

УДК 624.131

## РАЙОНИРОВАНИЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОКРИОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ТРАССЫ ТРУБОПРОВОДА НА ВОСТОЧНО-МЕССОЯХСКОМ НЕФТЕГАЗОКОНДЕНСАТНОМ МЕСТОРОЖДЕНИИ

Строкова Людмила Александровна<sup>1</sup>,  
sla@tpu.ru

Галеева Эльмира Ильдаровна<sup>1</sup>,  
holikaholika55@mail.ru

Леонова Анна Владимировна<sup>1</sup>,  
avleonova@tpu.ru

<sup>1</sup> Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
Россия, 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30.

**Актуальность** исследования обусловлена необходимостью оценки существующих инженерных геологических условий в отношении предполагаемого использования участка Восточно-Мессояхского месторождения Тазовского района Ямало-Ненецкого автономного округа для строительства трубопровода.

**Целью** работы является оценка геокриологических процессов и построение карты инженерно-геокриологического районирования территории трассы.

**Объектами** исследования являются компоненты геологической среды, рассматриваемые при проектировании участка освоения Восточно-Мессояхского месторождения

**Методы.** Составление карты инженерно-геокриологического районирования выполнено на основе анализа данных региональных геологических исследований, локальных инженерно-геологических изысканий по трассе. При составлении карты инженерно-геокриологического районирования учитывались: состав, температура грунтов, показатели физико-механических свойств грунтов, характер распространения многолетнемерзлых пород, гидрогеологические условия, наличие и степень пораженности территории геологическими и криогенными процессами.

**Результаты.** Недостаточная изученность, плохая проходимость, значительная площадь территории потребовали использовать метод ключевых участков. Были выбраны три типовых участка, в их пределах установлены закономерности состава, состояния и свойств грунтов и грунтовых вод для последующей экстраполяции на всю изучаемую площадь. При районировании использована цепочка из шести таксонов: регион–область–район–подрайон–участок–подучасток. Регион выделен по структурно-тектоническому признаку, область – по характеру рельефа, сложившемуся в новейший период. Районы выделены по территории развития одинаковых геолого-генетических комплексов отложений. Выделено 3 района, 1 подрайон, 8 участков и 12 подучастков. Участки выделены по литологическому составу верхней части разреза. Подучастки выделены по степени льдистости грунтов. Дана характеристика выделенных таксонов с указанием развитых на территории геологических процессов.

### Ключевые слова:

Грунт, многолетнемерзлые грунты, опасные криогенные процессы, инженерно-геокриологическое картографирование, инженерно-геокриологическое районирование, инженерно-геологические условия.

### Введение

Инженерно-геологические условия Западно-Сибирской плиты освещены в работах В.Т. Трофимова, Ю.Б. Бадю, Ю.К. Васильчук, Г.А. Голодковской, Д.С. Дроздова и других авторов [1–4]. В них описаны основные инженерно-геологические и геокриологические закономерности региона. Методике геокриологического районирования территорий строительства трубопроводов посвящены работы С.Н. Титкова, Ф.М. Ривкина и др. [5, 6], в которых показана решающая роль в формировании инженерно-геологических условий принадлежит горным породам, предопределяющим характер рельефа, развитие экзогенных геологических процессов, обводненность территории. В настоящей работе рассматриваются инженерно-геологические условия территории трассы напорного нефтепровода от Восточно-Мессояхского месторождения до Пяяхинского месторождения. Протяженность трубопровода составляет 95,7 км. Площадь работ расположена в зоне распространения

многолетнемерзлых грунтов, что определяет устойчивость геологической среды к природным и техногенным процессам.

Целью работы является оценка геокриологических процессов и построение карты инженерно-геокриологического районирования территории трассы.

### Методы исследования и эксперимент

Исследование включало анализ литературных и фондовых материалов, полученных при инженерно-геологических изысканиях, выполненных в 2013 и 2017 гг. при участии Э.И. Галеевой, инженерно-геологическое типологическое картографирование, проведенное авторами в 2019 г. в отделении геологии ТПУ.

### Характеристика природных условий территории месторождения

Восточно-Мессояхское месторождение, расположенное в Тазовском районе Ямало-Ненецкого автономного округа, было открыто в 1967 г. [7]. В гео-

морфологическом отношении в пределах трассы встречены следующие равнины.

1. Области преобладания процессов транспортировки вещества приурочены к пойменным террасам и руслам рек (аН), сложенных песками, супесями, суглинками, с редкими включениями гравия, гальки и валунов (до 8 м).
2. Аккумулятивная террасированная аллювиальная равнина представлена поверхностями первой ( $a^1\Pi_4-N$ ) и второй ( $a^2\Pi_3$ ) аллювиальных надпойменных террас, сложенных переслаиванием суглинков, супесей, песков с незначительной примесью галечников (до 10–14 м).
3. Аккумулятивные озерная, озерно-ледниковая равнины, сложенные суглинисто-песчаными отложениями, ленточными глинами (до 20 м), т. н. Парисентовский гляциолимний ( $Ig\Pi_{pr}$ ).
4. Холмисто-западинная денудационно-аккумулятивная равнина, распространенная на поверхности гляциофлювиальных отложений карского оледенения ( $g\Pi_6$ ). Морена сложена валунными суглинками, песками, флювиогляциальными песками и песчано-гравийно-галечными отложениями (до 50 м).

