические условия центральной части Западно-Сибирской плиты // Природные условия Западной Сибири. М., 1971. Вып. 1. С. 185–202.
- Гиличинский Д.А.** Сезонная криолитозона Западной Сибири. М. : Наука, 1986. 144 с.
- Городков Б.Н.** Крупнобугристые торфяники и их географическое распространение // Природа. 1928. № 6. С. 599–601.
- Граве Н.А.** Мерзлые толщи земли // Природа. 1968. № 1. С. 53.
- Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н.** Современные криоморфозы в ландшафтах южной тайги Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2007. № 1. С. 96–100.
- Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н., Дюкарев Е.А.** Температурный режим глубокоподзолённых почв Томь-Яйского междуречья // Современные проблемы генезиса, географии и картографии почв. Томск, 2011. С. 35–38.
- Евсеева Н.С.** Современный морфолитогенез юго-востока Западно-Сибирской равнины. Томск : Изд-во НТЛ, 2009. 484 с.
- Евсеева Н.С., Горюхов А.Г., Попкова Н.И.** Современные процессы рельефообразования в бассейне среднего и нижнего течения р. Чулым // Вопросы географии Сибири. Томск, 1984. Вып. 16. С. 48–57.
- Евсеева Н.С., Земцов А.А.** Рельефообразование в лесоболотной зоне Западно-Сибирской равнины. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1990. 242 с.
- Евсеева Н.С., Льготин В.А.** Геоморфологическая карта Томской области. Томск : Томскгеомониторинг, 2002. 1 л.
- Ершов Э.Д.** Общая геокриология. М. : Недра, 1990. 559 с.
- Земцов А.А.** Новые данные о вечной мерзлоте в Западной Сибири // Труды Томского университета. 1957б. Т. 147.
- Земцов А.А.** Глубокозалегающие толщи многолетнемерзлых горных пород в Западной Сибири // Известия АН СССР. Сер. географическая. 1960. № 4. С. 89–93.
- Земцов А.А.** Геоморфология Западно-Сибирской равнины (Северная и Центральная части). Томск : Изд-во Том. ун-та, 1976. 343 с.
- Земцов А.А.** Вечная мерзлота в пределах Томской области // Вопросы географии Сибири. Томск, 1997. Вып. 22. С. 5–8.
- Земцов А.А., Горюхин Е.А., Карлсон В.Л.** Многолетнемерзлые породы в восточной части Западно-Сибирской равнины // Известия Всесоюзного географического общества. 1971. Т. 103, № 1. С. 80–82.
- Инженерная геодинамика территории России** / под общ. ред. В.Т. Трофимова, Э.В. Калинина. М. : Изд. дом КДУ, 2013. 816 с.
- Инишева Л.И., Архипов В.С., Маслов С.Г., Михантьева Л.С.** Торфяные ресурсы Томской области и их использование. Новосибирск, 1995. 88 с.
- История** криологического исследования Западной Сибири. Новосибирск : Наука, 1990.
- Качинский Н.А.** Замерзание, размерзание и влажность почвы в зимний сезон в лесу и на полевых участках. М. : Наука и просвещение, 1927. 168 с.
- Кисилев М.В., Воронин Н.Н., Дюкарев Е.А.** Особенности температурного режима почв верхового болотного массива // Известия вузов. Физика. 2016. Т. 59, № 7/2. С. 93–98.
- Космогеологическая** карта линейных и кольцевых структур СССР / гл. ред. А.Д. Щеглов. М., 1980. 2 л.
- Ландшафты болот Томской области** / под ред. Н.С. Евсеевой. Томск : Изд-во НТЛ, 2012. 400 с.
- Лисс О.Л., Березина Н.А.** Болота Западно-Сибирской равнины. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1981. 208 с.
- Львов Ю.А.** Болота Тым-Вахского междуречья // Природа и экономика севера Томской области (Материалы комплексной экспедиции по изучению природных условий, естественных ресурсов и экономики нефтегазоносных районов Томской области). Томск : Изд-во Том. ун-та, 1977. С. 118–133.
- Мизеров Б.В., Богдасhev В.А.** Основные черты геоморфологического строения Кеть-Тымского Приобья и бассейна р. Сым // Проблемы геоморфологии и неотектоники платформенных областей Сибири. Новосибирск, 1978. С. 143–163.
- Мульдьяров Е.Я.** Мерзлотный торфяник на междуречье Кети и Чулыма // Ледники и климат Сибири. Томск : Изд-во Том. ун-та, 1987. С. 84–85.
- Научно-прикладной справочник по климату СССР.** СПб. : Гидрометеиздат, 1993. Сер. 3: Многолетние данные. Вып. 20: Томская, Новосибирская, Кемеровская области, Алтайский край. С. 39–46.
- Палеоклиматы и палеоландшафты** внетропического пространства Северного полушария. Поздний плейстоцен–голоцен: Атлас-монография / под ред. А.А. Величко. М., 2009. 120 с.
- Пашнева Г.Е., Печень-Песенко О.Э.** Влияние снежного покрова на гидротермический режим почв юга Томской области // Ледники и климат Сибири. Томск, 1987. С. 162–165.
- Петров А.И., Евсеева Н.С., Каширо М.А.** Динамика характеристик снежного покрова в ландшафтах Томь-Яйского междуречья // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 71. С. 183–188.
- Петров В.Г.** Новый вариант южной границы вечной мерзлоты в Западной Сибири // Труды Комиссии АН СССР по изучению вечной мерзлоты. 1937. Вып. 5. С. 105–108.
- Попов А.И.** Вечная мерзлота в Западной Сибири. М. : Изд-во АН СССР, 1953. 230 с.
- Природные опасности России.** Геокриологические опасности / под ред. Л.С. Гарагуля, Э.Д. Ершова. М. : КРУК, 2000. 316 с.
- Ресурсы** поверхностных вод СССР. Л. : Гидрометеиздат, 1972. Т. 15, вып. 2. 407 с.
- Сильвестров В.Н.** Пояснительная записка к карте четвертичных отложений Томской области масштаба 1:500 000 (тема 55). Томск, 1997. 91 с.
- Сюрпризы «вечного льда»** // Научная Россия: электронное периодическое издание. 2015. 31 авг. URL.: <https://scientificrussia.ru/rubric/physics/syurprizy-vechnogo-lda> (дата обращения: 23.11.2017).
- Трофимов В.Т.** Закономерности пространственной изменчивости инженерно-геологических условий Западно-Сибирской плиты. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1977. 276 с.
- Хмелев В.А., Панфилов В.П., Дюкарев А.Г.** Генезис и физические свойства текстурно-дифференцированных почв. Новосибирск : Наука, 1988. 128 с.

