

УДК 624.139 (571.12)

ТРАНСФОРМАЦИЯ ПОЧВ СУБАРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ ТЮМЕНСКОЙ ОБЛАСТИ НА ЭТАПЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ОСВОЕНИЯ ТЕРРИТОРИИ

Чистякова Нелли Фёдоровна¹,
geoeekologiya@mail.ru

Гайнуллина Ирина Николаевна¹,
i-r-i-n-a2009@mail.ru

¹ Тюменский государственный университет,
Россия, 625003, г. Тюмень, ул. Володарского, 6.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью экологического контроля за изменениями почв субарктической зоны Тюменской области на этапе разработки месторождений углеводородного сырья в современных условиях превращения региона в стратегическую ресурсную базу России.

Цель: оценка трансформации физического состояния и химического состава почв субарктической зоны Тюменской области под влиянием природных условий и техногенной нагрузки.

Методы: ландшафтно-геохимический и статистический, почвенно-геохимические исследования, методы определения химического состава органических и неорганических загрязнителей почв, дешифрирование космоснимков.

Результаты. Показано, что под влиянием техногенной нагрузки, начало которой было положено в 1972 г., наиболее устойчивыми к физической трансформации являются синлитогенные почвы пойм, а наименее устойчивыми – постлитогенные почвы, подзолы. Индикатором физической устойчивости почв следует считать структуру почв, определяемую особенностями их образования и преобразования. Химической трансформации (по тяжелым металлам) наиболее подвержены подзолы, а наименее – почвы пойм и органогенные почвы; по органическому веществу – почвы пойм и органогенные почвы соответственно. Индикатор химической устойчивости почв – их способность накапливать, перемещать, отдавать и преобразовывать неорганические и органические загрязнители. Площадь физически трансформированных почв данного участка на этапе промышленного освоения территории, продолжающегося с 1972 г., возросла с 10,734 км² (2008 г.) до 11,705 км² (2012 г.).

Ключевые слова:

Субарктическая зона, почвы, техногенез, загрязнение, устойчивость, физическая трансформация, химическая трансформация.

Введение

Трансформация почв криолитозоны на этапе современного изменения климата и активного промышленного освоения территории является одним из важных процессов, происходящих в настоящее время в субарктической зоне Тюменской области, где интенсивно ведется добыча углеводородного сырья. Повсеместное распространение плоского рельефа, отрицательных среднегодовых температур, многолетнемерзлых пород, переувлажненность почв, слабая испаряемость содержащейся в них влаги привели к активному формированию торфяных и глеевых горизонтов почв. В условиях сезонного промерзания – протаивания почвенного покрова, повторяющегося ежегодно на протяжении сотен лет, на территории изучаемого участка зафиксированы следующие криогенные процессы природного происхождения: морозное пучение, морозобойное растрескивание, термоэрозия, термокарст, эоловая дефляция, заболачивание, которые сопровождаются физическим разрушением структуры почв, приводя к их физической трансформации. Нарушение структуры почв, в свою очередь, влияет на активность миграции химических соединений в сезонно-талом слое; в нарушенные зоны более активно проникают техногенные загрязнители, что сопровождается изменением геохимических характеристик почв, приводя к их химической трансформации. На активизацию эт-

их процессов в пространстве и времени большое влияние оказывает современное промышленное освоение территории – строительство дорог, карьеров, кустовых площадок, шламовых амбаров, опор трубопроводов, линий электропередач и других объектов промышленной инфраструктуры. Бурение скважин, нефтепромысловое обустройство территории и связанная с ними инженерно-хозяйственная деятельность усиливают физическую и химическую трансформацию почв. В Институте наук о Земле Тюменского государственного университета с 2008 по 2012 гг. были проведены геоэкологические исследования на ключевом участке площадью 20 км². Изучаемая территория расположена в зоне избыточного увлажнения северной тайги Тюменской области. Среднегодовая температура воздуха минус 6,5 °С; максимальные температуры воздуха в летнее время +34 °С, минимальные – в зимнее время – минус 61 °С. Зональный тип растительности – сосновые и сосново-лиственничные лесные сообщества, местами редколесные, чаще всего со сфагновым покровом [1]. Около 10 % территории, представляющей собой эрозионно-аккумулятивную равнину с общим наклоном в северо-восточном направлении, заозерено; свыше 50 % заболочено. Территория, дренируемая рекой Пур и её притоками – Пякупур и Янгъягун, в настоящее время опускается. На интенсивное прогибание низменности в плейстоцене указывает широкое ра-

звитие по берегам р. Пур речных террас с абсолютными отметками 45–60 м. Озёрно-аллювиальные отложения, мощностью 5–15 м представлены комплексом отложений зырянской свиты $Q_{3(2-3)}$, сложенной переслаиванием песков, супесей и суглинков. Аллювиальные отложения второй надпойменной террасы мощностью 5–10 м (верхний плейстоцен $Q_{\text{пк}}$) сложены преимущественно песками с преобладанием пылеватой фракции. Современные отложения Q_4 представлены болотными и аллювиальными отложениями. Мощность болотных отложений 1,5–8 м. Для данной территории характерно островное распространение многолетнемерзлых пород, приуроченных к зонам развития торфяников и оторфованных суглинков мощностью 50–150 м на речных долинах и террасах; 200–400 м – в междуречьях; под руслами рек отмечаются сквозные талики. Для эпигенетически промерзших четвертичных суглинков и глин характерны разреживающиеся с глубиной слоистые криогенные текстуры с постепенным уменьшением льдистости вниз по разрезу. Минимальные глубины сезонного промерзания-протаивания сильнольдистых торфов 0,8–1,1 м; максимальные, установленные в слабо увлажнённых песках, – более 3,4 м. Супесчано-суглинистые отложения, в зависимости от их влажности и поверхностных условий, протаивают на глубину 0,8–2,7 м и промерзают на глубину 1–3 м и более. Торф и мох содержат много влаги и их теплопроводность в мерзлом состоянии больше, чем в талом. Зимой они охлаждаются больше, чем прогреваются летом. На оголяемых от снега торфяных буграх происходит образование морозобойных трещин, способствующих разрушению почвенного покрова.

Объект и методы изучения

Объектом исследования являются почвы субарктической зоны Тюменской области, которые представляют собой гетерогенную систему, состоящую из твердых, жидких и газообразных неорганических и органических компонентов, обладающих изменчивыми свойствами. Согласно почвенно-географическому районированию России [2], данная территория относится к Нижне-Обской провинции Европейско-Западно-Сибирской таежно-лесной области Бореального пояса с глееподзолистыми почвами, глеезёмами и подзолами северной тайги. Детальная характеристика почв криолитозоны, в том числе геохимическая характеристика для Тюменской области, представлена в работе [3]. На изученном участке выявлены следующие почвы: *дренируемых водоразделов* – подзолы иллювиально-железистые и языковатые (доля которых составляет 36 % от общей площади участка); *органогенные* – торфяные олиготрофные почвы с подтипами: торфяные олиготрофные типичные, торфяные олиготрофные остаточно-эутрофные, торфяные олиготрофные деструктивные (распространены на площади 52,8 % от общей площади участка); *пойм* – аллювиальные торфяно-глее-

вые, аллювиальные слоистые, занимающие 11,2 % всей изучаемой территории.

