

УДК 551.343.7(571.1)(045)

*С.Е. Коркин, Е.А. Коркина, И.М. Таран***ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ МЕРЗЛОТНЫХ БУГРОВ ПУЧЕНИЯ В ЮЖНОЙ КРИОЛИТОЗОНЕ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

В статье приведен анализ годовой динамики температурного режима мерзлотного бугра пучения в южной криолитозоне Западно-Сибирской равнины. Исследование относится к Тагринскому месторождению добычи нефти и газа. Использование в исследовании данных системы автоматического измерительного комплекса температур в пределах бугров пучения позволило регистрировать во времени следующие параметры: температуру и влажность воздуха на высоте 2 м, температуру и влажность грунта на разных глубинах. Наблюдение за температурами в многолетнемерзлых породах позволяет оценивать пластичность мерзлых пород в буграх пучения и спрогнозировать нежелательные опасности техногенного характера. Температурный режим бугров пучения дифференцируется на деятельный слой с динамикой положительных и отрицательных температур и на ядро бугра пучения, где сохраняются многолетние отрицательные температуры. Было определено, что наибольшую динамику оттаивания и промерзания имеет деятельный слой на глубине 0,3–0,6 м, относится к сезонному протаиванию. Многолетнемерзлые породы, в ядре бугра, являются пластично-мерзлым торфом, на глубине 1,6 м их среднегодовая температура в период измерений составила $-0,3$ °С, а на глубине 3 м они подстилаются талым песком со средней температурой $0,66$ °С. Динамика геоморфологических изменений зависит от комплекса факторов: количество атмосферных осадков в летне-осенний период, переход к нулевым температурам и количество снега в осенне-зимний период.

Ключевые слова: бугры пучения, температура многолетнемерзлых пород, мерзлотные процессы, техногенные опасности.

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-1-82-91

Бугристая форма мезо- и микрорельефа является признаком мерзлотных процессов, она широко распространена в северно-таёжной части Западно-Сибирской равнины. Под бугром пучения, или мерзлотным бугром, понимается родовой термин для обозначения всех бугристых образований, генетически связанных с мерзлотными процессами (бугры пучения, булгуньяхи, пальзы и др.) [1]. Мерзлотные бугры, как правило, образуют группы, но встречаются и одиночные бугры. Форма бугров пучения чаще округлая, но может быть вытянутой. Мерзлотные бугры пучения, располагаясь среди комплексов олиготрофных болот, сформированы торфом; ядро бугра представлено суглинком и песком. Ядро летом не оттаивает и находится в мерзлом состоянии. [2].

В монографии Ю.К. Васильчука с соавторами [4], ссылаясь на результаты исследования Н.Б. Городкова в 1928 г. [3], отмечено, что «первоначальной причиной возникновения бугров на торфяниках, в долине Пура и Агана, служит неравномерность подтока вод и распределения снега». По мнению Н.Б. Городкова, «это вызывает местное накопление льда, которое способствует более глубокому промерзанию грунтов зимой на участках с маломощным снежным покровом. Связывая рост торфяников только с деятельным слоем, Б.Н. Городков считает, что слияние промерзающей массы с поверхностью основной мерзлоты прекращает нарастание бугра. С уменьшением мощности деятельного слоя к северу уменьшается и высота бугров. Таким образом, наибольшей высоты бугры достигают в зоне лесотундры, предельная их высота при этом не более 4–7 м. В этой же работе Б.Н. Городков указывает на зональность в распространении торфяных бугров, выделяя при этом четыре области, основным критерием этого разделения является изменение мерзлотных условий с севера на юг» [4].

Известно, что формированию многолетнемерзлых пород (ММП) способствовали палеоклиматические обстановки в прошлом [5]. Некоторые исследователи: Н.А. Шполянская [5], Н.С. Евсева [6], А.А. Земцов [7] занимались многолетним изучением динамики состояния бугров пучения, доказывая палеогенетичность их происхождения. Исследования Ю.К. Васильчука с соавторами [4] доказывают, что возраст бугров пучения может быть разным, при этом их рост и деградация величина изменчивая. Современный мониторинг за динамикой форм бугров пучения и ММП ведется на Надымском геокриологическом стационаре. Это смежная территория по отношению к району нашего исследования. Надымский стационар показывает деградацию интенсивности формирования ММП, но при этом значительный подъём поверхности бугров и торфяников (до 30–40 см) [8]. Необходимо ска-

зять, что в России мониторинг за сокращением площадей, занятых буграми пучения, и контуров самих бугров ведется на севере Западной Сибири с 1972 г. В результате мониторинга установлено, что достаточно большое количество участков с буграми на многолетнемерзлых торфяниках протаяло и деградировало частично или полностью за последние 100–200 лет, особенно те, которые расположены вблизи южной границы распространения ММП [4]. Таким образом, исследования генезиса и динамики мерзлотных и посткриогенных процессов вызывает большой интерес исследователей.

Влияние современных криогенных процессов бугров пучения на функционирование и произрастание подраста *Pinus sibirica* исследуют А.В. Хорощев с соавторами (2021). В своих исследованиях авторы [9] описывают динамику бугров пучения в зависимости от ландшафта местности и от климатических показателей от года к году. Они отмечают большую численность бугров пучения в плоскобугристых торфяниках, нежели в ландшафтных местностях с чередованием термокарстовых озер, сфагновых болот. «Степень изменчивости приростов кедра во времени контролируется, главным образом, состоянием мерзлоты, индикатором которого можно считать амплитуду микрорельефа. Динамичность мерзлотных условий может определяться латеральным тепловым влиянием соседних урочищ плоскобугристых торфяников и термокарстовых котловин. Реакция крупных и малых бугров на климатические флуктуации различна: современное резкое потепление с ростом летних и зимних осадков способствует увеличению приростов на малых буграх и снижению – на крупных. В теплые годы более продуктивны бугры с глубоким положением мерзлоты, менее продуктивны бугры с малой глубиной оттаивания» [9].