Шамахов А.Ф., Земцов А.А. Многолетняя реликтовая мерзлота в Западной Сибири и ее палеогеографическое значение // Известия Всесоюзного географического общества. 1979. Т. 111. С. 150–155.

Шпанский А.В. Четвертичные млекопитающие Томской области и их значение для оценки среды обитания. Томск, 2003. 162 с.

Экологический мониторинг: состояние окружающей среды Томской области в 2008 году / гл. ред. А.М. Адам. Томск : Графика ДТР, 2009. 144 с.

Экологический мониторинг: состояние окружающей среды Томской области в 2010 году / гл. ред. А.М. Адам. Томск : Графика ДТР, 2011. 144 с.

Экологический мониторинг: состояние окружающей среды Томской области в 2011 году / гл. ред. А.М. Адам. Томск : Графика ДТР, 2012. 168 с.

Ястремская З.И. Влияние снегонакопления на смыв почв в условиях юга Томской области // Ледники и климат Сибири. Томск, 1987. С. 186–187.

Blyakharchuk T.A., Sulerzhitsky L.D. Holocene vegetational and climatic changes in the forest zone of Western Siberia according to pollen from the extrazonal palas bog Bugristoye // The Holocene. 1999. Vol. 9, is. 5. P. 622–627.

Авторы:

Евсеева Нина Степановна, доктор географических наук, профессор, заведующая кафедрой географии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томского государственного университета, Томск, Россия.

Квасникова Зоя Николаевна, кандидат географических наук, доцент, кафедра географии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томского государственного университета, Томск, Россия.

E-mail: zojkwas@rambler.ru

Каширо Маргарита Александровна, кандидат географических наук, доцент, кафедра географии, геолого-географический факультет, Национальный исследовательский Томского государственного университета, Томск, Россия.