Иллювиально-железистые подзолы, сформированные под сосновыми кустарничково-лишайниковыми лесами, приурочены к наиболее дренированным, повышенным формам рельефа, на которых хорошо развит поверхностный и боковой внутрипочвенный сток с глубоким залеганием грунтовых вод. Подзолы языковатые встречаются на относительно хорошо дренируемых элементах рельефа с глубиной залегания грунтовых вод не менее 2–2,5 м. В подзолах языковатых содержание гумуса составляет 0,3–0,5 % [3]. Основной источник поступления микроэлементов в почвы – почвообразующие породы, в меньшей степени – почвенно-грунтовые воды и растительный опад.

Торфяные почвы развиваются на водоразделах и верхних террасах речных долин, в условиях затруднённого оттока атмосферных осадков на породах различного гранулометрического состава и сильно кислой реакции при застойном увлажнении атмосферными осадками. Данные почвы обогащены гумусом [4–6]. Формируясь в зоне застойного увлажнения атмосферными водами преимущественно на поверхностях водораздела, эти почвы обеднены марганцем, ванадием, хромом, никелем, кобальтом, цинком, содержащимися ниже кларка [3].

Аллювиальные почвы формируются на низкой и часто затопляемой пойме при регулярном отложении на ее поверхности слоев свежего речного аллювия; торфяно-глеевые – в понижениях центральной поймы. Поступление аллювия приводит к постоянному омоложению субстратов. Среди микроэлементов в почвах пойм изученного участка в концентрациях ниже природных кларков присутствуют: титан, хром, медь, железо и др. [3].

Валовое содержание определяемых в почвах данного участка тяжелых металлов: железо, кадмий, марганец, медь, никель, ртуть, свинец, хром, цинк, определено методом атомно-адсорбционного спектрального анализа. Расчет суммарного показателя загрязнения почв Z_c проводили по формуле: $Z_c = \sum(C_i/C_{\phi}) - (n-1)$, где C_i – содержание элемента в образце; C_{ϕ} – фоновое содержание элемента; n – число суммируемых элементов. В качестве фоновых концентраций приняты средние содержания тяжелых металлов, нефтепродуктов, фенола и хлорид-иона в почвах Тюменской области. Для оценки экологического состояния почв кроме региональных фоновых концентраций загрязнителей использовались величины ПДК и ОДК – для загрязняющих веществ (таблица).

В работе использовались материалы дешифрирования космоснимков (программа SAS Planet), позволившие определить площадь распространения почв различных типов в 2008–2012 гг., по которым была построена карта-схема распространения типов почв и экзогенных геологических процессов природного и техногенного происхождения (рисунок). Площадь исследуемых объектов, оци-

фрованных в программе ArcGis (версия 10.2.1), рассчитывалась с использованием инструмента «вычислить геометрию». Величина погрешности расчетов зависит от масштаба оцифровки, влияющего на соизмеримость формы объекта на карте и в натуральных условиях. Чем больше масштаб оцифровки, тем точнее форма объекта на карте; предельная погрешность 0,1–0,2 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Анализ полученных материалов показал, что в почвах дренируемых водоразделов, заторфованных и заболоченных участков, почвах пойм изучаемого участка развиваются следующие природные криогенные процессы: морозное пучение, морозобойное растрескивание, термоэрозия, термокарст, эоловая дефляция и заболачивание, которые приводят к физической трансформации почв (рисунок).

Заболоченность территории Западной Сибири составляет 42 %, а 73 % этих болот приурочены к криолитозоне [7]. На изучаемом участке общая площадь заболоченных земель составляла в 2008 г. 10,27 км² (51,35 % от площади всего изучаемого участка).

Морозное пучение проявляется в сезонно-талом слое при промерзании сильноувлажнённых почв заторфованных и заболоченных участков, что приводит к накоплению льда и сопровождается увеличением их объема [8]. На изучаемом участке образуются сезонные бугры пучения высотой 0,4–0,5 м, которые практически отсутствуют на хорошо дренируемых песках и супесях. Площадь нарушенных торфяных олиготрофных почв в 2008 г. составляла 0,05 км² (0,47 % от всей площади почв этого типа), а в 2012 г. она увеличилась до 0,178 км² (0,68 % от общей площади почв этого типа на изучаемой территории). Особенностью болотных экосистем криолитозоны с развивающимися там буграми пучения является, с одной стороны, их участие в поглощении углерода из окружающей среды, а с другой – способность выделять в атмосферу парниковые газы: CH₄, CO₂ [9, 10]. За период с 2008 по 2012 гг. на фоне небольшого снижения интенсивности морозного пучения отмечается значительный подъём поверхности бугров и торфяников до 30–40 см в год даже в том случае, если очень низкая температура наблюдалась в течение одного месяца и количество осадков было небольшим.

Морозобойное растрескивание, инициируемое температурной деформацией мёрзлых пород в нестационарном температурном поле, сопровождается возникновением напряжений и образованием трещин в многолетнемёрзлых породах и почвах.

Явление зафиксировано на приречных склонах с небольшой мощностью снежного покрова, где распространены подзолы иллювиально-железистые и языковатые. Трещины, образовавшиеся в осенне-зимний период, имеют протяжённость от десятков до сотен метров, а глубину – от 1 м до нескольких метров и располагаются, примерно, на

одинаковом расстоянии друг от друга. Морозобойное растрескивание существенно интенсифицирует развитие оползней, морозного пучения, термокарста, термоэрозии и других криогенных процессов, сопровождаемых физической трансформацией почв и скелета грунтов и пород, приводящей к изменению их объема, рельефа, а значит – к разрушению. В 2008 г. площадь физически трансформированных почв составила 0,10 км² (1,28 % от площади всех почв дренируемых водоразделов); в 2012 г. – 0,24 км² (3,33 % от всей площади этих почв на изучаемом участке).

Термоэрозия зафиксирована в почвах пойм на участках распространения аллювиальных торфяно-глеевых и аллювиальных слоистых почв. Площадь распространения термоэрозии в 2008 г. составляла 0,015 км² (0,67 % от всей площади почв пойм), а в 2012 г. 0,027 км² (2,36 % от всей площади почв пойм на изученной территории). В 2012 г. появились новые территории с термоэрозионными процессами техногенного генезиса, площадь которых увеличилась по сравнению с 2008 г. на 1,69 %.

Термокарст – просадки поверхности Земли, которые формируются в отрицательных формах рельефа. На изучаемом участке зафиксирован на торфяно-олиготрофных почвах и их подтипах: типичных, торфяных олиготрофных остаточо-эутрофных, торфяных олиготрофных деструктивных, приуроченных к зонам островного распространения многолетнемёрзлых пород. Площадь почв, подверженных термокарсту в 2008 г., составляла 0,22 км² (2,08 % от всей площади почв заторфованных и заболоченных участков), а в 2012 г. – 0,25 км² (2,36 % от площади этих почв на участке).