Ю.К. Васильчук указывает, что вблизи южной границы криолитозоны многолетнее промерзание чаще всего сопровождается пучением с образованием морфологически выраженных бугров, что обусловлено высокой степенью обводненности участков, на которых формируются массивы ММП [10]. Бугристое пучение главным образом распространяется в комплексах олиготрофных болот, причем большую часть ММП занимают центральные части таких комплексов. Пространственный анализ показывает, что наиболее заболоченной и заторфованной частью Западно-Сибирской равнины являются зоны с островным распространением ММП (3–20 % от занимаемой площади) и редкоостровным распространением ММП (1–3 % от занимаемой площади) (рис. 1).

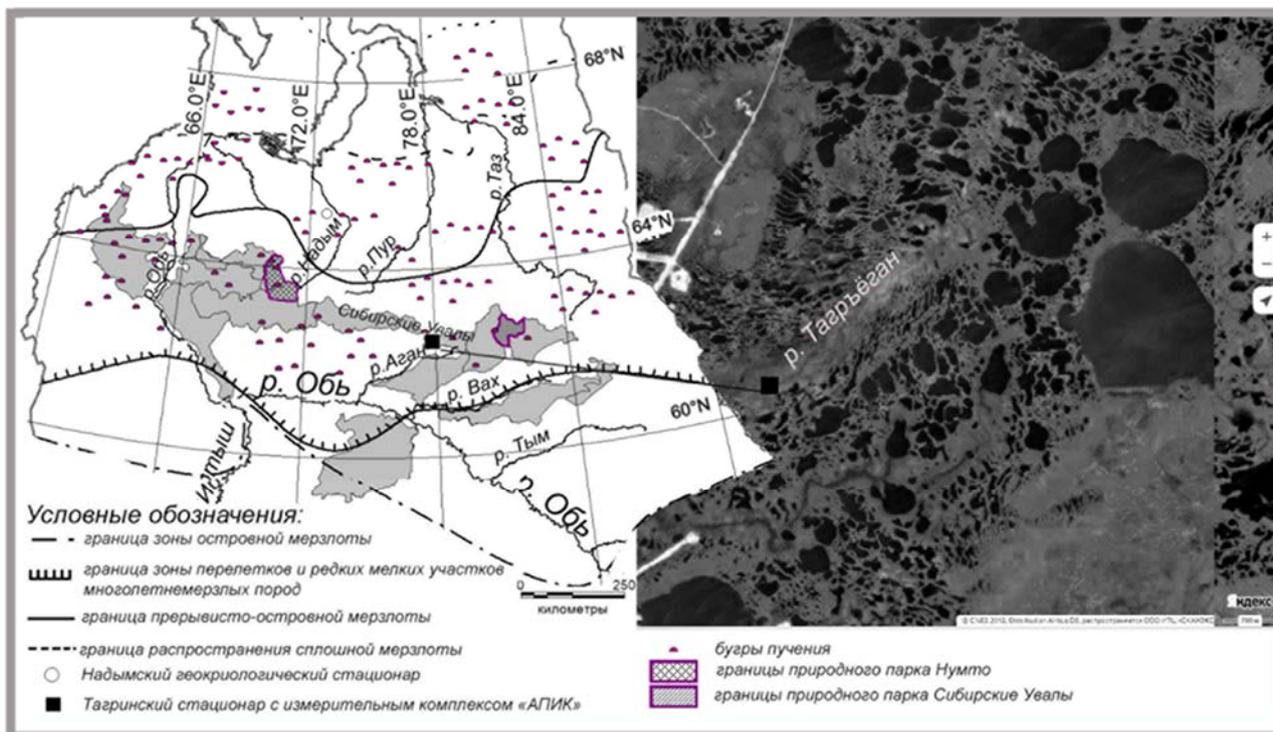


Рис. 1. Карта-схема границ распространения ММП Западно-Сибирской равнины по В.Т. Трофимову и др. [11] с территорией исследования

Исследования температурного режима бугра пучения проводились в зоне перелетков и редких мелких участков многолетнемерзлых пород. Важность анализа температурных данных в зоне ММП

связана с прогнозированием опасностей техногенного характера. В нашем исследовании сравниваются температурные данные, полученные с ранее установленных термоскважин в районе природного парка Сибирские Увалы с термометрическими скважинами, установленными для эколого-геокриологического мониторинга температур многолетнемерзлых и талых пород на территории природного парка Нумто (рис. 1) [12]. Накопленный объем информации входит в базу данных фоновых температурных показателей верхней части слоя годовых теплооборотов [13; 14]. На основе этой базы можно строить прогнозы изменений бугров пучения, также эти данные можно использовать в инженерно-геологических проектах при обустройстве территорий. Полученные данные сопоставлялись с данными температур Надымского геокриологического стационара.

Цель исследования заключается в изучении температурного режима мерзлотного бугра пучения в южной криолитозоне Западно-Сибири, в пределах центральной части Сибирских Увалов.

Объект и методы исследований

Температурные измерения мерзлотного бугра пучения были организованы на участке Тагринского месторождения, расположенного в пределах центральной части Сибирских Увалов. Термоскважина (автоматический измерительный комплекс температур) заложена на вершине мерзлотного бугра с абсолютной высотой 98 м, координаты: N 62°27'51,2" E 78°12'00,8". Территория относится к южной криолитозоне в пределах зоны перелетков и редких мелких участков многолетнемерзлых пород. Геоморфологическая особенность исследуемой территории и конкретного участка заключается в расчлененности комплекса Сибирских Увалов на западную и восточную части. Это низкое место представляло собой «пролив», разделяющий гряду Сибирских Увалов на две части в северном направлении (рис. 1). Рельеф краевых частей увалов представлен плакорными участками, имеет форму холмов, покрытых песчано-валунно-галечниковым материалом.