Биогенные образования представлены на протяжении всей трассы локально в виде торфа сильнольдистого [8].

Одним из главных факторов, определяющих инженерно-геологические условия территории, является сплошное распространение многолетнемерзлых грунтов сливающегося типа. Среднегодовая температура составляет от минус 5 до минус 7 °С в междуречьях и от минус 3 до минус 5 °С в речных долинах. Согласно вертикальному электрическому зондированию, 300 м – это максимальная мощность мерзлых пород. Под руслами рек и крупными озерами встречены талики. Мощность таликов может достигать от 20 до 30 м и более. Питание этих вод происходит путем инфильтрации поверхностных вод и атмосферных осадков, разгрузка – в понижения рельефа.

Безнапорные воды сезонного слоя распространены повсеместно и приурочены к плиоцен-четвертичным отложениям различного генезиса и возраста. Мощность сезонно-талого слоя изменяется в довольно широких пределах от 0,1 (в торфах) до 1 м (в песках). В пределах изучаемой территории геологический разрез вдоль всего трубопровода изучен 240 выработками до глубины 10 м [9]. Основная часть отложений представлена генетически неоднородными толщами, сложенными с поверхности синкриогенными породами, подстилаемыми на небольшой глубине (до 5–7 м) эпикриогенными. К синкриогенным образованиям относится верхняя часть разреза современного аллювия р. Мессояхи и ее притоков. Также отмечаются торфяники, вмещающие реликтовые сингенетические повторно-жильные льды высотой до 3...4 м. Лыдность торфов достигает 80...90 %. Подстилающие торфяники супесчано-суглинистые породы характеризуются суммарной лыдностью до 50...60 %, слоисто-сетчатыми и сетчатыми криогенными текстурами. По температурным свойствам грунты классифициру-

ются как твердомерзлые. Кровля засоленных грунтов (морской тип засоления) расположена ниже 50 м от поверхности.

Сплошное распространение многолетнемерзлых пород обуславливает специфичный комплекс мерзлотных процессов. На обследуемой территории были зафиксированы следующие четыре группы опасных процессов, согласно классификации Э.Д. Ершова:

1. Собственно криогенные, обусловленные годовыми и многолетними колебаниями теплообмена на земной поверхности: а) морозобойное растрескивание и полигонально-жильные образования; б) морозное пучение (многолетнее криогенное пучение); в) наледообразование; г) термокарст.
2. Флювиальные, абразионные и водобалансовые, обусловленные тепловыми механическим взаимодействием водных масс на оттаивающие и мерзлые горные породы, годовыми колебаниями водного баланса поверхности: а) термоэрозия; б) заболачивание; в) подтопление.
3. Гравитационные, обусловленные гравитацией, поверхностным и внутри грунтовым стоком вод, годовыми колебаниями теплообмена поверхности: а) солифлюкция.
4. Техногенные, обусловленные деятельностью человека.

Главным геологическим процессом на территории является заболачивание. Исключительно сильная заболоченность и заозеренность района связана с избыточным атмосферным увлажнением всей территории, близким залеганием многолетнемерзлых пород, являющихся водоупором, и слабой дренированностью равнин и террас исследуемого района. Общая заболоченность местности составляет 19 %.

Территория относится к подтопленной в естественных условиях, по времени развития процесса – к сезонно (ежегодно) подтапливаемой, согласно СП 11-105-97, ч. II. Доля в пораженности территории геологическими процессами составляет 21 %. Основными причинами возникновения и развития подтопления являются: слабая расчлененность рельефа; наличие слоя слабоводопроницаемых грунтов в разрезе; нарушение естественного стока; нарушение слоя растительного покрова.

Термоэрозия проявляется в формировании отдельных различных размеров оврагов, врезов и промоин. Наибольшему риску термоэрозии подвержены отвесные участки речных долин и берега озер. Разрушению временными водотоками подвержены в большей степени пески, реже супеси и суглинки. При строительстве территории происходит резкая интенсификация термоэрозии, связанная с увеличением объема и концентрации поверхностного стока, а также с улучшением размываемости грунтов при нарушении и удалении растительного и мохового покровов [10–14]. Их доля в пораженности территории геологическими процессами составляет около 5 %.

Для описания процессов использованы фотоматериалы, выполненные при рекогносцировочном обследовании напорного нефтепровода в период с мая по июнь 2016 г. в пределах обследуемого трубопровода.

Привязка фотографий приведена по проектному пикетажу (рис. 1).

Одним из неблагоприятных и значимых процессов, широко развитых в исследуемом районе, является современный термокарст, который приводит к формированию отрицательных форм рельефа в результате вытаивания подземных льдов. Образующиеся при этом котловины и озера имеют округлую форму и незначительную глубину.

Высокая льдистость поверхностных отложений, наличие в них залежей льда определяют благоприятные условия для развития термокарстовых процессов, хотя суровость климата сдерживает активность их проявления.