Площадь песчаных раздувов за пятилетний период выросла с 0,079 до 0,32 км², что составляет 3,35 % от площади подзолов на изученной территории. На активизацию процессов эоловой дефляции и других криогенных процессов влияют техногенные факторы, сопровождающие обустройство месторождения углеводородного сырья: строительство трасс, линий электропередач, автодорог, трубопроводов, буровых площадок, песчаных карьеров. Увеличение площадей физически трансформированных почв субарктической зоны Тюменской области тесно связано с промышленным освоением данной территории. Вследствие механического нарушения целостности напочвенных покровов в период поисково-разведочных и эксплуатационных работ, изменения их структуры и условий снегонакопления, увлажнения почв наиболее распространенным явлением стало увеличение глубины сезонного протаивания почв под влиянием антропогенного и техногенного воздействия на территориях распространения площадных и линейных объектов, дорожного полотна, насыпки под трубопроводы, что влияет на нарушение поверхностного стока и приводит к подъёму уровня грунтовых вод.

Общая площадь физически трансформированных почв под воздействием природных и техногенных факторов в 2008 г. составляла 10,734 км², а в 2012 – 11,705 км². Активизация этих процессов под влиянием техногенеза зафиксирована, прежде всего, на участках, прилегающих к линейным и

площадным объектам обустройства на изучаемой площадке – опорам трубопроводов, автодорогам, карьерам и др., что обусловлено снятием почвенно-растительного покрова, изъятием грунтов для целей обустройства данного участка, нарушением дренаживания территории. Общая площадь почв,

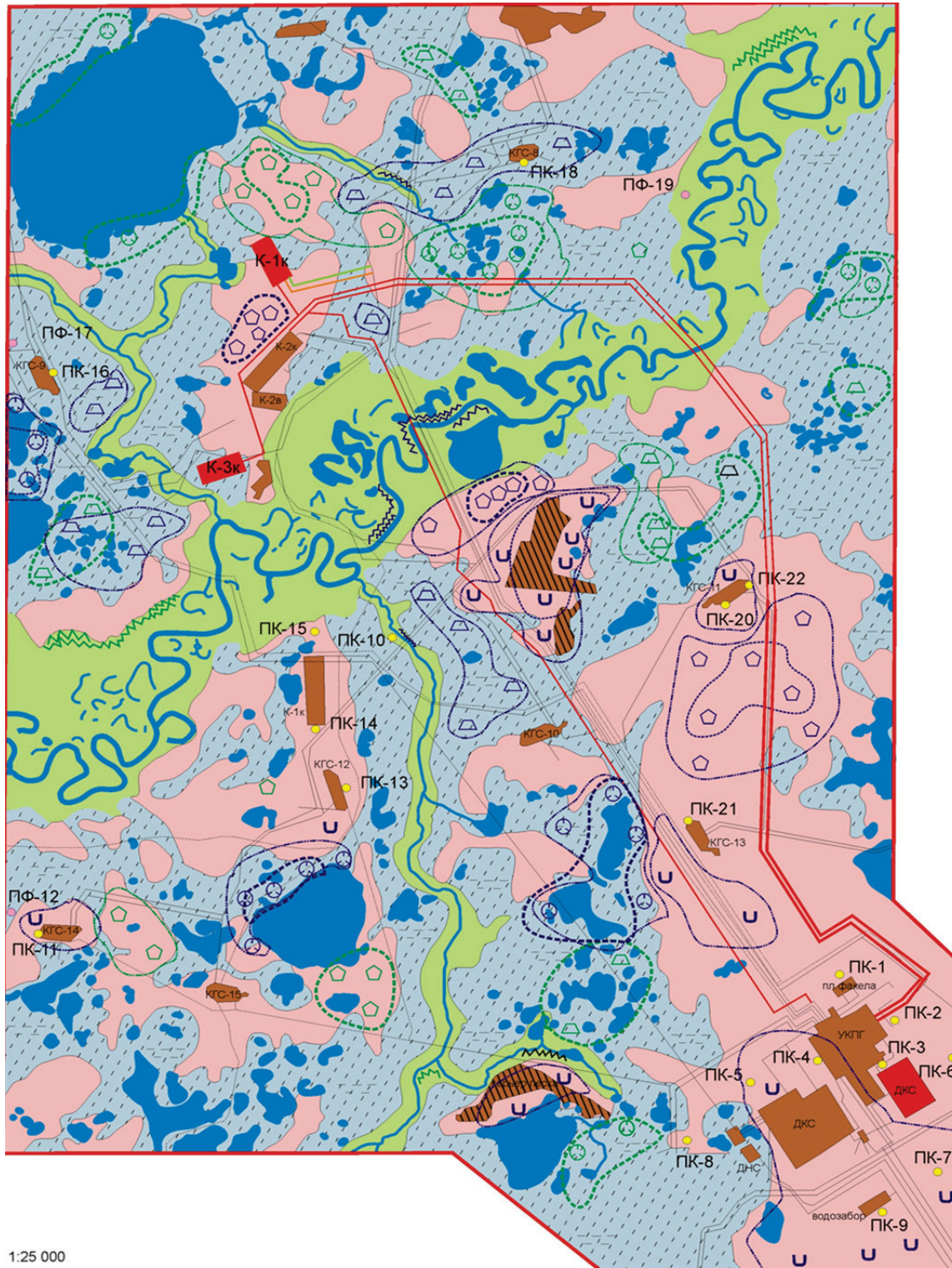


Рисунок. Карта-схема типов почв и криогенных процессов различного происхождения (И.Н. Гайнуллина, Н.Ф. Чистякова, 2014)

Figure. Map-scheme of types of soils and cryogenic processes of different origin (I.N. Gainullina, N.F. Chistyakova, 2014)

подвергшихся физической трансформации в период с 2008 по 2012 гг. увеличилась на 8,29 %. Среди геодинамических критериев, используемых для оценки развития природных и техногенных геологических процессов, можно использовать площадные критерии [11]. С учетом отношения площади, на которой зафиксирован трансформированный рельеф, к общей площади конкретных типов почв можно говорить о том, что все почвы изучаемой территории в настоящее время находятся в «условно удовлетворительном» эколого-геологическом состоянии.

Ежегодное повторение циклов промерзания-протаивания почв, приводящее к интенсификации физической трансформации под влиянием природных и техногенных факторов, сопровождается химическим загрязнением, проявляющимся

в накоплении неорганических и органических загрязнителей, нехарактерных для этих почв. Наиболее типичными загрязнителями в нефтегазодобывающих районах являются: буровой раствор, нефть, нефтепродукты, микроэлементы – тяжелые металлы; хлориды [12–16]. Из 22 пунктов экологического мониторинга, расположенных на изучаемой территории, три находятся вне зоны влияния технических объектов и являются фоновыми [17]. Геохимический состав всех типов почв территории характеризуется дефицитом микроэлементов [3]. В процессе добычи углеводородного сырья в почвы поступают тяжелые металлы, хлориды и органические соединения, генетически связанные с углеводородным сырьем, пластовыми водами и хозяйственной деятельностью человека [18, 19].