По данным атласа Ханты-Мансийского автономного округа-Югры [15], исследуемый район сложен голоценовыми и современными толщами многолетнемерзлых пород, преимущественно эпикриогенными, и относится к южной криолитозоне Западной Сибири. Район характеризуется термодинамически неустойчивым температурным режимом. Распространение многолетнемерзлых пород приурочено к болотным массивам, представляет озерково-грядово-мочажинные микроландшафты, мохово-лишайниковой растительности. Участки, сложенные минеральным грунтами и покрытые лесами, а также участки лесных и мохово-лесных болотных микроландшафтов, оказываются тальми. Увлажненность территории оказывает влияние на характер распределения растительности, определяет направленность многолетнего промерзания и является косвенным признаком наличия или отсутствия многолетнемерзлых пород. Возвышенные, относительно сухие участки болот часто являются мерзлыми. Низкие места болот сохраняются в талом состоянии.

Непосредственно термоскважина располагается в долине реки Тагрёган. Здесь развиты современные криогенные процессы в виде мерзлотных бугров пучения. Исследуемая часть Сибирских Увалов относится к заболоченной пойме и представлена комплексом олиготрофных болот грядово-озеркового типа. Русло реки плохо выражено, часто переходит в сплавину (участки с закрытым внутризалежным руслом). Абсолютные отметки поймы р. Тагрёган колеблются от 88 до 102 м, понижаясь с севера на юг. Исследуемая поверхность имеет абсолютные отметки 90 м Балтийской системы. Исток р. Тагрёган начинается из озера без названия с абсолютной высотой 108,8 м. Река протекает сквозь верховые болота и впадает в р. Мохтик-Яун. Для района в целом характерен плоский, слабо-расчлененный рельеф, при этом наклон поверхности имеет 30°. Широко развиты аккумулятивные формы рельефа и слабо – процессы денудации. В местах выхода на поверхность среднечетвертичных отложений наблюдается полого-увалистый рельеф. Особенно ярко этот тип рельефа выражен на левом берегу р. Тагрёган, где четко видны следы блуждания древних русел водотоков в виде серповидных, ориентированных с северо-востока на юго-запад песчаных холмов высотой 3,5–4,0 м, частично переработанных эоловыми процессами. Периодическое, но длительное затопление паводковыми водами, слабое испарение приводит к заболачиванию пойменных поверхностей, здесь сформированы эвтрофные торфяники мощностью от 0,4 до 3,4 м. В верховьях р. Тагрёган и его притоков мощности торфа составляют до 5,2 м.

Измерения температурного режима на исследуемом бугре пучения были проведены в автоматическом режиме с помощью атмосферно-почвенного измерительного комплекса «АПИК», предназначенного для мобильных и стационарных долговременных автоматических измерений параметров

атмосферы, почвы и водных объектов. «АПИК» разработан в Институте мониторинга климатических и экологических систем Сибирского отделения Российской академии наук (ИМКЭС СО РАН г. Томск). Технические характеристики измерительного комплекса: диапазон измерения температуры $-50...+50$ °С; погрешность калибровки датчиков измерения температуры – не более $\pm 0,1$ °С. Датчик влажности грунта (в данном случае торфа) показывает результаты влажности относительно 40 %. Торф впитывает влагу более 100 %, умножая графические данные двадцатого века на 100, получаем относительный процент влажности. Следовательно, полученные данные сравниваются относительно динамики во времени, с учетом понимания проникновения отрицательных температур и перехода воды в состояние льда, как это можно наблюдать на глубине 0,1 м (рис. 3).

Система автоматического измерительного комплекса температур в пределах бугров пучения производит замеры каждые 3 часа по следующим параметрам: температура и влажность воздуха на высоте 2 м; температура грунта на разных глубинах (0,1; 0,2 ... 1,6 м с интервалом 0,2 м); влажность грунта на глубине 0,1, 0,5, 1,0 м. Дополнительно на соседнем бугре в апреле 2022 года пробурена скважина глубиной 3 м и размещена термокоса. Полученные данные температур и влажности обработаны в MS Excel.

Результаты и их обсуждение

Торфяная залежь исследуемого мерзлотного бугра в долине р. Тагрёган состоит из двух закономерно расположенных и взаимосвязанных генетических типов – верхового (олиготрофного) и переходного (мезотрофного). Мезотрофный торф образует нижнюю часть залежи. Олиготрофный торф по цвету от светло- до темно-коричневого, по степени разложения слабо- и среднеразложившийся, по ботаническому составу сфагновый. Мезотрофный торф темно-коричневого цвета, слабо- и средней степени разложения, сложен остатками осок и пушицы. Лед с глубины 60 см встречается в виде кристаллов, размерами от едва различимого глазу до скоплений в виде линз мощностью 5–10 мм. Торф имеет характерный сероводородный запах и подстилается темно-серым мелкозернистым песком.

Результаты измерения температур мерзлотного бугра показывают в ядре бугра годовые отрицательные температуры (рис. 2). В деятельном слое, мощностью 0,3–0,6 м, значения температур динамичны. Оттаивание и сезонное промерзание соподчиняются атмосферным температурам и осадкам. Температурные данные мерзлотного бугра пучения постоянные, в среднем, отрицательные значения температур до глубины 0,4 м. Деятельный слой на глубине от 0 до 0,4 м оттаивает в мае и весь летний период до октября держит положительные температуры. Первые положительные значения температур на поверхности бугра были зафиксированы 28 апреля 2022 года со значением 2,46 °С, при среднесуточной температуре воздуха 3,61 °С. Момент перехода среднесуточной температуры воздуха ниже нулевых значений в 2021 г. произошел 25.10., в 2022 г. – 22.10. Движение градиента отрицательных температур с глубиной произошло к ноябрю, когда среднемесячная температура воздуха составила $-15,6$ °С. Полное смыкание деятельного слоя с мерзлотой зафиксировано в термоскважине долины р. Тагрёган 01 ноября 2022 года при среднесуточной температуре $-3,6$ °С. В зимний период 2021–2022 гг. соединение деятельного слоя с мерзлотой произошло 02 января 2022 года при среднесуточной температуре воздуха $-14,98$ °С.