Техногенные воздействия могут резко активизировать термокарст. Основные участки потенциально

го развития термокарста имеют в своем строении сильнольдистые грунты с высокой температурой. Менее подвержены влиянию участки, содержащие в строении слабольдистые грунты. Доля термокарста в пораженности территории геологическими процессами составляет 13 %.

Один из важных криогенных процессов, встречаемых на рассматриваемом участке, – солифлюкция. Солифлюкционное течение грунтов сезонноталого слоя имеет распространение на склонах. Медленное течение грунта на склонах наблюдается на участках развития тонкодисперсных пород сезонноталого слоя, формируя террасы, ориентированные параллельно подошве склона. Их доля в пораженности территории геологическими процессами составляет 2 %.



Рис. 1. Распространение геологических процессов по трассе  
 Fig. 1. Distribution of geological processes along the route

Следующим из самых распространенных процессов в зоне трассы является морозобойное растрескивание и повторно-жильное льдообразование. В результате возникают системы полигонов, приуроченные к участкам с мощным моховым или торфяным покровом, с достаточным увлажнением, со сравнительно небольшим снегонакоплением. Его доля в пораженности территории геологическими процессами составляет около 32 %.

Наиболее распространенным из неблагоприятных инженерно-геокриологических процессов является морозное пучение грунтов сезонноталого слоя. Наиболее активно протекает пучение на обводненных и заболоченных участках. Сезонные бугры пучения формируются за счет замерзания верховодки. Распространены также формы площадного пучения торфяников. Этот тип пучения представлен на торфяниках, занимающих центральные части водоразделов, в долинах ручьев и временных водотоков. Его доля в пораженности территории геологическими процессами составляет около 6 %.

На момент выполнения полевых работ в пределах обследуемой трассы бугры пучения встречены не были. Гидролакколиты высотой от 2 м и более наблюдались локально, на удалении от нефтепровода на расстоянии 500 м и более. Гидролакколиты (булгуняхи) имеют куполовидную форму со слегка приплюснутой вершиной, четкую морфологическую выраженность, поверхность их часто хорошо дренирована. Склоны гидролакколитов довольно крутые, особенно к основанию, где падение достигает 40° и более. К вершине кривизна поверхности уменьшается. Характер поверхностного слоя гидролакколита определяет общий облик покрывающей его растительности. Гидролакколиты-булгуняхи поросли мохово-старичниковой растительностью с дерниками пушицы и пятнами вейника. Растительный покров несколько препятствует деградации торфа с поверхности бугров путем физического выветривания. Под торфяной оболочкой, что особенно хорошо бывает заметно на обнаженных от торфа вершинах, находится та же самая порода, которая подстилает торф на окружающей гидролакколит низменности. С поверхности большинство бугров сложено торфом мощностью 1...6 м, который подстилается льдонасыщенными суглинками и супесями, глинами с тонкими прослоями песков. На некоторых буграх торф отсутствует, с поверхности развиты заторфованные тонкодисперсные грунты. Льдогрунтовое ядро залегает в основном на глубине 3...8 м, характерны прослойки льда толщиной 5...20 см, интервал между ними 0,5...5 см.

Вдоль трассы было встречено наледеобразование. Его доля в пораженности территории геологическими процессами составляет около 2 %. Наледи, приуроченные к русловой и пойменной части, имеют обычно плосковыпуклую форму и максимальную мощность на наиболее низких элементах рельефа. Толщина льда уменьшается от более высоких поверхностей, покрытых наледею, к ее периферии и нижнему по долине концу. Поверхность надледного тела обычно бывает неровная, осложненная буграми. Весной наледи в

долинах рек являются препятствием для пропуска полых вод. Воды ручья или реки, встречая на своем пути наледное тело, могут растекаться по нему, следуя микрорельефу поверхности наледи, образовывать русла, часто многочисленные. Русла сначала проходят во льду наледи, а по мере таяния достигают минерального ложа и вырабатывают в нем свое «корыто». Число таких русел, их положение и водный режим каждый год различны. Они определяют динамичность и неустойчивость наносов в основании наледи. Если наледь покрывает пойменную поверхность, то такие русла приводят к размыву пойменной фации аллювия и выносу такого материала вниз по ручью или реке и переотложению его в другом месте. Полые воды, несущие взвешенный материал, могут откладывать его на лед наледи.

### Результаты

В 2019 г. в отделении геологии ТПУ обобщен опыт картирования, описанный в литературе [15–26], выполнен анализ инженерно-геокриологических данных по трассе, что позволило выявить закономерности изменения природных условий. Всего было проанализировано: колонки 240 инженерно-геокриологических скважин глубиной 10 м, 40 точек измерения температурных данных грунта, маршрутные наблюдения вдоль трассы трубопровода, дешифрирование топографической основы и космоснимков.

Для типизации территории по инженерно-геологическим условиям были рассмотрены главные компоненты геологической среды: рельеф, геологическое строение, гидрогеология, состав, строение и состояние грунтовых толщ, геологические процессы. При районировании использована цепочка из шести таксонов: регион–область–район–подрайон–участок–подучасток. Каждому таксону присвоен индекс. Регион выделен по структурно-тектоническому признаку – Западно-Сибирская плита. Область – Русско-Мессояхская, выделена по неотектоническому признаку, а именно по направленности неотектонических движений, рельефу, строению и мощности четвертичных отложений. Районы были выделены по территории развития одинаковых геолого-генетических комплексов отложений (рис. 2). Выделены три района: 1) современная и верхнечетвертичная аллювиальная равнина; 2) верхнечетвертичная озерно-ледниковая равнина; 3) среднечетвертичная моренная равнина.