	Типы почв	Комплексы почв		Types of soil	Complexes of soil
	Подзолы иллювиально-железистые, подзолы рязковатые	Почвы дренируемых водоразделов		Podzols illuvial-ferruginous, podzolic ligatures	Soil drainable watersheds
	Торфяные олиготрофные	Почвы заторфованных заболоченных участков		Peat oligotrophic	Soils of hogged wetlands
	Аллювиальные торфяно-глеевые	Почвы пойм		Alluvial peat-gley	Soil floodplain

Характеристика ММП / Characteristics of permafrost



Условные обозначения / Legend

Признаком активного антропогенного воздействия на почвы является увеличение рН до уровня щелочной среды [20]. В пробах изученных почв три точки (ПК-6, ПК-22, ПК-10) характеризуются сильно кислой средой (рН меньше 5). Кислая среда установлена в почвах точек наблюдения (ПК-5, ПК-8, ПК-7, ПК-13, ПК-16, ПК-17, ПК-20); в остальных пробах почв, в т. ч. ПФ-19 и ПФ-12 (фоновые точки), среда близка к нейтральной (рН больше 6). Значения рН, превышающие 7, вероятно, отражают общее химическое загрязнение территории нефтегазодобычи, обусловленное деятельностью соседних недропользователей и длительным сроком освоения недр субарктической зоны Тюменской области [12]. В числе определяемых микроэлементов только марганец, цинк и никель в отдельных точках определены в концентрациях, превышающих ПДК, ОДК, фон [21–24].

Марганец, относящийся к третьему классу опасности, определен в концентрациях 13,4–151 мг/кг. В почвах пойм среднее содержание марганца составляет 38,4 мг/кг, в подзолах – 56,35 мг/кг. Наибольшая концентрация марганца установлена в точках, расположенных вблизи техногенных объектов (ПК-4 – в 2,3 превышает фон, но меньше ПДК; ПК-7 – в 2,6 больше фона). Наименьшее содержание марганца установлено в органогенных почвах – в среднем, 31,5 мг/кг.

Никель – элемент второго класса опасности, наибольшие концентрации которого (средние значения 4,55 и 4,16 мг/кг) установлены в подзолах и органогенных почвах соответственно. Минимальные содержания никеля определены в почвах пойм (2,8 мг/кг). Ни в одной пробе содержание никеля не превышает фоновых концентраций.

Цинк – элемент третьего класса опасности, определен во всех пробах почв. В ПК-9 и ПК-3 его концентрации в 1,4 и в 1,3 раза соответственно превышают ПДК. Среднее содержание цинка в подзолах 40,2 мг/кг, в органогенных почвах – 22,7 мг/кг, а в почвах пойм – 10,4 мг/кг.

Наибольшее содержание ионов хлора, превышающее фон в 2,6 раза, определено в органогенных почвах (ПФ-17), что объясняется разливом пластовых вод на почвы через некачественную запорную арматуру эксплуатационных скважин соседней территории. Среднее содержание хлоридов в почвах этого типа 75,4 мг/кг. Наименьшее содержание (среднее значение 30,3 мг/кг) установлено в почвах пойм. В подзолах наибольшее содержание хлоридов равно 86,3 мг/кг (ПК-6). Среднее содержание хлоридов в подзолах 48 мг/кг. В остальных точках опробования содержание хлоридов ниже фоновых значений.

Кроме неорганических соединений в почвах изучаемого участка определены органические загрязнители: фенол и нефтепродукты [25, 26]. Содержание фенола, обнаруженного во всех пробах почв, изменяется от 1 до 103 мг/кг, на фоновых пунктах – 4,5–60,8 мг/кг. Повышенные концентрации фенола, превышающие фон, установлены в

ПК-22 (в 1,7 раза), ПК-6 (в 3,9 раза), ПК-10 (в 4,3 раза), ПФ-17 (в 2,5 раз), где он вносится в почвы с хозяйственно-бытовыми стоками.

Нефтепродукты по характеру воздействия на любые почвы существенно отличаются от тяжелых металлов, т. к. они представляют собой сложную смесь углеводородных и неуглеводородных соединений алкановой, нафтеновой и ароматической структур. Многие соединения ароматической структуры по отношению к биоте являются канцерогенными. Содержание нефтепродуктов, оцениваемое по шкале нормирования Ю.И. Пиковского, изменяется в почвах изучаемой территории от <5 до 605,2 мг/кг. Среднее фоновое содержание в почвах Тюменской области, равное 42 мг/кг, превышено в двух фоновых пунктах: ПФ-19 (в 1,7 раза), ПФ-12 (в 1,2 раза), что можно объяснить общим повышением химического загрязнения почв территории нефтегазодобычи северных районов Тюменской области [12, 17]. Среднее содержание нефтепродуктов в подзолах – 119 мг/кг, в почвах пойм – 160 мг/кг, в органогенных почвах – 48,2 мг/кг. В ПК-2, рядом с которой сконцентрировано несколько объектов промышленной инфраструктуры, их содержание в почвах превышает в 14,4 раза фоновое. Зоны повышенного загрязнения почв нефтепродуктами связаны с такими объектами, как: кусты скважин, ДНС, УКПГ, факелы и др. технологические объекты.

Расчет суммарного показателя загрязнения почв органическими и неорганическими соединениями (Z_c) показал, что почвы большинства пунктов опробования относятся к «допустимой» категории загрязнения (Z_c меньше 8). Участки «слабой» категории загрязнения – в точке ПК-3, ПК-10; «средней» – в точке ПК-2, «сильной» – в точках ПК-6 и ПК-22.

Максимальное полиэлементное (за счет тяжелых металлов) техногенное загрязнение установлено в подзолах (ПК-6, ПК-22), минимальное – в почвах пойм и торфяных олиготрофных почвах. Точки опробования с повышенным уровнем химического загрязнения находятся наиболее близко к техногенным объектам.

Почвы дренируемых водоразделов, заторфованных и заболоченных участков и почвы пойм, сформированные в зонах холодного и очень холодного температурного режима, обладают умеренной скоростью разложения углеводов и достаточно активным их рассеиванием [27]. Миграцию и рассеивание продуктов химического загрязнения преимущественно по латерали обеспечивают торфяные олиготрофные почвы, а по вертикали и латерали – супесчаные и песчаные аллювиальные торфяно-глеевые почвы пойм с промывным водным режимом. Скорости разложения и рассеивания соединений нефтяного ряда, а также их спутников – солей тяжелых металлов, поверхностно-активных веществ, закачиваемых в недра для повышения нефтеотдачи, определяют устойчивость почв и влияют на потенциал их самоочищения. На