Годовой режим температур исследуемой термоскважины показывает действующие криогенные процессы (рис. 2). Эти данные отличаются от температурных данных, полученных в смежных термоскважинах (природных парков Нумто и Сибирские Увалы (рис. 1)), расположенных также в зоне перелетков и редких мелких участков многолетнемерзлых пород. Ранее, на территории природного парка Сибирских Увалов, в установленных термоскважинах были зафиксированы положительные среднегодовые температуры 2,39 °С для почв плакорных участков, для гидроморфных почв среднегодовые значения показывают околонулевые температуры с положительным значением 0,37 °С [16]. Температурный режим почв плакорных участков на 2 градуса выше температур мерзлотного бугра пучения. Среднегодовые температуры из термоскважин в природном парке Нумто составили $-0,5$ – $-0,1$ °С [12]; эти показатели на 0,5 °С выше температур, зафиксированных в 70–80 гг. XX века. Глубина сезонно-талого слоя в мерзлых торфяниках уменьшилась на 50 см. Данные факты свидетельствуют о потеплении мерзлотных пород в границах распространения зоны перелетков и редких мелких участков многолетнемерзлых пород.

Бугры пучения являются неустойчивыми и весьма динамичными геоморфологическими формами, которые появляются интенсивно, несмотря на начавшееся потепление в 1970-х годах [17]. Вы-

пучивание торфяного ядра из плоскобугристого болота связано с высокой влажностью торфа, увеличением атмосферных осадков, низкими температурами воздуха и аномально маломощным снежным покровом [8] в октябре-ноябре. Таким образом, даже в случае потепления климата пучение будет оставаться активным процессом, создавая талые, обводненные участки, которые при отрицательных температурах поддерживают мерзлотное ядро бугра.

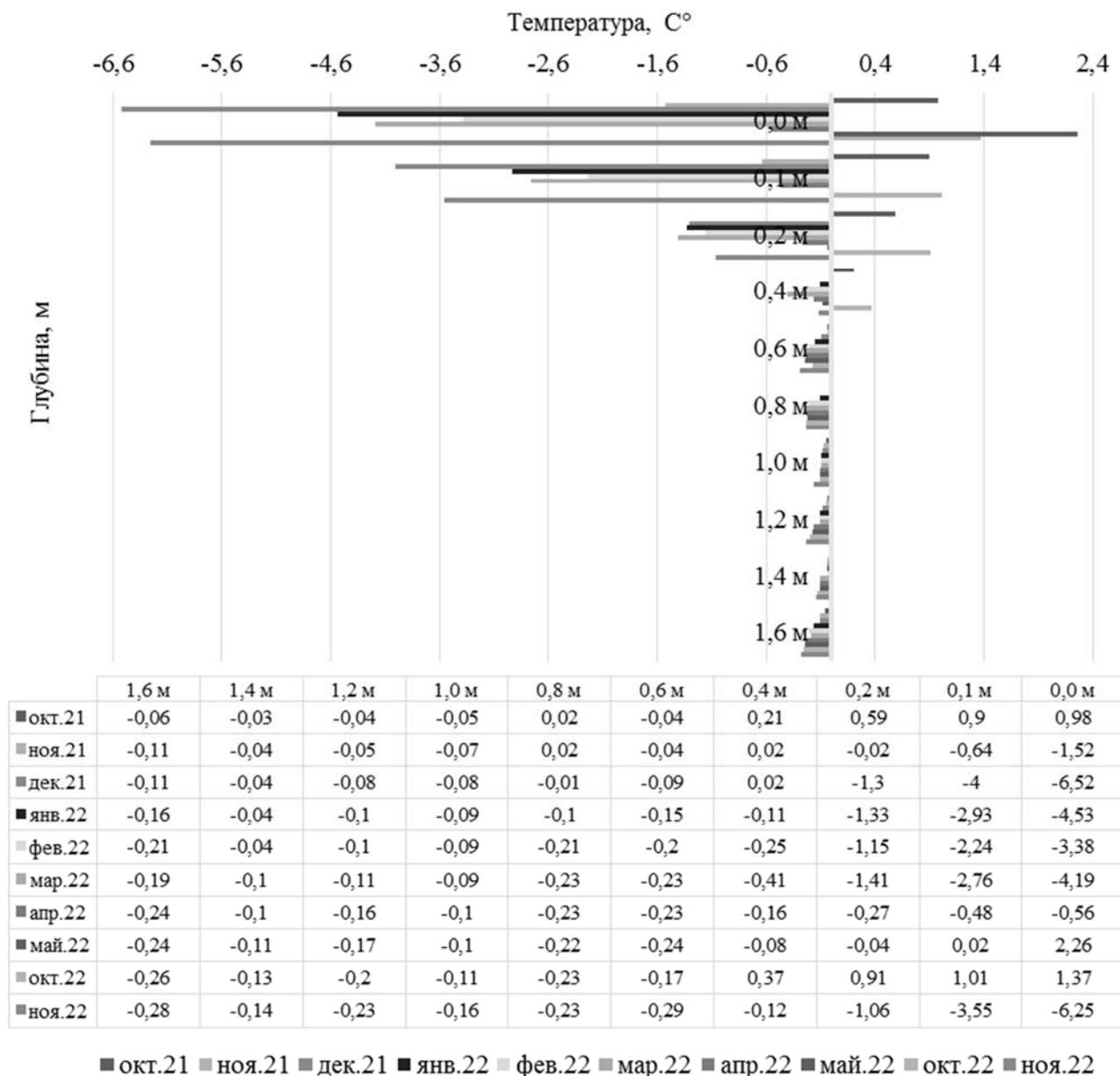


Рис. 2. Значения температур по глубинам в пределах мерзлотного бугра пучения

Связь температур и влажности торфа по глубинам в пределах мерзлотного бугра пучения представлена на рис. 3.

Высокое содержание воды фиксируется в деятельном слое на глубинах ниже 0,3 м, в зависимости от сезона от 200 до 400 %. Температуры, начиная с глубины 0,5 м, весь год имеют отрицательные значения, являясь базовым условием для сохранения мерзлотного ядра.

Температурные данные, измеренные в мерзлотном бугре пучения долины р. Тагрёган с ранее проанализированными данными из термоскважин, показали ландшафтную приуроченность мерзлотных бугров пучения к центральной части олиготрофных болот. Бугры пучения формируются благодаря гидроморфным условиям, ядро бугра формируется в случае продвижения воды к фронту про-

мерзания, что говорит о мерзлом бугре как об открытой системе для факторов, оказывающих влияние на образования данных форм рельефа.