Недостаточная изученность при значительной площади территории потребовала при дальнейшем выделении таксонов использовать метод ключевых участков. В каждом районе было выбрано по одному ключевому участку, расположенному в центре изучаемого геологического поля. Размеры ключевых участков 7×1,5 км. В пределах ключевых участков (эталонов) установлены закономерности состава, состояния и свойств грунтов и грунтовых вод для последующей экстраполяции на всю площадь района. В пределах эталонов выделены участки по литологическому составу верхней части разреза. Далее каждый участок делится на подучастки по степени льдистости

грунтов. Ниже приведены характеристики каждого района.

Район I. Аллювиальная равнина  
 (абсолютные отметки 20...30 м)

Протяженность 35 км (или 36% от длины трассы). Среднегодовая температура пород изменяется от минус 2,0 до 2,0 °С.

В данном районе выделены два подрайона: поймы и надпойменные террасы, внутри которых выделены участки по литологическому составу верхней части разреза: (а – торф, б – суглинок, в – супесь, г – песок). Каждый участок делится на подучастки по степени льдистости грунтов, которая меняется от малолдыстого до сильнолдыстого. Пески в верхнем слое встречаются редко и приурочены к поймам рек. Для района характерно развитие термоэрозийных процессов из-за наличия мерзлых, малолдыстых грунтов в верхней части разреза. Термоэрозийные процессы

встречены в пределах 4,5 км (или 5 % от общей длины трассы). Такое явление происходит непосредственно у крутых бортов речных долин и берегам озер. В рельефе проявляется в форме различных оврагов, врезов и промоин. При техногенном вмешательстве термоэрозия проявится из-за нарушения почвенно-растительного слоя, которое повлечет увеличение объема и концентрации поверхностного стока.

Район II. Озерно-ледниковая равнина  
 (абсолютные отметки 30...45 м)

Протяженность 24 км (или 25% от длины трассы). Разрез слагают супеси и пески, в основном мелкозернистого состава, которые варьируются от мерзлых до лдыстых. Местами встречаются торфяники, которые содержат полигонально-жильные льды. Среднегодовая температура пород от минус 3,0 до 4,0 °С, низкая температура свойственна полигональным торфяникам.