E-mail: mkashiro@yandex.ru

Geosphere Research, 2018, 3, 71–87. DOI: 10.17223/25421379/8/7

N.S. Evseeva, Z.N. Kvasnikova, M.A. Kashiro

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia

FROM HISTORY OF STUDYING OF PERMAFROST IN THE SOUTH-EAST OF WESTERN SIBERIA, ITS TYPES AND INFLUENCE ON RELIEF FORMING

The permafrost area covers about 70 % of territory of Russia and the seasonal frost area comprises about 25–30 %. The permafrost is also widespread in the South-East of the West Siberian plain within the taiga and subtaiga zones of the Tomsk oblast', where three types of permafrost are identified: seasonal, sporadic island formation and relict. Certain cryogenic processes develop in each type of permafrost. Veined and polygonal relief, thermokarst are associated with relict permafrost, palsas (palsa) are formed in the areas with island permafrost, heaving of soils and frost cracking occur in areas with seasonal permafrost.

The immediate proximity to the southern border of the cryolithozone, the presence in the North and North-East of the region of deep-lying relic frozen rocks, and long (up to 5–6 months) and deep (up to 2–3.5 m) seasonal freezing of rocks are features of modern geocryological situation in the territory of Tomsk oblast'.

This article briefly considers the history of the discovery of the relic permafrost in Western Siberia by A.A. Zemtsov, who was Professor of the Tomsk state University (1957); in the article also the area of permafrost in the Tomsk oblast', its depth and thickness are given and the influence of cryogenic processes on the relief is described. The paper characterizes natural factors of seasonal permafrost development such as dispersion and humidity, average annual and minimum temperatures of soil and air, depth of freezing and other factors.

Cryogenic processes developing in seasonal and relic permafrost of Tomsk oblast' are insufficiently studied. The authors consider a genetic series of cryogenic processes developing in the Tomsk oblast' based on field research and analysis of literature sources. One of the most dangerous processes is frost heaving in dispersive grounds. The data on the distribution of relic permafrost should be considered into account when designing and drilling exploratory wells for oil, gas and groundwater, construction of roads, pipelines, buildings and other facilities

Keywords: West Siberia, Tomsk oblast, permafrost.

References

Az'muka T.I. *Klimat pochv Srednego Priob'ya* [The climate of the soils of the middle Ob region]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1986. 120 p. In Russian

Arkhipov S.A., Volkova V.S. *Geologicheskaya istoriya, landshafty i klimaty pleistotsena Zapadnoi Sibiri* [Geological history, landscapes and climates in the Pleistocene of Western Siberia] / ed. member-correspondent of RAS A.V. Kanygin. Novosibirsk: United Institute of Geology, Geophysics and Mineralogy SB RAS Publ., 1994. 105 p. In Russian

Badu Yu.B., Vasil'chuk Yu.K., Kashperuk P.I. *Geologicheskiye protsessy i yavleniya, obuslovlennyye sezonnyimi izmeneniyami temperatur v sloye sezonnogo promerzaniya–protaivaniya* [Geological processes and phenomena, due to seasonal temperature changes in the layer of seasonal freezing–thawing] // *Ekzogedodinamika Zapadno-Sibirskoi plity (prostranstvenno-vremennyye zakonomernosti)* [Ecogedodynamics of the West Siberian plate (spatial-temporal regularities)]. Moscow: Moscow St. Univ. Publ., 1986. pp. 74–92. In Russian

Burkanova E. M. *Palinostratigrafiya karginsko-golocenovykh otlozhenij kompleksa rechnykh dolin Srednego Priob'ya: avtoref. diss. kand. geol.-mineral. nauk.* [Palinostratigraphy Karginy and Holocene deposits of river valleys complex in the Middle Ob region: synopsis of PhD thesis in Geology and Mineralogy]. Tomsk, 2018. 20 p. In Russian