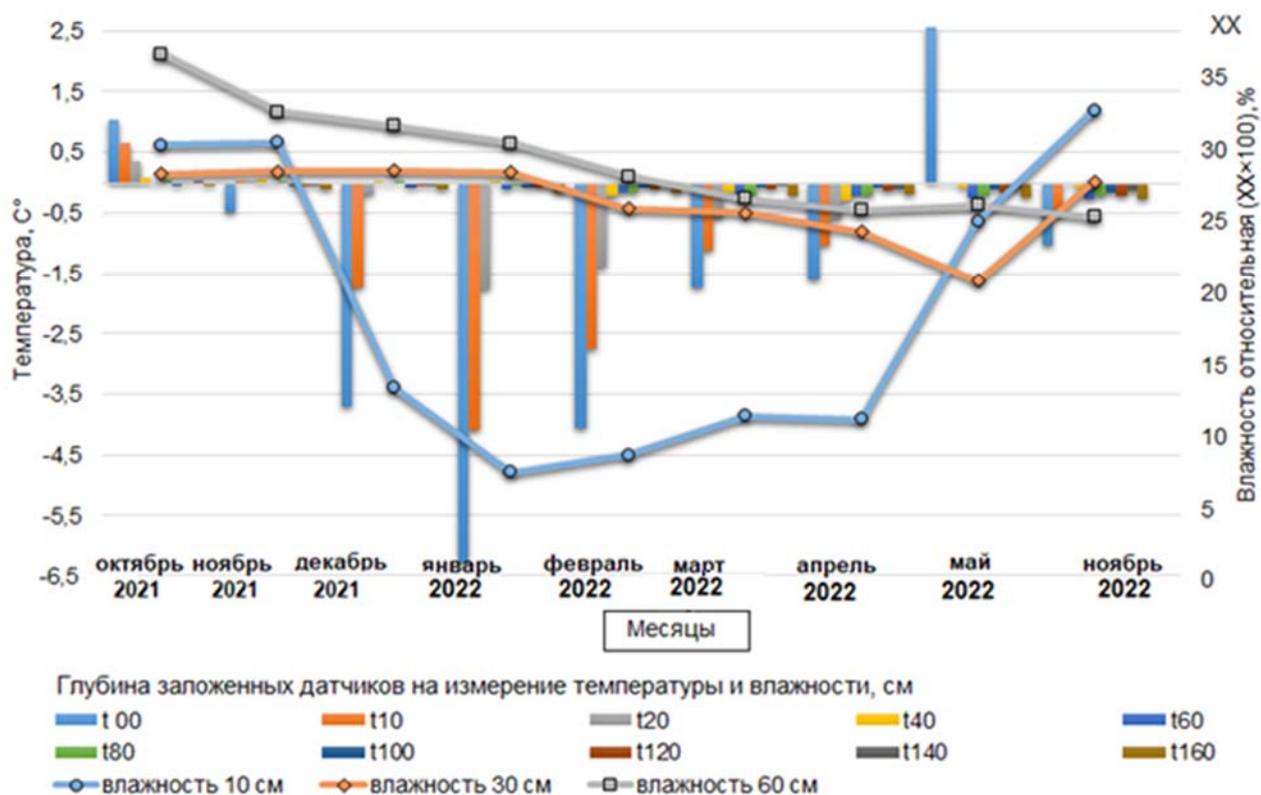


Рис. 3. Совмещенный график данных температур и относительной влажности торфа по глубинам в пределах мерзлотного бугра пучения

Район исследования относится к южной криолитозоне, где среднегодовая температура многолетнемерзлых пород близка к $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; по мнению Д.А. Тимофеева и Е.А. Втюрина, «даже незначительные изменения климата небольшой продолжительности могут быть существенны для роста и распада мерзлотных форм рельефа, и поэтому бугры пучения могут быть хорошими геоморфологическими индикаторами изменения климата» [2].

Для заболоченных долин северо-таёжной зоны характерны острова многолетнемерзлых пород в виде торфяных бугров пучения. Высота бугров на участке исследования изменяется от 0,5 до 1,0 м, диаметр 1,5–2,0 м, и они образуют отдельные блоки 30x30 м или имеют вытянутую форму. Средняя мощность торфа составляет 2,3 м, а мощность мерзлого торфа – 2,0 м. Песок, подстилающий торф, рыхлый, водообильный, обладает плавунными свойствами. Глубина сезонного протаивания на буграх составляет 0,5–0,6 м. Для участка наблюдений характерны температуры мерзлых пород от 0 до $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. В талых грунтах температура от 0 до $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Полученные нами данные коррелируют с наблюдениями А.А. Губарькова с соавторами (2022), указывая на то, что «площадь мерзлых торфяников уменьшается и замещается талыми породами». При высоте рельефа менее 0,85–1,0 м над болотами или озерами происходит отрыв кровли многолетнемерзлых пород и формирование несмыкающихся многолетнемерзлых пород [18].

Исследуемый участок мерзлых торфяников с буграми пучения относится к Тагринскому месторождению добычи нефти и газа. Бугры пучения являются нестабильными, динамичными формами рельефа, негативно влияющие на инженерные конструкции нефтегазодобывающего комплекса. Объекты инфраструктуры находятся в нестабильных, измененных условиях. Естественно, что для инженерных сооружений, построенных в 70–80 гг. прошлого века, бугры пучения являются опасными природными объектами, поскольку при их проектировании в расчет принимались данные, отражающие суровые климатические условия тех лет [17]. Поэтому наблюдение, мониторинг и прогнозирование температурного режима и динамики морфологических изменений в буграх пучения является неотъемлемой частью

проектирования обустройства нефтяных месторождений. Н.В. Мисюркеева и др. (2021) указывают, что «увеличившаяся за последние десятилетия техногенная нагрузка (бурение скважин, строительство объектов инфраструктуры месторождений) в северных территориях Западной Сибири, а также глобальное потепление приводят к изменению естественного температурного режима многолетнемерзлых пород (ММП), что, несомненно, отражается на строении мерзлой толщи» [19].