Таблица. Результаты химического анализа почв

Table. Results of chemical analysis of soils

Превышения ПДК, ОДК, фоновых содержаний в почвах ТО															
Exceeding the maximum permissible concentrations, approximately permissible concentrations, background contents in the soils of the Tyumen region															
Загрязняющее вещество Contaminant	pH	Cl	NO ₃	NH ₄	Фенолы Phenols	НП	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn	Cd	Zc
	Ед.рН	мг/кг (mg/kg)													
Подзол иллювиально-железистый/Podzol illuvial-ferruginous															
ПДК, ОДК Maximum permissible concentrations, approximately permissible concentrations	-	-	130	-	-	-	0,05	33	-	1500	20	32	55	0,5	-
Фоновое содержание в почвах ТО Background content in the soils of the Tyumen region	-	54,2	18,23	1,58	24,20	42	31	5,1	3926	58,7	5,9	6,5	19,7	0,8	-
ПК-5/РК-5	5,51	12,1	0,51	1,51	1,24	50,6	6,66	1,95	1864	34,1	2,45	4,04	10,80	0,13	1,2
ПК-8/РК-8	5,65	12,4	0,51	1,56	8,47	32,7	5,64	4,83	2489	23,6	2,37	3,61	18,20	0,11	0
ПК-9/РК-9	6,73	13,5	<0,226	0,66	1,52	93,7	2,00	1,32	750	28,9	1,32	3,31	76,52	0,07	5,1
ПК-20/РК-20	5,97	11,0	<0,226	5,30	11,6	10,4	7,37	1,55	2358	43,6	2,67	4,94	8,25	0,10	3,35
ПК-21/РК-21	6,19	9,9	<0,226	4,99	10,6	128	1,90	1,20	851	29,7	1,38	2,44	8,26	0,09	5,19
ПК-22/РК-22	4,50	59,3	3,62	48,10	41,9	132	2,75	3,64	534	16,8	8,22	6,56	12,90	0,26	33,8
Подзол языковатый/Tongued podzol															
ПДК, ОДК Maximum permissible concentrations, approximately permissible concentrations	-	-	130	-	-	-	0,05	33	-	1500	20	32	55	0,5	-
Фоновое содержание в почвах ТО Background content in soils of the Tyumen region	-	-	-	-	-	-	31	5,1	3926	58,7	5,9	6,5	19,7	0,8	-
ПК-1/РК-5	6,55	12,4	0,52	0,63	<1,0	164	2,65	1,07	1029	35,5	1,34	3,16	9,71	0,14	3,9
ПК-2/РК-2	6,23	39,4	4,65	12,50	10,80	605,2	2,89	1,42	962	13,4	2,25	2,48	9,23	0,11	21,3
ПК-3/РК-3	6,48	11,7	<0,226	0,66	6,22	134	16,3	3,18	12815	84,4	4,25	6,80	70,20	0,64	10,57
ПК-4/РК-4	6,21	11,4	0,50	1,34	1,46	13,2	10,9	1,89	4842	135,0	4,34	3,70	8,03	0,26	1,84
ПК-6/РК-6	4,93	86,3	18,70	77,90	93,6	383	5,90	4,76	5083	51,7	7,26	5,96	35,20	0,32	65,7
ПК-7/РК-7	5,77	13,8	<0,226	1,99	6,40	11,8	26,80	4,44	10735	151,0	7,30	7,09	20,90	0,56	6,43
ПК-11/РК-11	6,39	9,2	<0,226	0,30	8,4	89,8	7,28	1,45	3648	28,4	2,55	4,70	5,96	0,18	2,64
ПК-13/РК-13	5,73	9,9	<0,226	0,86	3,0	47,2	1,88	1,90	955	34,9	1,68	8,45	11,30	0,11	2,76
ПК-14/РК-14	6,34	9,9	<0,226	0,58	5,0	123	4,65	1,20	4693	43,2	1,88	4,41	17,30	0,20	3,63
ПК-15/РК-15	6,61	7,1	<0,226	1,09	6,4	63	10,40	2,08	5043	53,0	3,48	5,46	19,80	0,16	2,93
Аллювиальные слоистые/Floodplain															
ПДК, ОДК Maximum permissible concentrations, approximately permissible concentrations	-	-	130	-	-	-	0,05	33	-	1500	20	32	55	0,5	-
Фоновое содержание в почвах ТО Background content in the soils of the Tyumen region	-	54,2	18,23	1,58	24,20	42	16,4	5,7	3926	241	3	3,2	15,3	1,7	-
ПФ-19/РФ-19	6,58	11,7	0,51	15,00	7,4	72,2	4,76	1,34	1849	25,9	2,70	3,52	7,41	0,12	0
Аллювиальные торфяно-глеиные/Alluvial peat-gley															
ПК-10/РК-10	4,78	49,0	3,12	16,10	103	248	6,62	2,37	2691	51,0	3,01	6,59	13,40	0,13	10,2
Торфяные олиготрофные/Peat oligotrophic (organogenic soils)															
ПДК Maximum permissible concentrations	-	-	130	-	-	-	0,05	При рН <5,5-66 рН >5,5-132	-	1500	При рН <5,5-40,0 рН >5,5-80,0	При рН <5,5-65,0 рН >5,5-130,0	При рН <5,5-110,0 рН >5,5-220,0	При рН <5,5-1,0 рН >5,5-2,0	-
Фоновое содержание в почвах ТО Background content in the soils of the Tyumen region	-	54,2	18,23	1,58	24,20	42	49,2	21,9	3926	350	15,8	9,3	44,1	2,7	-
ПФ-12/РФ-12	6,30	9,9	<0,226	0,98	4,5	48,8	11,90	3,80	9321	35,7	3,90	4,90	8,55	0,36	0
ПК-16/РК-16	5,37	58,2	3,89	20,10	42,2	<5,0	2,17	2,81	1171	10,1	3,71	5,30	36,91	0,28	1,74
ПФ-17/РФ-17	5,60	141,0	3,99	23,70	60,8	<5,0	2,03	2,63	608	6,7	4,85	4,60	27,50	0,17	0
ПК-18/РК-18	6,73	20,9	<0,226	0,24	6,2	134	6,99	2,05	2840	55,6	3,47	3,96	11,30	0,18	2,19

увеличение миграционной активности химических элементов в почвах оказывают влияние те органические вещества, которые образуются в результате разложения растительных остатков в почвах, способных затем образовывать новые органоминеральные комплексы. Почвы пойм с исходно более высоким содержанием гумуса и активным современным гумусообразованием характеризуются содержанием тяжелых металлов в концентрациях ниже ПДК, фона, кларка; содержанием хлоридов (в отдельных пробах) ниже фона, содержаниями нефтепродуктов и фенола в 2 раза превышающими фон.

Следовательно, эти почвы, обладая высокой активностью переноса неорганических соединений в форме органоминеральных комплексов (что делает их слабо химически трансформированными), характеризуются большими глубинами проникновения органических загрязнителей, накапливают нефтепродукты и фенол, что обуславливает высокую химическую трансформацию почв пойм. Возможно также перераспределение нефтяных загрязнителей между почвами пойм и других типов в результате внутрипочвенной миграции органических веществ в направлении стока поверхностных и грунтовых вод.