- Vasil'chuk, Yu.K. *Sovremennoe polozhenie yuzhnoy granicy zony mnogoletnemerzlykh porod Zapadno-Sibirskoy nizmennosti* [The current position of the southern boundary of the permafrost zone in the West Siberian lowland] // *Kriosfera Zemli*, 2013. V. XVII, No. 1. pp. 17–27. In Russian
- Geokriologiya SSSR. *Zapadnaya Sibir'* [Geocryology of the USSR. West Siberia] / ed. E.D. Ershov. Moscow: Nedra Publ., 1989. 454 p. In Russian
- Gerasimova A.C., Afonskaya L.G., Ershova S.B., Kolomenskaya V.N., Semenov V.M. *Inzhenerno-geologicheskiye usloviya tsentral'noy chasti Zapadno-Sibirskoy plity* [Engineering and geological conditions of the Central part of the West Siberian plate] // *Prirodnye usloviya Zapadnoi Sibiri* [Natural conditions of Western Siberia]. Moscow, 1971. V. 1. pp. 185–202. In Russian
- Gilichinskii D.A. *Sezonnaya kriolitizona Zapadnoi Sibiri* [Seasonal cryolithozone of Western Siberia]. Moscow: Nauka Publ., 1986. 144 p. In Russian
- Gorodkov B.N. *Krupnobugristye torfyaniki i ih geograficheskoe rasprostranenie* [Large-hilly peatlands and their geographical distribution] // *Priroda*, 1928, No 6. pp. 599–601. In Russian
- Grave N.A. *Merzlye tolshchi zemli* [Frozen strata of the Earth] // *Priroda*, 1968, No 1. p. 53. In Russian
- Dyukarev A.G., Pologova N.N. Modern Cromarty in landscapes of the southern taiga of Western Siberia // *Geography and natural resources*. 2007. No 1. pp. 96–100. In Russian
- Dyukarev A.G., Pologova N.N., Dyukarev E.A. *Temperaturnyy rezhim glubokoopodzolennykh pochv Tom'-Yayskogo mezhdurech'ya* [The temperature regime of a deep podzolic soils of Tom'-Yaya interfluvium] // *Sovremennye problemy genezisa, geografii i kartografii pochv* [Modern problems of genesis, geography and cartography of soils]. Tomsk, 2011. pp. 35–38. In Russian
- Evseeva N.S. *Sovremennyy morfologicheskyy yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoi ravniny* [Modern morpholithogenesis of the South-East of the West Siberian plain]. Tomsk: NTL Publ., 2009. 484 p. In Russian
- Evseeva N.S., Goloverov A.G., Popkova N.I. *Sovremennyye protsessy rel'yefoobrazovaniya v bassejne srednego i nizhnego techeniya r. Chulym* [Modern processes of the relief formation in middle and lower reaches of the river Chulym] // *Voprosy geografii Sibiri* [Questions of geography of the Siberia]. Tomsk, 1984. V. 16. pp. 48–57. In Russian
- Evseeva N.S., L'gotin V.A. *Geomorfologicheskaya karta Tomskoi oblasti* [Geomorphological map of the Tomsk oblast]. Tomsk: Tomskgeomonitoring Publ., 2002. 1 p. In Russian
- Evseeva N.S., Zemtsov A.A. *Rel'yefoobrazovanie v lesobolotnoi zone Zapadno-Sibirskoi ravniny* [The relief formation in the forest-swamp zone of the West Siberian plain]. Tomsk: Tomsk St. Univ. Publ., 1990. 242 p. In Russian
- Ershov E.D. *Obshchaya geokriologiya* [General Geocryology]. Moscow: Nedra Publ., 1990. 559 p. In Russian
- Zemtsov A.A. *Vechnaya merzlota v predelakh Tomskoy oblasti* [Permafrost within Tomsk oblast] // *Voprosy geografii Sibiri* [Questions of geography of Siberia]. Tomsk, 1997. V. 22. pp. 5–8. In Russian
- Zemtsov A.A., Goryukhin E.A., Karlson V.L. *Mноголетнemerzlye породы в восточной части Запдно-Сибирской равнины* [Permafrost in the Eastern part of the West Siberian plain] // *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva* [Izvestiya of all-Union geographical society]. 1971. V. 103, No 1. pp. 80–82. In Russian