Основными факторами, определяющими формирование, сохранение, распространение и мощность многолетнемерзлых пород на участке исследования, являются: отрицательные температуры ($-3,0$ °C); маломощный снежный покров (средняя из наибольших декадных высот снега на открытых участках составляет 50 см, а непосредственно на буграх 10 см (01.04.2022); торфяной состав и переувлажненность многолетнемерзлых пород, с разностью теплопроводности в деятельном слое и непосредственно в ядре бугра пучения. Торф в талом состоянии имеет очень низкую теплопроводность, большие потери тепла идут на испарение влаги. По условиям питания болота относятся к олиготрофному типу, лишь по окраинам, на границе с суходольными массивами и вблизи водотоков развиваются болота по мезотрофному и частично евтрофному типу питания. Наиболее перспективными направлениями дальнейших исследований можно считать продолжение долговременных рядов наблюдений и постановку новых экспериментов на стационарах, а также расширение сети мониторинга для равномерного охвата районов с различными ландшафтными условиями [20]. Положено начало формированию базы данных по буграм пучения Сибирских Увалов, которая в дальнейшем будет использована для моделирования проявления рельефообразующих криогенных процессов и их влияния на объекты нефтегазовой промышленности.

Выводы

Полученные в ходе проведенного исследования данные показывают следующее:

1. Южная криолитозона в пределах границ зоны перелетков и редких мелких участков многолетнемерзлых пород центральной части Сибирских Увалов (Тагринское месторождение) находится в динамичном режиме изменений криогенных процессов. Температурный режим бугров пучения здесь зависит от комплекса факторов: количество атмосферных осадков в летне-осенний период, переход к нулевым температурам и количество снега в осенне-зимний период.

2. Исследованный участок многолетнемерзлых пород с буграми пучения приурочен к безлесным, открытым, переувлажненным территориям, представляющим собой озерково-грядово-мочажинные олиготрофные болота с евтрофными переходами к плакорным участкам.

3. Многолетнемерзлые породы являются пластично-мерзлыми с максимально низкой температурой $-0,3$ °C на глубине 1,6 м, подстилаемые талым песком с температурой $0,66$ °C на глубине 3 м.

4. Максимальные отрицательные температуры относятся к деятельному слою 0,3–0,6 м, где торф задерживает максимальное количество влаги.

5. Основные особенности годового температурного режима мерзлотного бугра пучения выражаются в нестабильном состоянии мерзлых толщ, способных оттаивать и вновь образовывать лёд за счет незначительных нарушений условий теплообмена, вызванных короткопериодными колебаниями климата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Котляков В.М., Комарова А.И. Толковый двуязычный словарь по географии. М.: АНО «Диалог культур», 2012. 768 с.
2. Тимофеев Д.А., Втюрина Е.А. Терминология перигляциальной геоморфологии. М.: Наука, 1983. 233 с.
3. Городков Б.Н. Крупнобугристые торфяники и их географическое распространение // Природа. 1928. Т. 17, № 6. С. 599–601.
4. Васильчук Ю.К., Васильчук А.К., Буданцева Н.А., Чижова Ю.Н. Выпуклые бугры пучения многолетнемерзлых торфяных массивов / Под редакцией действительного члена РАЕН, профессора Ю.К. Васильчука. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2009. 571 с.
5. Шполянская Н.А. Глобальные изменения климата и эволюция криолитотозоны. М.: Географический факультет МГУ, 2008. 132 с.
6. Евсеева Н.С. Современный морфолитогенез юго-востока Западно-Сибирской равнины. Томск: Изд-во НТЛ, 2009. 484 с.
7. Земцов А.А. Геоморфология Западно-Сибирской равнины (Северная и центральная части). Томск: ТГУ, 1976. 344 с.

8. Пономарева О.Е., Гравис А.Г., Бердников Н.М. Современная динамика бугров пучения и плоскобугристых торфяников в северной тайге Западной Сибири (на примере Надымского стационара) // Криосфера Земли. 2012. Т. XVI, № 4. С. 21–30.
9. Хорошев А.В., Воловинский И.В., Бочкарев Ю.Н. Ландшафтные и климатические факторы динамики приростов кедра в Северной тайге Западной Сибири // Климатические изменения и сезонная динамика ландшафтов: Материалы Всероссийской научно-практической конференции (Екатеринбург, 22–24 апреля, 2021). Екатеринбург, 2021. С. 21–31.
10. Васильчук Ю.К. Современное положение Южной границы зоны многолетнемерзлых пород Западно-сибирской низменности // Криосфера Земли. 2013. Т. 17, № 1. С. 17–27.
11. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты / В.Т. Трофимов, Ю.Б. Баду, Ю.К. Васильчук, П.И. Кашперюк, В.Г. Кудряшов, Н.Г. Фирсов. М.: Наука, 1987. 221 с.
12. Губарьков А.А., Московченко Д.В., Гравис А.Г., Акчулпанов А.М., Мадеев М.А. Геокриологические условия природного парка «Нумто» // Современное состояние и перспектива развития сети особо охраняемых природных территорий в промышленно развитых регионах: Материалы II Всероссийской конференции, посвященной 25-летию природного парка «Нумто». Екатеринбург: Ассорти, 2022. С. 151–156.
13. Коркин С.Е., Коркина Е.А. Анализ температурного мониторинга болотных ландшафтов Аганско-Пуровского междуречья и Вахско-Аганской подпровинции // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: Материалы Шестого Международного полевого симпозиума, Ханты-Мансийск, 28 июня – 08 июля 2021 года. Томск: Издательство Томского университета, 2021. С. 27–29.
14. Korkin S.E. Temperature Monitoring in Geological Wells of the Upper Layers of Quaternary Deposits of the Central Part of the West Siberian Plain // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Science and Technology Conference "EarthScience", Russky Island, 10–12 декабря 2019 года. Vol. 459, 3, Chapter 2. Russky Island: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 032012.
15. Тумель Н.В. Распространение и температура мерзлых и талых пород // Атлас Ханты-Мансийского автономного округа-Югры. Том II Природа и экология. Ханты-Мансийск-Москва, 2004. С. 51.
16. Коркин С.Е., Кайль Е.К. Температурный мониторинг в пределах территорий «Природный парк «Сибирские Увалы» и долины реки Большой Еган // Современное состояние и перспектива развития сети особо охраняемых природных территорий в промышленно развитых регионах: Материалы II Всероссийской конференции, посвященной 25-летию природного парка «Нумто». Екатеринбург: Ассорти, 2022. С. 60–64.
17. Кизяков А.И. Лейбман М.О. Рельефообразующие криогенные процессы: обзор литературы за 2010–2015 годы // Криосфера Земли. 2016. Т. 20. № 4. С. 45–58.
18. Губарьков А.А., Московченко Д.В., Бабкин Е.М., Пожитков Р.Ю., Иваков Г.С. Эколого-геокриологический мониторинг // Современное состояние и перспектива развития сети особо охраняемых природных территорий в промышленно развитых регионах: Материалы II Всероссийской конференции, посвященной 25-летию природного парка «Нумто». Екатеринбург: Ассорти, 2022. С. 157–162.
19. Мисюркеева Н.В., Буддо И.В., Шелохов И.А., Смирнов А.С., Агафонов Ю.А. Внутреннее строение многолетнемерзлых пород севера Западной Сибири по данным современных геофизических исследований // Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике. Сборник трудов конференции (Салехард, 03–12 ноября 2021). Салехард, 2021. С. 296–299.
20. Щербакова А.А., Машкова А.М., Пономарева О.Е., Щербакова К.О., Овезов Б.А. Создание и визуализация базы данных по результатам мониторинга Надымского геокриологического стационара // Деловой журнал Neftegaz.RU. 2022. № 3(123). С. 90–92.