Способность почв к самоочищению в большой степени определяется также наличием в их среде селективных микроорганизмов, разлагающих неорганические и органические вещества на более простые компоненты, которые включаются в общий круговорот вещества [28–32]. Нарушение сохранности почвенно-растительного покрова (физическая трансформация) изменяет условия обитания микроорганизмов и их видовое разнообразие в почвах, обеспечивающих самоочищение почв от химических загрязнений органического и неорганического происхождения. Наличие разложившихся растительных остатков биологического субстрата для жизнедеятельности микроорганизмов благоприятно влияет на микробиологическую продуктивность почв. Наличие бактерий и других микроорганизмов, ассоциированных с гумусовым веществом почв, появляющихся в почвах в качестве ответной реакции на их загрязнение, обеспечивает возможность биохимического разложения химических загрязнителей различной природы. Наиболее высокое содержание органического вещества, в том числе образующегося при разложении растительных остатков, установлено в органогенных почвах, что и обеспечивает возможность высокого биохимического разложения неорганических и органических химических загрязнителей, мигрирующих в почвах на расстояния, удаленные от источника загрязнения. В них содержится минимальная концентрация органических загрязнителей: нефтепродуктов и фенола, ионов хлора, а среди тяжелых металлов – только цинк превышает фон, в то время как марганец и никель ниже фона,

ПДК и кларка, что позволяет считать их слабо химически трансформированными.

Заключение

Все типы почв субарктической зоны на данном участке, в той или иной степени, уязвимы по отношению к физическому и химическому техногенному воздействию. Наибольшая площадь физической трансформации почв на участке добычи углеводородного сырья под влиянием техногенных нагрузок зафиксирована, практически в равных масштабах, в подзолах (5,4 % от общей площади этих почв на участке) и органогенных почвах (5,3 % от общей площади этих почв на участке), где широко распространены многолетнемерзлые породы с небольшой мощностью верхнего слоя 0–10 м, быстро деградирующие в слое сезонного промерзания – протаивания. Наиболее устойчивы к физической трансформации в этих условиях почвы пойм (0,54 % трансформированных почв от их площади на участке), почвообразование которых происходит одновременно с аккумуляцией свежего минерального материала, поступление которого приводит к постоянному омолаживанию субстрата и росту почвенного профиля вверх. Индикатор физической устойчивости почв при техногенном воздействии – особенность их формирования и структура.

Химическая трансформация почв на данном участке дифференцирована по неорганическим и органическим техногенным загрязнителям. Наиболее химически трансформированы (по неорганическим загрязнителям) подзолы, наименее – почвы пойм. Между ними расположены органогенные почвы. Наиболее высокие концентрации химических загрязнителей установлены вблизи источников техногенного загрязнения. Чем больше физическая трансформация почв и ниже содержание гумуса, тем больше их химическая трансформация по неорганическим загрязнителям. Наиболее химически трансформированы (по органическим загрязнителям нефтяного происхождения) почвы пойм, а наименее – органогенные почвы. Индикатором химической устойчивости почв при техногенном воздействии является их способность накапливать, перемещать, отдавать и преобразовывать неорганические и органические загрязнители, попавшие в них из окружающей среды как извне, так и с почвенными водами. Миграционная подвижность загрязнителей разной природы в почвах зависит от структуры, температуры и влажности почв; содержания загрязнителей, степени и скорости их преобразования, формы нахождения в почвах, обогащенности почв разложившимися растительными остатками, способными образовывать новые органоминеральные комплексы в определенной кислотно-щелочной среде. На специфическую физическую и химическую устойчивость почв существенное влияние оказывает наличие многолетнемерзлых пород и почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузин И.Л. Геоморфология Западно-Сибирской равнины. – СПб.: Изд-во Государственной полярной академии, 2005. – 176 с.
2. Национальный атлас почв Российской Федерации. – М.: Астрель: АСТ, 2011. – 632 с.
3. Хренов В.Я. Почвы криолитозоны Западной Сибири: морфология, физико-химические свойства, геохимия. – Новосибирск: Наука, 2011. – 211 с.
4. Строение и свойства почв многолетнемерзлых торфяников юго-востока Большеземельской тундры / Д.А. Каверин, А.В. Пастухов, Е.М. Лаптева, К. Биазы, М. Марущак, П. Мартикайнен // Почвоведение. – 2016. – № 5. – С. 542–556.
5. Пастухов А.В., Каверин Д.А. Экологическое состояние мерзлотных бугристых торфяников на северо-востоке европейской России // Экология. – 2016. – № 1. – С. 1–9.
6. Körschens M. Die abhängigkeit der organischen bodensubstanz von standort faktoren und acker- und pflanzenbaulichen massnahmen, ihre beziehungen zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie abbauung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Badens Wiss. DDR. Dissertation. – Berlin, 1980. – 157 p.
7. Гарагуля Л.С., Гордеева Г.И., Оспенников Е.Н. Роль геокриологических процессов в формировании и динамике криолитозоны // Криосфера Земли. – 2012. – Т. XVI. – № 4. – С. 31–41.
8. Пономарева О.Е., Гравис А.Г., Бердников Н.М. Современная динамика бугров пучения и плоскоугристых торфяников в северной тайге Западной Сибири (на примере Надымского стационара) // Криосфера Земли. – 2012. – Т. XVI. – № 4. – С. 21–30.
9. Динамика развития бугристых торфяников на южной границе Восточно-Европейской криолитозоны / А.В. Пастухов, Т.И. Марченко-Вагапова, Д.А. Каверин, С.П. Кулижский, О.Л. Кузнецов, В.С. Панов // Почвоведение. – 2017. – № 3. – С. 1–14.
10. A combined biogeochemical and paleobotanical approach to study permafrost environments and past dynamics / T. Ronkainen, M. Väliranta, E. McClymont, C. Biasi, S. Salonen, S. Fontana, E. Tuittila // J. Quaternary Science. – 2015. – V. 30. – P. 189–200.
11. Трофимов В.Т., Зилинг Д.Г. Экологическая геология. – М.: ЗАО «Геоинформмарк», 2002. – 415 с.
12. Московченко В.Д. Экогеохимия нефтегазодобывающих районов Западной Сибири. – Новосибирск: Гео, 2013. – 259 с.
13. Golovatskaya E.A., Dzykarev E.A. Carbon budget of oligotrophic mire sites in the southern taiga of Western Siberia // Plant and Soil. – 2009. – № 315. – P. 19–34.
14. McGill W.B., Rowell M.J. Determination of oil content of oil contaminated. Soil // Science. Total Environment. – 1980. – V. 14. – № 3. – P. 245–253.
15. Хаустов А.П., Редина М.М. Геохимические маркеры на основе соотношений концентраций ПАУ в нефти и нефтезагрязненных объектах // Геохимия. – 2017. – № 1. – С. 57–67.
16. Углеродное состояние почв при разновозрастном нефтяном загрязнении / А.Н. Геннадиев, Ю.И. Пиковский, Р.Г. Ковач, Т.С. Кошовский, Н.И. Хлынина // Почвоведение. – 2016. – № 5. – С. 574–583.
17. Солнцева Н.П. Добыча нефти и геохимия природных ландшафтов. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 376 с.
18. Сысо А.И. Общие закономерности распределения микроэлементов в покровных отложениях и почвах Западной Сибири // Сибирский экологический журнал. – 2004. – № 3. – С. 273–287.
19. Содержание тяжелых металлов в почвах с различным уровнем антропогенной нагрузки на территории Курской области / Н.П. Неведров, А.Л. Белоконов, С.А. Анненков, А.А. Проценко, Е.П. Проценко, Н.А. Балабина, А.В. Пученкова // Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Естественные науки. – 2015. – № 3(200). – Вып. 30. – С. 117–125.
20. Ponnampuruma F.N. The chemistry of Submerged soils // Advan Argon. – 1972. – V. 24. – P. 29–36.
21. Перельман А.И. Геохимия. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.
22. Brummer G., Herms U. Influence of soil reaction and organic matter on the solubility of heavy metals in soils // Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems / Eds. B. Ulrich, J. Pankrath. – 1983. – P. 233–243. URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-6983-4_18 (дата обращения 01.06.2018).
23. Lovley D.R. Dissimilatory metal reduction // Annual Review Microbiology. – 1993. – V. 47. – P. 263–270.
24. Karathanasis A.D. Mineral controls in colloid-mediated transport of metals in soil environments // Geochemical and Hydrological Reactivity of Heavy Metals in Soils. – Boca Raton, Fla.: Lewis Publishers, 2003. – 360 p.
25. Углеродное состояние почв фоновых таежных ландшафтов (юго-западная часть Устьянского плато) / А.Н. Геннадиев, Ю.И. Пиковский, М.А. Смирнова, А.П. Жидкин, Р.Г. Ковач // Вестник Московского университета. Серия 5. География. – 2016. – № 3. – С. 90–97.
26. Водорастворимые органические кислоты торфяных мерзлотных почв юго-востока Большеземельской тундры / Е.В. Шамрикова, Д.А. Каверин, А.В. Пастухов, Е.М. Лаптева, О.С. Кубик, В.В. Пунегов // Почвоведение. – 2015. – № 3. – С. 288–295.
27. Пиковский Ю.И. Природные и техногенные потоки углеродов в окружающей среде. – М.: Изд-во Московского государственного университета, 1993. – 208 с.
28. The structure of resin bacterial population in soil permafrost / V.S. Soina, A.L. Mulyukin, E.V. Demkina, E.A. Vorobyova, G.J. El-Registan // Astrobiology. – 2004. – V. 4. – P. 435–458.
29. Bae H.C., Cota-Robles E.H., Casida L.E. Microflora of soil as viewed by transmission electron microscopy // Application Microbiology. – 1972. – V. 23. – № 3. – P. 637–643.
30. Casida L.E. Observation of microorganisms in soil and other habitats // Application Microbiology. – 1969. – V. 18. – P. 65–71.
31. Roszak D.B., Colwell R.R. Survival strategies of bacteria in the natural environment // Microbiology. Review. – 1987. – V. 51. – P. 367–369.
32. Microbial Populations in Antarctic Permafrost: Biodiversity, State, Age and Implication for Astrobiology / D.A. Gilichinsky, G.S. Wilson, E.I. Friedmann, C.P. McKay, R.S. Sletten, E.M. Rivkina, T.A. Vishnivetskaya, L.G. Erokhina, N.E. Ivanushkina, G.A. Kochkina, V.A. Shcherbakova, V.S. Soina, E.V. Spirina, E.A. Vorobyova, D.G. Fyodorov-Davydov, B. Hallett, S.M. Ozeretskaya, V.A. Sorokovikov, K.S. Laurinavichyus, A.V. Shatilovich, J.P. Chanton, V.E. Ostroumov, J.M. Tiedje // Astrobiology. – 2007. – V. 7. – P. 275–311.