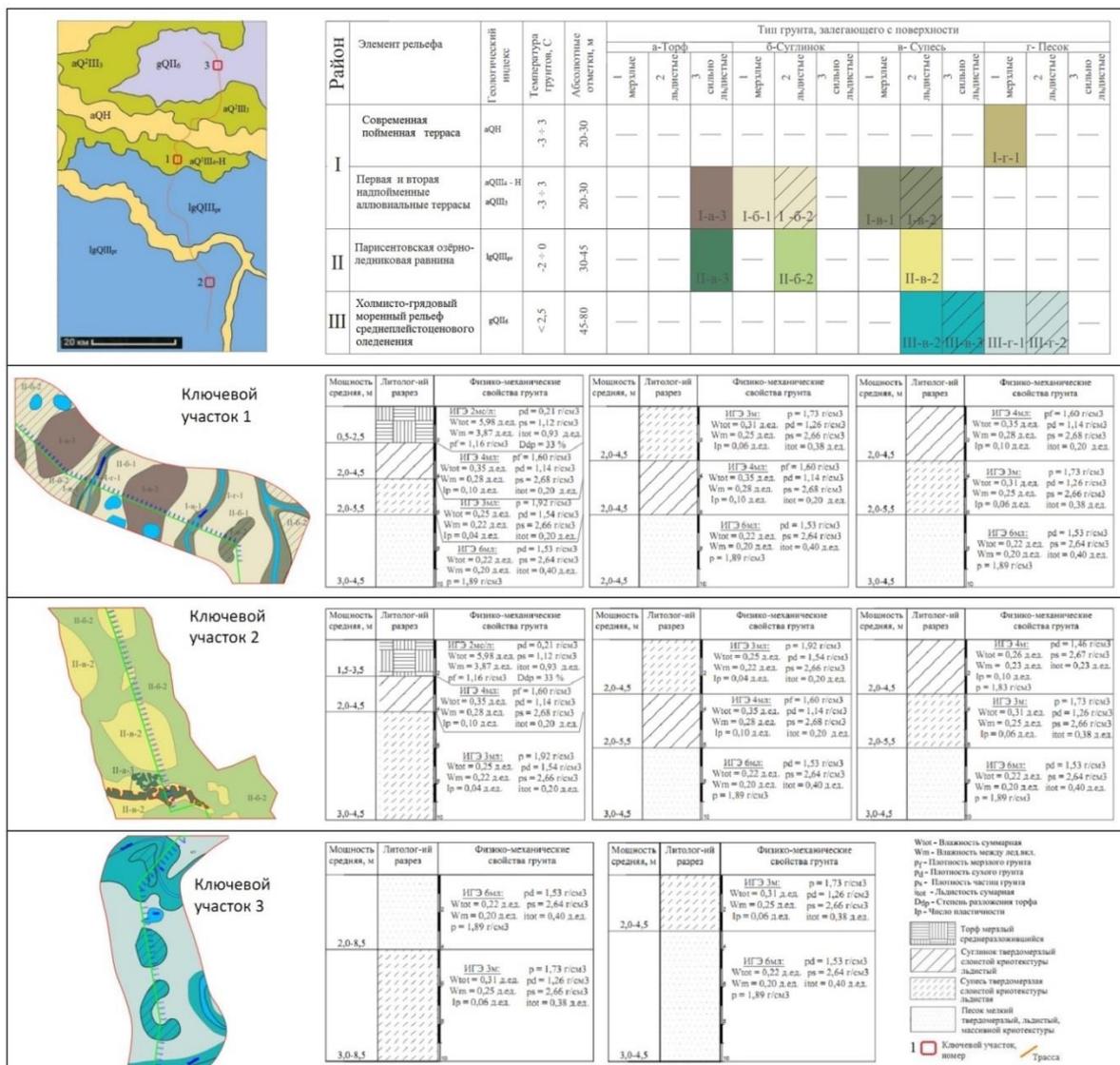


Рис. 2. Карта геокриологического районирования с характеристикой таксонов по ключевым участкам. Масштаб карт ключевых участков 1:500

Fig. 2. Map of geocryological zoning with characteristics of taxa in the key sites. Scale maps of key sites at 1:500

В данном районе выделены участки по составу верхней части разреза (а – торф, б – суглинок, в – супесь). По степени льдистости каждый участок меняется от льдистого до сильнольдистого, что отличает его от первого района.

Для второго района характерно развитие процесса заболачивания, что связано с избыточным атмосферным увлажнением, близким залеганием многолетнемерзлых пород, которые становятся водоупором и осложняют дренаж. Общая заболоченность местности составляет около 19 %.

Район III. Моренная равнина  
(абсолютные отметки 45...60 м)

Протяженность 28 км (или 29 %) от длины трассы. Разрез слагают суглинки и глины. Температура пород зависит от снегонакопления, которое происходит за счет метелевого переноса, среднегодовая температура пород колеблется до 2,5 °С.

В данном районе выделяются два типа участков по составу верхней части разреза: сложенные супесью либо песком. Степень льдистости грунтов меняется от слабольдистой до льдистой.

Для третьего района наиболее важный криогенный процесс – солифлюкция, который занимает 2 % от общей площади участка трассы (примерно 2 км).

#### Выводы

В результате инженерно-геокриологического районирования территории установлены закономерности изменения состава, строения и свойств талых и мерзлых пород, распространения геологических процессов. При районировании использована цепочка из шести таксонов: регион–область–район–подрайон–участок–подучасток. Самый крупный таксон – регион, выделен по структурно-тектоническому признаку, следующий таксон – область – выделен по неотектоническому признаку, по направленности неотектонических движений, рельефу, строению и мощности четвертичных отложений. В пределах области выделены районы по территории развития одинаковых геолого-генетических комплексов отложений. Были

выделены и охарактеризованы три района: современная и верхнечетвертичная аллювиальная равнина; верхнечетвертичная озерно-ледниковая равнина и среднечетвертичная моренная равнина. Характеристики районов даны по составу, состоянию и физико-механическим свойствам грунтов верхней части разреза и распространению геологических процессов.

Основная часть отложений представлена генетически неоднородными толщами, сложенными с поверхности синкриогенными суглинками, супесями, подстилаемыми на небольшой глубине (до 5–7 м) эпикриогенными грунтами. К синкриогенным образованиям относится верхняя часть разреза современного аллювия р. Мессояхи и ее притоков. Также отмечаются торфяники, вмещающие реликтовые сингенетические повторно-жильные льды высотой до 3–4 м. Льдистость торфов достигает 80–90 %. Подстилающие торфяники – супесчано-суглинистые породы – характеризуются суммарной льдистостью 50–60 %, слоистосетчатыми и сетчатыми криогенными текстурами.

Сплошное распространение многолетнемерзлых пород обуславливает специфичный комплекс мерзлотных процессов: термоэрозия, термокарст, солифлюкция, морозобойное растрескивание и повторно-жильное льдообразование, криогенное пучение грунтов сезонноталого слоя, которое активно проявляется на заболоченных и обводненных участках всех геоморфологических уровней. Исключительно сильная заболоченность и заозеренность района связана с избыточным атмосферным увлажнением всей территории, близким залеганием многолетнемерзлых пород, являющихся водоупором, и слабой дренированностью равнин исследуемого района.

Знание инженерно-геокриологических условий территории важно для прогноза их изменения при техногенном освоении территории для сохранения устойчивости геологической среды.