- Zemtsov A.A. *Geomorfologiya Zapadno-Sibirskoy ravniny (Severnaya i Tsentral'naya chasti)* [Geomorphology of the West Siberian Plain (Northern and Central parts)]. Tomsk: Publishing house Tom. University, 1976. 343 p. In Russian
- Zemtsov A.A. *Glubokozalegayushchiye tolshchi mnogoletnemerzlykh gornykh porod v Zapadnoy Sibiri* [Deep-lying strata of frozen rocks in Western Siberia] // *Izvestiya AN SSSR. Ser. geograficheskaya* [News of Academy of Sciences of the USSR. Geographical series]. 1960. No 4. pp. 89–93. In Russian
- Inzhenernaya geodinamika territorii Rossii* [Engineering geodynamics of Russian territory], eds. V.T. Trofimov, E.V. Kalinin. Moscow: KDU Publ., 2013. 816 p. In Russian
- Zemtsov A.A. *Novye dannye o vechnoy merzlotte v Zapadnoy Sibiri* [New data on the permafrost in Western Siberia] // *Trudy Tomskogo universiteta*. V. 147, 1957. In Russian
- Inisheva L.I., Arkhipov V.S., Maslov S.G., Mikhant'eva L.S. *Torfyanye resursy Tomskoi oblasti i ikh ispol'zovanie* [Peat resources of Tomsk oblast and their use]. Novosibirsk, 1995. 88 p. In Russian
- Istoriya kriologicheskogo issledovaniya Zapadnoi Sibiri* [History of cryological research of Western Siberia]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1990. In Russian
- Kachinskii H.A. *Zamerzanie, razmerzanie i vlazhnost' pochvy v zimnii sezon v lesu i na polevykh uchastkakh* [Freezing, thawing and soil moisture in the winter season in the forest and in the field]. Moscow: Nauka i prosveshchenie Publ., 1927. 168 p. In Russian
- Kisilev M.V., Voropai N.N., Dyukarev E.A. Features of the soil temperature regime of the sphagnum swamp // *Russian Physics Journal*. 2016. V. 59, No 7/2. pp. 93–98. In Russian
- Kosmogeologicheskaya karta lineynykh i kol'tsevykh struktur SSSR* [Cosmogeological map of linear and ring structures of the USSR] / ed. A.D. Shcheglov. Moscow, 1980. 2 p. In Russian
- Landshafty bolot Tomskoi oblasti* [The landscape of bogs in Tomsk oblast] / ed. N.S. Evseeva Tomsk, NTL Publ., 2012. 400 p. In Russian
- Liss O.L., Berezina H.A. *Bolota Zapadno-Sibirskoi ravniny* [Bogs of the West Siberian plain]. Moscow: Moscow State Univ. Publ., 1981. 208 p. In Russian
- L'vov Yu.A. *Bolota Tym-Vahskogo mezhdurech'ya* [Swamp in the Tym and Vakhsky interfluvium] // *Priroda i ehkonomika severa Tomskoy oblasti (Materialy kompleksnoy ehkspeditsii po izucheniyu prirodnykh uslovij, estestvennykh resursov i ehkonomiki neftegazonosnykh rajonov Tomskoy oblasti)*. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo universiteta Publ., 1977. pp. 118–133. In Russian
- Mizerov B.V., Bogdashev V.A. *Osnovnyye cherty geomorfologicheskogo stroeniya Ket'-Tym'skogo Priob'ya i basseyna r. Sym* [The main features of the geomorphological structure of the Ob' region (near Ket and Tym river) and the Sym river basin] // *Problemy geomorfologii i neotektoniki platformnykh oblastei Sibiri* [Problems of geomorphology and neotectonics of platform regions of Siberia]. Novosibirsk, 1978. pp. 143–163. In Russian
- Mul'diyarov E.Ya. *Merzlotnyy torfyanik na mezhdurech'e Ket i Chulyma* [The presence of permafrost peatlands in the area between Ket and Chulym] // *Ledniki i klimat Sibiri*. Tomsk: Izdatel'stvo Tomskogo universiteta Publ., 1987. pp. 84–85. In Russian
- Nauchno-prikladnoi spravochnik po klimatu SSSR* [Scientific and applied guide to the climate of the USSR]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 1993. Ser. 3: *Mноголетние данные* [Long-term data]. V. 20: Tomsk, Novosibirsk, Kemerovo regions, Altai Krai. pp. 39–46. In Russian