Поступила в редакцию 24.11.2022

Коркин Сергей Евгеньевич, кандидат географических наук, доцент, главный научный сотрудник научно-исследовательской лаборатории*,

старший научный сотрудник лаборатории филогенетики и биохронологии**

*ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет»

628605, Нижневартовск, ул. Ленина, 56

**Институт экологии растений и животных УрО РАН

620144, Екатеринбург, ул. 8 Марта, 202

E-mail: egf_nv@mail.ru

Коркина Елена Александровна, кандидат географических наук, доцент, заведующий кафедрой географии

E-mail: lena_d_nv@mail.ru

Таран Игорь Мстиславович, аспирант

E-mail: taran.igor.m@gmail.com

ФГБОУ ВО «Нижевартовский государственный университет»

628605, Нижневартовск, ул. Ленина, д. 56

S.E. Korkin, E.A. Korkina, I.M. Taran

DYNAMICS OF PERMAFROST HEAVING HILLS IN THE SOUTHERN PERMAFROST ZONE OF WESTERN SIBERIA

DOI: 10.35634/2412-9518-2023-33-1-82-91

The article presents an analysis of the annual dynamics of the temperature regime of the permafrost heaving mound in the southern permafrost zone of the West Siberian Plain. The study area belongs to the Tagrinskoye oil and gas field. The use in the study of the data of the automatic measuring system of temperatures within the heaving mounds made it possible to record the following parameters in time: temperature and moisture of the air at an altitude of 2 m, temperature and moisture of the soil at different depths. Modern automatic systems that record temperature data in permafrost make it possible to monitor changes in permafrost processes and predict undesirable technogenic hazards. The temperature regime of the permafrost heaving mounds is differentiated into an active layer with the dynamics of positive and negative temperatures and into the core of the heaving mounds, where long-term negative temperatures remain. Temperature study in permafrost is an important engineering and geological data that allows assessing the plasticity of permafrost in heaving mounds. It was determined that the active layer at a depth of 0,3–0,6 m has the highest dynamics of thawing and freezing, which refers to seasonal thawing. Permafrost rocks are plastic-frozen rocks, since at a depth of 1,6 m the temperature of permafrost increased to $-0,3$ °C and at a depth of 3 m it is underlain by melted sand with an average temperature of $0,66$ °C. The dynamics of geomorphological changes depends on a complex of factors: the amount of precipitation in the summer-autumn period, the transition to zero temperatures and the amount of snow in the autumn-winter period.

Keywords: permafrost heaving mounds, soil temperature, dynamics, cryogenic processes.