*Исследование выполнено в Томском политехническом университете в рамках программы повышения конкурентоспособности Томского политехнического университета (средства ВИУ).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геокриологическое районирование Западно-Сибирской плиты / В.Т. Трофимов, Ю.Б. Баду, Ю.К. Васильчук, П.И. Кашперюк, В.Г. Фирсов. – М.: Наука, 1987. – 219 с.
2. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. О роли подхода при инженерно-геологическом районировании // Геозкология. – 1995. – № 1. – С. 86–95.
3. Голодковская Г.А. Принципы инженерно-геологической типизации месторождений полезных ископаемых // Вопросы инженерной геологии и грунтоведения. – М.: Изд-во МГУ, 1983. – Вып. 5. – С. 355–369.
4. Дроздов Д.С., Дубровин В.А. Геозкологические проблемы нефтегазового недропользования в российской Арктике // Криосфера земли. – 2016. – Т. XX. – № 4. – С. 16–27.
5. Титков С.Н. Инженерно-геокриологическое картографирование при инженерно-геологических изысканиях для строительства магистральных трубопроводов в криолитозоне // Инженерные изыскания. – 2014. – № 4. – С. 42–48.
6. Инженерно-геологическое обеспечение технико-экономического обоснования строительства трансконтинентальных нефтепроводов / Н.В. Иванова, И.Л. Кузнецова, Ф.М. Ривкин, С.Е. Суходольский, И.В. Чехина // Криосфера Земли. – 2003. – Т. 7. – № 4. – С. 65–75.
7. Геокриология СССР. Западная Сибирь / под ред. Э.Д. Ершова. – М.: Недра, 1989. – 454 с.
8. Разумный А.В., Шкатова В.К. Государственная геологическая карта Российской Федерации. Масштаб 1:1000000 (третье поколение). Серия Западно-Сибирская. Лист R-44 – Гыданский п-ов. Объяснительная записка. – СПб.: Картографическая фабрика ВСЕГЕИ, 2019. – 303 с.
9. Технический отчет по результатам инженерно-геологических изысканий для подготовки проектной и рабочей документации. – Тюмень: ЗАО «ТюменьНИПИнефть», 2013. – 368 с.
10. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Районирование территории по степени опасности оседания земной поверхности при проектировании магистрального газопровода в южной Якутии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2016. – Т. 327. – № 10. – С. 59–68.
11. Строкова Л.А., Епифанова Е.А., Коржнева Т.Г. Численный анализ поведения основания опоры моста на старой железнодорожной линии // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328. – № 5. – С. 125–139.

12. Епифанова Е.А., Строкова Л.А. Оценка деформаций исторического здания в Томске с помощью комплексного подхода, основанного на сочетании наземного лазерного сканирования и конечно-элементного моделирования // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2018. – Т. 329. – № 5. – С. 27–41.
13. Strokova L.A. Recognition of geological processes in permafrost conditions // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. – 2019. – V. 78. – № 8. – P. 5517–5530. URL: <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01511-4> (дата обращения 05.03.2020).
14. Строкова Л.А., Ермолаева А.В. Природные особенности строительства участка газопровода «Сила Сибири» на участке Чаяндинское нефтегазоконденсатное месторождение – Ленск // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 4. – С. 41–55.
15. Purgina D.V., Strokova L.A., Kuzevanov K.I. Modeling of changing hydrogeological conditions during construction of pier foundations on the Kama river bank // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2016. – V. 33. – 6 p. URL: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/33/1/012046> (дата обращения 05.03.2020).
16. Ruiz-Fernández J., Oliva M., Hughes P. Permafrost and periglacial processes in mid- and low-latitude mountain regions // Permafrost and Periglacial Processes. – 2019. – V. 30. – № 4. – P. 245–248
17. Variations in the building site categories in the underground mining region of Doubrava (Czech Republic) for land use planning / M. Marschalko, I. Yilmaz, M. Bednárík, K. Kubečka // Engineering Geology. – 2011. – V. 122. – P. 169–178.
18. Ullah K.M., Mansourian A. Evaluation of land suitability for urban land-use planning: Case study Dhaka city // Transactions in GIS. – 2016. – V. 20 (1). – P. 20–37.
19. Martínez-Graña A.M., Goy J.L., Zazo C. Engineering geology maps for planning and management of natural parks: «Las Batuecas-Sierra de Francia» and «Quilamas», (Central Spanish System, Salamanca, Spain) // Geosciences. – 2013. – V. 1. – P. 46–62.
20. Мельников Е.С. Геокриологические условия Западно-Сибирской газоносной провинции. – Новосибирск: Изд-во «Наука», Сибирское отделение, 1983. – 199 с.
21. Active-layer thickness estimation from X-band SAR backscatter intensity / B. Widhalm, A. Bartsch, M. Leibman, A. Khomutov // The Cryosphere. – 2017. – № 11. – P. 483–496.
22. Permafrost zonation index map and statistics over the Qinghai-Tibet Plateau based on field evidence / B. Cao, T. Zhang, Q. Wu, L. Zhao, D. Zou // Permafrost and Periglacial Processes. – 2019. – V. 30. – № 3. – P. 178–194.
23. Water as a resource, stress and disturbance shaping tundra vegetation / J. Kemppinen, P. Niittynen, J. Aalto, P.C. le Roux, M. Luoto // Oikos. – 2019. – V. 128. – № 6. – P. 811–822.
24. Pleistocene periglacial imprinting on polygenetic soils and paleosols in the SW Italian Alps / M.E. d'Amico, E. Pintaldi, M. Catoni, M. Freppaz, E. Bonifacio // Catena. – 2019. – V. 174. – P. 269–284.
25. Relict periglacial soils on Quaternary terraces in the Central Ebro Basin (NE Spain) / R. Rodríguez-Ochoa, J.R. Olarieta, A. Santana, J.L. Peña-Monné, C. Sancho // Permafrost and Periglacial Processes. – 2019. – V. 30. – № 4. – P. 364–373.
26. Cochand M., Molson J., Lemieux J.-M. Groundwater hydrogeochemistry in permafrost regions // Permafrost and Periglacial Processes. – 2019. – V. 30. – № 2. – P. 90–103.