Поступила 08.06.2018 г.

Информация об авторах

Чистякова Н.Ф., доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры геоэкологии Института наук о Земле Тюменского государственного университета.

Гайнуллина И.Н., инженер НИИ «Экология и рациональное использование природных ресурсов» Тюменского государственного университета.

UDK 624.139(571.12)

TRANSFORMATION OF SOILS OF SUBARCTIC ZONE IN TYUMEN REGION AT THE STAGE OF INDUSTRIAL DEVELOPMENT OF THE TERRITORY

Nelli F. Chistyakova¹,
geokologiya@mail.ru

Irina N. Gaynullina¹,
i-r-i-n-a2009@mail.ru

¹ Tyumen State University,
6, Volodarsky street, Tyumen, 625003, Russia.

The relevance of the research is related to the need for environmental monitoring of subarctic zone soils change in the Tyumen region at the stage of developing hydrocarbon deposits in modern conditions of transformation of the region into strategic base of Russia.

The aim of the research is to evaluate the transformation of physical state and chemical composition of soils in subarctic zone of the Tyumen region under the influence of natural conditions and technogenic stress.

Methods: landscape-geochemical and statistical, soil-geochemical studies, methods for determining chemical composition of organic and inorganic pollutants of soils, decoding of space images.

Results. It is shown, that under the influence of anthropogenic load, which began in 1972, synlitogenic soils of floodplain are the most resistant to physical transformation and post-lithogenic soils – podzols – are the least resistant. The structure of soils, determined by the features of their formation and transformation should be considered the indicator of physical stability of soils. Podzols are the most susceptible to chemical transformations (on heavy metals), and floodplain soils and organogenic soils are the least susceptible; on organic matter – the soils of floodplains and organogenic soils, respectively. The indicator of chemical stability of soils is their ability to accumulate, move, release and transform inorganic and organic contamination. The area of physically transformed soils of this site at the stage of industrial development of the territory since 1972 has increased from 10,734 km² (2008) to 11,705 km² (2012).

Key words:

Subarctic zone, soils, technogenesis, contamination, stability, physical transformation, chemical transformation.