REFERENCES

1. Kotlyakov V.M., Komarova A.I. *Tolkovyy dvuyazychnyy slovar' po geografii* [Explanatory bilingual dictionary of geography], Moscow: ANO "Dialogue of Cultures" Publ., 2012, 768 p. (in Russ.).
2. Timofeev D.A., Vtyurina E.A. *Terminologiya periglyatsial'noy geomorfologii* [Terminology of periglacial geomorphology], Moscow: Nauka Publ., 1983, 233 p. (in Russ.).
3. Gorodkov B.N. *Krupnobugristye torfyaniki i ikh geograficheskoe rasprostranenie* [Large hilly peatlands and their geographical distribution], in *Priroda*, 1928, vol. 17, no. 6, pp. 599-601 (in Russ.).
4. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk A.K., Budantseva N.A., Chizhova Yu.N. *Vypuklye bugry pucheniya mnogoletnemerzlykh torfyanykh massivov* [Convex heaving mounds of permafrost peat massifs], Vasilchuk Yu.K. (ed), Moscow: Mosk. Gos. Univ., 2009, 571 p. (in Russ.).
5. Shpolyanskaya N.A. *Global'nye izmeneniya klimata i evolyutsiya kriolotitozony* [Global climate change and the evolution of the cryolithozone], Moscow: Fakult. Geografii Mosk. Gos. Univ., 2008, 132 p. (in Russ.).
6. Evseeva N.S. *Sovremennyy morfologenez yugo-vostoka Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Modern morpholithogenesis of the southeast of the West Siberian Plain], Tomsk: NTL Publ., 2009, 484 p. (in Russ.).
7. Zemtsov A.A. *Geomorfologiya Zapadno-Sibirskoy ravniny (Severnaya i tsentral'naya chasti)* [Geomorphology of the West Siberian Plain (Northern and Central Parts)], Tomsk: Tomsk. Gos. Univ., 1976, 344 p. (in Russ.).
8. Ponomareva O.E., Gravis A.G., Berdnikov N.M. [Contemporary dynamics of frost mounds and flat peatlands in north taiga of West Siberia (on the example of Nadym site)], in *Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere]*, 2012, vol. XVI, no. 4, p. 21-30 (in Russ.).
9. Khoroshev A.V., Volovinsky I.V., Bochkarev Yu.N. [Landscape and climatic factors of the dynamics of cedar growth in the northern taiga of Western Siberia], in *Mater. Vseross. nauch.-prakt. konf. "Klimaticheskie izmeneniya i sezonnaya dinamika landshaftov"* (Yekaterinburg, April 22–24, 2021). Yekaterinburg, 2021, pp. 21-31 (in Russ.).
10. Vasilchuk Yu.K. [Modern southern limit of permafrost in Western Siberia Lowland], in *Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere]*, 2013, vol. 17, no. 1, pp. 17-27 (in Russ.).
11. Trofimov V.T., Badu Yu.B., Vasil'chuk Yu.K., Kashperuk P.I., Kudryashov V.G., Firsov N.G. *Geokriologicheskoe rayonirovanie Zapadno-Sibirskoy plity* [Geocryological zoning of the West Siberian plate], Moscow: Nauka Publ., 1987, 221 p. (in Russ.).
12. Gubar'kov A.A., Moskovchenko D.V., Gravis A.G., Akchulpanov A.M., Madeev M.A. *Geokriologicheskie usloviya prirodnogo parka «Numto»* [Geocryological conditions of the Numto Nature Park], in *Mater. II Vseross. konf. "Sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya seti osobo okhranyaemykh prirodnikh territoriy v promyshlennno razvitykh regionakh"*, Ekaterinburg: Assorti Publ., 2022, pp. 151-156 (in Russ.).
13. Korkin S.E., Korkina E.A. [Analysis of temperature monitoring of marsh landscapes of Agan-Purov interfluvium and Wahsko-Agan sub-province], in *Mater. Shestogo Mezhd. polevogo simpoziuma "Zapadno-Sibirskie torfyaniki i tsikl ugljeroda: proshloe i nastoyashchee"* (Khanty-Mansiysk, June 28 - July 08, 2021), Tomsk: Tomsk. Univ., 2021, pp. 27-29 (in Russ.).

14. Korkin S.E. Temperature Monitoring in Geological Wells of the Upper Layers of Quaternary Deposits of the Central Part of the West Siberian Plain, in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : International Science and Technology Conference "EarthScience", Russky Island*, 2019, vol. 459, 3, Chapter 2. Russian Island: Institute of Physics Publishing, 2020. P. 032012. (in Russ.).
15. Tumel N.V. *Rasprostranenie i temperatura merzlykh i talykh porod* [Distribution and temperature of frozen and thawed rocks], in *Atlas Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga-Yugry. Tom II Priroda i ekologiya*. Khanty-Mansiysk; Moscow, 2004, p. 51 (in Russ.).
16. Korkin S.E., Kayl' E.K. *Temperaturnyy monitoring v predelakh territoriy «Prirodnyy park «Sibirskie Uvaly» i doliny reki Bol'shoy Egan* [Temperature monitoring within the territories of the "Sibirskie Uvaly Nature Park" and the valley of the Bolshoi Egan River] in *Mater. II Vseross. konf. "Sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya seti osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy v promyshlenno razvitykh regionakh"*, Ekaterinburg: Assorti Publ., 2022, pp. 60-64 (in Russ.).
17. Kizyakov A.I., Leibman M.O. [Cryogenic relief-formation processes: a review of 2010-2015 publications], *Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere]*, 2016, vol. 20, no. 4, pp. 45-58 (in Russ.).
18. Gubar'kov A.A., Moskovchenko D.V., Babkin E.M., Pozhitkov R.Yu., Ivakov G.S. *Ekologo-geokriologicheskyy monitoring* [Ecological and geocryological monitoring], in *Mater. II Vseross. konf. "Sovremennoe sostoyanie i perspektiva razvitiya seti osobo okhranyaemykh prirodnykh territoriy v promyshlenno razvitykh regionakh"*, Ekaterinburg: Assorti Publ., 2022, pp. 157-162 (in Russ.).
19. Misurkeeva N.V., Buddo I.V., Shelokhov I.A., Smirnov A.S., Agafonov Yu.A. [Permafrost rocks structure within the north of Western Siberia from modern geophysical studies], in *Sborn. tr. konf. "Sovremennye issledovaniya transformatsii kriosfery i voprosy geotekhnicheskoy bezopasnosti sooruzheniy v Arktike"*, (Salekhard, November 03–12, 2021). Salekhard, 2021, pp. 296-299 (in Russ.).
20. Shcherbakova A.A., Mashkova A.M., Ponomareva O.E., Shcherbakova K.O., Ovezov B.A. *Sozdanie i vizualizatsiya bazy dannykh po rezul'tatam monitoringa Nadym'skogo geokriologicheskogo stantsionara* [Creation and visualization of a database based on the results of monitoring of the Nadym geocryological station], in *Delovoy zhurnal Neftegaz.RU*, 2022, no. 3(123), pp. 90-92 (in Russ.).

Received 24.11.2022

Korkin S.E., Candidate of Geography, Associate Professor, Chief Researcher of the Research Laboratory*, Senior Researcher of the Laboratory of Phylogenetics and Biochronology**

*Nizhnevartovsk State University

Lenina st., 56, Nizhnevartovsk, Russia, 628605

**Institute of Plant and Animal Ecology, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

8 Marta st., 202, Yekaterinburg, Russia, 620144

E-mail: egf_nv@mail.ru

Korkina E.A., Candidate of Geography, Associate Professor, Head of the Department of Geography

E-mail: lena_d_nv@mail.ru

Taran I.M., graduate student

E-mail: taran.igor.m@gmail.com

Nizhnevartovsk State University

Lenina st., 56, Nizhnevartovsk, Russia, 628605