Поступила 12.03.2020 г.

#### Информация об авторах

**Строкова Л.А.**, доктор геолого-минералогических наук, профессор отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Галева Э.И.**, магистр отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

**Леонова А.В.**, старший преподаватель отделения геологии Инженерной школы природных ресурсов Национального исследовательского Томского политехнического университета.

UDK 624.131

## ZONING OF ENGINEERING-GEOCRYOLOGICAL CONDITIONS OF THE PIPELINES ON VOSTOCHNO-MESSOYAKHNSKOE OIL AND GAS CONDENSATE FIELD

Lyudmila A. Strokovaya<sup>1</sup>,  
sla@tpu.ru

Elmira I. Galeeva<sup>1</sup>,  
holikaholika55@mail.ru

Anna V. Leonova<sup>1</sup>,  
avleonova@tpu.ru

<sup>1</sup> National Research Tomsk Polytechnic University,  
30, Lenin avenue, Tomsk, 634050, Russia.

**The relevance** of the research is caused by the necessity to evaluate the existing engineering geological conditions in relation to the intended use of the plot Vostochno-Messoyakhnskoe field of Tazovsky District, Yamalo-Nenets Autonomous Okrug for construction of the pipeline.

**The aim** of this work is to evaluate geocryological processes and build a map of engineering-geocryological zoning of the route territory.

**Objects** of the research are the components of the geological environment considered in the design of the development of the Vostochno-Messoyakhnskoe field

**Methods.** The map of engineering and geocryological zoning is based on the data from regional geological surveys, local engineering and geological surveys along the route. When mapping the composition, temperature of soil, physico-mechanical properties of soils, distribution of the permafrost and hydrogeological conditions, presence and degree of infestation site of geological and cryogenic processes were taken into account.

**Results.** Insufficient knowledge, poor traffic, and a large area of territory required the use of the key site method. We selected three typical sites and established regularities of the composition, condition and properties of soils and ground water within them for further extrapolation to the entire area under study. We used a chain of six taxa for zoning: region–area–district–subdistrict–section–site. There are 3 districts, 2 subdistrict, 8 sections and 12 sites. The paper describes the selected taxa.

### Key words:

Soil, permafrost, dangerous cryogenic processes, engineering-geocryological mapping, engineering-geocryological zoning, engineering-geological conditions.

The research was carried out at National Research Tomsk Polytechnic University within the program of improving competitiveness of Tomsk polytechnic University (VIU funds).

### REFERENCES

1. Trofimov V.T., Badu Yu.B., Vasilchuk Yu.K., Kashperuk P.I., Firsov V.G. *Geokriologicheskoe rayonirovanie Zapadno-Sibirskoy plity* [Geocryological zoning of the West Siberian plate]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 219 p.
2. Trofimov V.T., Ziling D.G. On the role of the approach to engineering-geological zoning. *Environmental Geoscience*, 1995, vol. 1, pp. 86–95. In Rus.
3. Golodkovskaya G.A. Printsipy inzhenerno-geologicheskoy tipizatsii mestorozhdeniy poleznykh iskopaemknykh [Principles of engineering-geological typification of mineral deposits]. *Voprosy inzhenernoy geologii i gruntovedeniya* [Geology and soil science]. Moscow, Moscow State University Publ. house, 1983. Iss. 5, pp. 355–369.
4. Drozdov D.S., Dubrovin V.A. Geoecological problems of oil and gas subsoil use in the Russian Arctic. *Earth's cryosphere*, 2016, vol. XX, no. 4, pp. 16–27. In Rus.
5. Titkov S.N. Engineering-geocryological mapping, geotechnical investigation for construction of trunk pipelines in the permafrost zone. *Engineering survey*, 2014, vol. 4, pp. 42–48. In Rus.
6. Ivanova N.V., Kuznetsova I.L., Rivkin F.M., Sukhodolsky S.E., Chekina V.I. Engineering-geological provision of feasibility study for construction of transcontinental pipelines. *Earth's cryosphere*, 2003, vol. 7, no. 4, pp. 65–75. In Rus.
7. Ershov E.D. *Geokriologiya SSSR. Zapadnaya Sibir* [Geocryology of the USSR. Western Siberia]. Moscow, Nedra Publ., 1989. 454 p.
8. Razumny A.V., Shkatova V.K. *Gosudarstvennaya geologicheskaya karta Rossiyskoy Federatsii. Masshtab 1:1000000 (trete pokolenie). Seriya Zapadno-Sibirskaya. R-44 – Gydanskiy p-ov. Obyasnitelnaya zapiska* [State geological map of Russian Federation. Scale 1:1000000 (third generation). A Series of West-Siberian. Sheet R-44 – Gydan Peninsula. Explanatory note]. St-Petersburg, Cartographic factory VSEGEI, 2019. 303 p.
9. *Tekhnicheskii otchet po rezul'tatam inzhenerno-geologicheskikh izyskaniy dlya podgotovki projektnoy i rabochey dokumentatsii* [Technical report on the results of engineering-geological surveys for the preparation of project and working documentation]. Tyumen, Tyumen NIPIneft Publ., 2013. 368 p.
10. Strokovaya L.A., Ermolaeva A.V. Zoning according to the hazard level of earth surface subsidence when designing the main gas pipeline in south Yakutia. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2016, vol. 327, no. 10, pp. 59–68. In Rus.
11. Strokovaya L.A., Epifanova E.A., Korzhneva T.G. Numerical analysis of bridge foundation behaviour on the old railway line. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2017, vol. 328, no. 5, pp. 125–139. In Rus.
12. Epifanova E.A., Strokovaya L.A. Evaluation of deformation of a historic building in Tomsk by an Integrated Approach Based on Terrestrial Laser Scanner and Finite Element Modeling. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering*, 2018, vol. 329, no. 5, pp. 27–41. In Rus.
13. Strokovaya L.A., Recognition of geological processes in permafrost conditions. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2019, vol. 78, no. 8, pp. 5517–5530. Available at: <https://doi.org/10.1007/s10064-019-01511-4> (accessed 5 March 2020).