- Velichko A.A. *Paleoklimaty i paleolandshafty vnetropicheskogo prostranstva Severnogo polushariya. Pozdnii pleistotsen-golotsen* [Paleoclimates and space paleolandscape extratropical Northern hemisphere. From Late Pleistocene to Holocene]. Moscow, 2009. 120 p. In Russian
- Pashneva G.E., Pechen'-Pesenko O.E. *Vliyaniye snezhnogo pokrova na gidrotermicheskiy rezhim pochv yuga Tomskoy oblasti* [The influence of snow covers on hydrothermal regime of soils in the South of Tomsk oblast] // *Ledniki i klimat Sibiri* [Glaciers and climate of Siberia]. Tomsk, 1987. pp. 162–165. In Russian
- Petrov A.I., Evseeva N.S., Kashiroy M.A. Dynamics of characteristics of snow cover in the landscapes of Tom'-Yaya interfluvium // *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Tomsk State University]. 2013. No 71. pp. 183–188. In Russian
- Petrov V.G. *Novyy variant yuzhnoy granitsy vечноy merzloty v Zapadnoy Sibiri* [A new version of the southern boundary of permafrost in Western Siberia] // *Trudy Komissii AN SSSR po izucheniyu vечноy merzloty*, 1937. No. 5, pp. 105–108. In Russian
- Popov A.I. *Vechnaya merzlota v Zapadnoy Sibiri* [Permafrost in Western Siberia]. Moscow: USSR Academy of Sciences Publ., 1953. 230 p. In Russian
- Prirodnye opasnosti Rossii. Geokriologicheskie opasnosti* [Natural hazards of Russia. Geocryological hazards] / eds. L.S. Garagul', E.D. Ershov. Moscow: KRUK Publ., 2000. 316 p. In Russian
- Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [Surface water resources of the USSR]. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 1972. V. 15. Iss. 2. 407 p. In Russian
- Syurprizy «vechnogo l'da»* [Surprises of «eternal ice»] // *Nauchnaya Rossiya: ehlektronnoe periodicheskoe izdanie* [Scientific Russia], 2015. 31 aug. Available at: <https://scientificrussia.ru/rubric/physics/syurprizy-vechnogo-lda> (accessed 23.11.2017). In Russian
- Trofimov, V.T. *Zakonomernosti prostranstvennoi izmenchivosti inzhenerno-geologicheskikh uslovii Zapadno-Sibirskoy plity* [Regularities in spatial variability of engineering-geological conditions of the West Siberian plate]. Moscow: Moscow St. Univ. Publ., 1977. 276 p. In Russian
- Khmelev V.A., Panfilov V.P., Dyukarev A.G. *Genezis i fizicheskie svoystva teksturno-differentsirovannykh pochv* [The genesis and physical properties of texture differentiated soils]. Novosibirsk : Nauka Publ., 1988. 128 p. In Russian
- Sil'vestrov V.N. *Poyasnitel'naya zapiska k karte chetvertichnykh otlozhenii Tomskoy oblasti masshtaba 1:500 000 (tema 55)* [Explanatory note to the map of Quaternary deposits of the Tomsk region for scale 1:500 000 (topic 55)]. Tomsk, 1997. 91 p. In Russian
- Shamakhov A.F., Zemtsov, A.A. *Mnogoletnyaya reliktovalaya merzlota v Zapadnoy Sibiri i ee paleogeograficheskoye znachenie* [Relict permafrost in Western Siberia and its paleogeographic significance] // *Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva* [Proceedings of all-Union geographical society]. 1979. V. 111. pp. 150–155. In Russian
- Shpanskii A.V. *Chetvertichnye mlekopitayushchie Tomskoy oblasti i ikh znachenie dlya otsenki sredy obitaniya* [Quaternary mammals of the Tomsk oblast and their implications for the assessment of habitat]. Tomsk, 2003. 162 p. In Russian
- Ekologicheskii monitoring: sostoyaniye okruzhayushchei sredy Tomskoy oblasti v 2010 godu* [Environmental monitoring: state of the environment in Tomsk region in 2010] / ed. A.M. Adam. Tomsk: Grafika DTP Publ., 2011. 144 p. In Russian
- Ekologicheskii monitoring: sostoyaniye okruzhayushchei sredy Tomskoy oblasti v 2011 godu* [Environmental monitoring: state of the environment in Tomsk region in 2011] / ed. A.M. Adam. Tomsk: Grafika DTP Publ., 2012. 168 p. In Russian
- Ekologicheskii monitoring: sostoyaniye okruzhayushchei sredy Tomskoy oblasti v 2008 godu* [Environmental monitoring: state of the environment in Tomsk region in 2008] / ed. A.M. Adam. Tomsk: Grafika DTP Publ., 2009. 144 p. In Russian
- Yastremskaya Z.I. *Vliyaniye snegonakopleniya na smyv pochv v usloviyakh yuga Tomskoy oblasti* [The influence of snow accumulation on the erosion of soils in the southern Tomsk oblast] // *Ledniki i klimat Sibiri* [Glaciers and the climate of Siberia]. Tomsk, 1987. pp. 186–187. In Russian
- Blyakharchuk T.A., Sulerzhitsky L.D. Holocene vegetational and climatic changes in the forest zone of Western Siberia according to pollen from the extrazonal paludal bog Bugristoye / *The Holocene*, 1999. V. 9, iss. 5, pp. 622–627.

Authors:

Evseyeva Nina S., Dr. Sci. (Geogr.), Professor, Head of the Department of Geography, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

Kvasnikova Zoya N., Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: zoykwas@rambler.ru

Kashiroy Margarita A., Cand. Sci. (Geogr.), Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Geology and Geography, National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia.

E-mail: mkashiroy@yandex.ru