REFERENCE

1. Kuzin I.L. *Geomorfologiya Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Geomorphology of the West Siberian Plain]. St-Petersburg, State Polar Academy Publ. house, 2005. 176 p.
2. *Natsionalny atlas pochv Rossiyskoy Federatsii* [National Atlas of Soils of the Russian Federation]. Moscow, Astrel: AST Publ., 2011. 632 p.
3. Khrenov V.Ya. *Pochvy kriolitozony Zapadnoy Sibiri: morfologiya, fiziko-khimicheskie svoystva, geokhimiya* [Soils of the cryolithozone of Western Siberia: morphology, physico-chemical properties, geochemistry]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2011. 211 p.
4. Kaverin D.A., Pastukhov A.B., Lapteva E.M., Biazi K., Maruschak M., Martikainen P. Structure and properties of soils of perennial and friable peat bogs of the Southeast of the Bolshezemelskaya tundra. *Pedology*, 2016, no. 5, pp. 542–556. In Rus.
5. Pastukhov A.V., Kaverin D.A. Ecological condition of permafrost hilly peatlands in the northeast of European Russia. *Ecology*, 2016, no. 1, pp. 1–9. In Rus.
6. Körschens M. *Die abhängigkeit der organischen bodensubstanz von standort faktoren und acker-und planzenbaulichen massnahmen, ihre Beziehungen zu Bodeneigenschaften und Ertrag sowie abbauung von ersten Bodenfruchtbarkeitskennziffern für den Gehalt des Bodens*. DDR Dissertation [The abandonment of the organic soil substance of standort factors and field and planning measures, their accusations of soil properties and yield, and the completion of First soil fertility indicators for the content of the bath know. Dr. Diss.]. Berlin, 1980. 157 p.
7. Garagulya L.S., Gordeeva G.I., Ospennikov E.N. The role of geocryological processes in the formation and dynamics of cryolithozone. *Cryosphere of the Earth*, 2012, vol. XVI, no. 4, pp. 31–41. In Rus.
8. Ponomareva O.E., Grivis A.G., Berdnikov N.M. Modern dynamics of swelling and flattened peat bogs in the northern taiga of Western Siberia (by the example of the Nadym hospital). *Cryosphere of the Earth*, 2012, vol. XVI, no. 4, pp. 21–30. In Rus.
9. Pastukhov A.V., Marchenko-Vagapova T.I., Kaverin D.A., Kulizhsky S.P., Kuznetsov O.L., Panov V.S. Dynamics of development of hummocky peat bogs on the southern boundary of the East European cryolithozone. *Pedology*, 2017, no. 3, pp. 1–14. In Rus.
10. Ronkainen T., Väliranta M., McClymont E., Biasi C., Salonen S., Fontana S., Tuittila E. A combined biogeochemical and paleobotanical approach to study permafrost environments and past dynamics. *J. Quaternary Science*, 2015, vol. 30, pp. 189–200.
11. Trofimov V.T., Zilling D.G. *Ekologicheskaya geologiya* [Ecological geology]. Moscow, ZAO «Geoinformmark» Publ, 2002. 415 p.
12. Moskovchenko V.D. *Ekogeokhimiya neftegazodobyvayushchikh rayonov Zapadnoy Sibiri* [Ecogeochemistry of oil and gas producing regions of Western Siberia]. Novosibirsk, Geo Publ., 2013. 259 p.
13. Golovatskaya E.A., Duykarev E.A. Carbon budget of oligotrophic mire sites in the southern taiga of Western Siberia. *Plant and Soil*, 2009, no. 315, pp. 19–34.
14. McGill W.B., Rowell M.J. Determination of oil content of oil contaminated. *Soil. Sci. Total Environ.*, 1980, vol. 14, no. 3, pp. 245–253.
15. Chaustov A.P., Redina M.M. Geochemical markers on the basis of the ratios of PAH concentrations in oil and non-oil contaminated objects. *Geochemistry*, 2017, no. 1, pp. 57–67. In Rus.
16. Gennadiev A.N., Pikovski Yu.I., Kovach R.G., Koshovski T.C., Khlynina N.I. Hydrocarbon condition of soils in the process of oil contaminated. *Pedology*, 2016, no. 5, pp. 574–583. In Rus.
17. Solntseva N.P. *Dobycha nefti i geokhimiya prirodnykh landshaftov* [Extraction of oil and geochemistry of natural landscapes]. Moscow, Moscow State University Press, 1998. 376 p.
18. Syso A.I. Obschie zakonomernosti raspredeleniya mikroelementov v pokrovnykh otlozheniyakh i pochvakh Zapadnoy Sibiri [General regularities of distribution of trace elements in the cover sediments and soils of Western Siberia]. *Sibirskiy ekologichesky zhurnal*, 2004, no. 3, pp. 273–287.

19. Navedrov N.P., Belokon A.L., Annenkov S.A., Protsenko A.A., Protsenko E.P., Balabina N.A., Puchenkova A.V. The content of heavy metals in soils with different levels of anthropogenic load in the territory of the Kursk region. *Nauchnye vedomosti Belgorodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennyye nauki – Scientific statements of Belgorod state University. Series: Natural Sciences*, 2015, no. 3 (200), Iss. 30, pp. 117–125. In Rus.
20. Ponnampereuma F.N. The chemistry of Submerged soils. *Advan. Argon*, 1972, vol. 24, pp. 29–36.
21. Perelman A.I. *Geokhimiya* [Geochemistry]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1989. 528 p.
22. Brummer G., Herms U. Influence of soil reaction and organic matter on the solubility of heavy metals in soils. *Effects of Accumulation of Air Pollutants in Forest Ecosystems*. Eds. B. Ulrich, J. Pankrath., 1983. pp. 233–243. Available at: https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-94-009-6983-4_18 (accessed 1 June 2018).
23. Lovley D. R. Dissimilatory metal reduction. *Annual Review Microbiology*, 1993, vol. 47, pp. 263–270.
24. Karathanasis A.D. Mineral controls in colloid-mediated transport of metals in soil environments. *Geochemical and Hydrological Reactivity of Heavy Metals in Soils*. Boca Raton, Fla., Lewis Publ., 2003. 360 p.
25. Gennadiyev A.N., Pikovskiy Yu.I., Smirnova M.A., Zhidkin A.P., Kovach R.G. Hydrocarbon state of soils of the background taiga landscapes (southwestern part of the Ustyansky plateau. *Bulletin of the Moscow University, Ser. 5, Geography*, 2016, no. 3, pp. 90–97. In Rus.
26. Shamrikova E.V., Kaverin D.A., Pastukhov A.V., Lapteva E.M., Kubik O.S., Punegov V.V. Water-soluble organic acids of peaty permafrost soils of the southeast of the Bolshezemelskaya tundra. *Pedology*, 2015, no. 3, pp. 288–295. In Rus
27. Pikovskiy Yu.I. *Prirodnye i tekhnogennyye potoki uglevodorodov v okruzhayushchey srede* [Natural and technogenic flows of hydrocarbons in the environment]. Moscow, Moscow State University Press, 1993. 208 p.
28. Soina V.S., Mulyukin A.L., Demkina E.V., Vorobyova E.A., El-Registan G.J. The structure of resing bacterial population in soil permafrost. *Astrobiology*, 2004, vol. 4, pp. 435–458.
29. Bae H.C., Cota-Robles E.H., Casida L.E. Microflora of soil as viewed by transmission electron microscopy. *Application Microbiology*, 1972, vol. 23, no. 3, pp. 637–643.
30. Casida L.E. Observation of microorganisms in soil and other habitats. *Application Microbiology*, 1969, vol. 18, pp. 65–71.
31. Roszak D.B., Colwell R.R. Survival strategies of bacteria in the natural environment. *Microbiology. Review*, 1987, vol. 51, pp. 367–369.
32. Gilichinsky D.A., Wilson G.S., Friedmann E.I., Mckay C.P., Sletten R.S., Rivkina E.M., Vishnivetskaya T.A., Erokhina L.G., Ivanushkina N.E., Kochkina G.A., Shcherbakova V.A., Soina V.S., Spirina E.V., Vorobyova E.A., Fyodorov-Davydov D.G., Hallet B., Ozerskaya S.M., Sorokovikov V.A., Laurinavichyus K.S., Shatilovich A.V., Chanton J.P., Ostroumov V.E., Tiedje J.M. Microbial Populations in Antarctic Permafrost: Biodiversity, State, Age and Implication for Astrobiology. *Asrobiology*, 2007, vol. 7, pp. 275–311.

Received: 8 June 2018.

Information about the authors

Nelli F. Chistyakova, Dr. Sc., professor, Tyumen State University.

Irina N. Gaynullina, engineer, Tyumen State University.