14. Strokova L.A., Ermolaeva A.V. Natural features of construction of the main gas pipeline «The Power of Siberia» on a site Chayandinskoye oil and gas field - Lensk. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2015, vol. 326, no. 4, pp. 41–55. In Rus.
15. Purgina D.V., Strokova L.A., Kuzevanov K.I. Modeling of changing hydrogeological conditions during construction of pier foundations on the Kama river bank. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2016, 33, 012046. Available at: <http://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/33/1/012046> (accessed 5 March 2020).
16. Ruiz-Fernández J., Oliva M., Hughes P. Permafrost and periglacial processes in mid- and low-latitude mountain regions. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2019, vol. 30, no. 4, pp. 245–248.
17. Marschalko M., Yilmaz I., Bednárík M., Kubečka K. Variations in the building site categories in the underground mining region of Doubrava (Czech Republic) for land use planning. *Engineering Geology*, 2011, vol. 122, pp. 169–178.
18. Ullah K.M., Mansourian A. Evaluation of land suitability for urban land-use planning: Case study dhaka city. *Transactions in GIS*, 2016, vol. 20, no. 1, pp. 20–37.
19. Martínez-Graña A.M., Goy J.L., Zazo C. Engineering geology maps for planning and management of natural parks: «Las Batuecas-Sierra de Francia» and «Quilamas», (Central Spanish System, Salamanca, Spain). *Geosciences*, 2013, vol. 1, pp. 46–62.
20. Melnikov E.S. *Geokriologicheskie usloviya Zapadno-Sibirskoy gazonosnoy provintsii* [Permafrost conditions of the West Siberian gas-bearing province]. Novosibirsk, SO RAN Publ., 1983. 199 p.
21. Widhalm B., Bartsch A., Leibman M., Khomutov A. Active-layer thickness estimation from X-band SAR backscatter intensity. *The Cryosphere*, 2017, no. 11, pp. 483–496.
22. Cao B., Zhang T., Wu Q., Zhao L., Zou D. Permafrost zonation index map and statistics over the Qinghai–Tibet Plateau based on field evidence. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2019, vol. 30 (3), pp. 178–194.
23. Kempainen J., Niittynen P., Aalto J., le Roux P.C., Luoto M. Water as a resource, stress and disturbance shaping tundra vegetation. *Oikos*, 2019, vol. 128, no. 6, pp. 811–822.
24. D'Amico M.E., Pintaldi E., Catoni M., Freppaz M., Bonifacio E. Pleistocene periglacial imprinting on polygenetic soils and paleosols in the SW Italian Alps. *Catena*, 2019, vol. 174, pp. 269–284.
25. Rodríguez-Ochoa R., Olarieta J.R., Santana A., Peña-Monné J.L., Sancho C. Relict periglacial soils on Quaternary terraces in the Central Ebro Basin (NE Spain). *Permafrost and Periglacial Processes*, 2019, vol. 30, no. 4, pp. 364–373.
26. Cochand M., Molson J., Lemieux J.-M. Groundwater hydrogeochemistry in permafrost regions. *Permafrost and Periglacial Processes*, 2019, vol. 30, no. 2, pp. 90–103.

*Received: 12 March 2020.*

#### Information about the authors

**Lyudmila A. Strokova**, Dr. Sc., professor, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Elmira I. Galeeva**, student, National Research Tomsk Polytechnic University.

**Anna V. Leonova**, senior lecturer, National Research Tomsk Polytechnic University.