

© Т.В. РАУДИНА, С.П. КУЛИЖСКИЙ, В.З. СПИРИНА

Томский государственный университет
tanya_raud@mail.ru, kulizhskiy@yandex.ru

УДК 502.2+631.48

**ВЛИЯНИЕ КРИОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ
НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРОФИЛЯ ПОЧВ
ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ТАЗОВСКОГО ПОЛУОСТРОВА**

**INFLUENCE OF CRYOGENIC PROCESSES
ON THE SOIL PROFILE FORMATION IN THE CENTRAL PART
OF THE TAZOVSKIY PENINSULA**

На основе результатов исследования мерзлотных почв тундровых ландшафтов Субарктики, на примере почв центральной части Тазовского полуострова получены данные, характеризующие закономерности формирования, строения и свойств почв в условиях криогенеза. Отмечена специфичность распределения почв и проявления процессов почвообразования в пределах исследованной территории. Установлена взаимосвязь варьирования почвенных свойств, строения почвенного профиля и криогенных процессов. Несоответствие между малой скоростью химического и биохимического превращения исходного материала, вступающего в почвообразование, и сравнительно большая скорость выноса освобождающихся растворимых продуктов, значительное влияние криогенных процессов, сопровождаемых оттаиванием, а также криогенное пучение глинистых и торфяных грунтов, обусловленное промерзанием пород, откладывают отпечаток на генезис и свойства рассматриваемых почв. В зависимости от факторно-экологических условий комбинация почвообразовательных макропроцессов (криогенез, глеегенез, детритогенез) наиболее полно характеризует суть тундрового почвообразования рассматриваемой территории.

Based on the results of the research of permafrost soils tundra landscapes formed in the central part of the Tazovskiy Peninsula in cryogenic conditions, data were obtained which characterize the patterns of formation, structure, and properties of soils. The specificity of soil cover distribution and manifestation of soil-forming processes within the investigated area is revealed. The interrelation of variation of soil properties, soil profile structure and cryogenic processes is stated. The discrepancy between the small speed of chemical and biochemical transformation of the initial material under soil formation, rather high speed of carrying out of the released soluble products, considerable influence of the cryogenic processes accompanied with thawing, as well as the cryogenic heaving of clay and peat soil caused by frost penetration in breeds affects the genesis and properties of the considered soils. Depending on the factor-ecological conditions, the combination of soil-forming macroprocesses (cryogenesis, gleying, detritogenesis) best describes the essence of tundra pedogenesis of the investigated area.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА. Педокриогенез, почвы тундры, горизонт, гумус, оподзоливание, оглеение.

KEY WORDS. Pedocryogenesis, tundra soils, horizon, humus, podzolization, gleying.

На территории России площадь почв, формирующихся в условиях вечной мерзлоты, составляет 63,5% [1], что определяет необходимость их последовательного и детального изучения. Влияние мерзлоты способствует проявлению специфической совокупности элементарных и частных почвенных процессов, это отражается на обмене, превращении и перемещении веществ и энергии в почве. По мнению В.О. Таргульяна [2], мерзлое состояние почв оказывает большое влияние на интенсивность процессов почвообразования, существенно сокращая его активный период, а также видоизменяя химическое и биохимическое превращение и миграцию веществ. Изучая почвообразование в холодных гумидных областях и характер влияния многолетней и длительной сезонной мерзлоты на свойства и режимы почв, О.В. Макеев [3-4] предлагал рассматривать криогенез как субфактор почвообразования, в котором сочетаются климатические (отрицательные температуры почвенного профиля) и породные (цементация породы льдом) особенности. Изучение криогенных почв не менее важно и в связи со значительным увеличением на них антропогенной нагрузки, связанной с освоением новых территорий нефтегазовых месторождений, а также с проявлением климатических изменений, которые подтверждаются температурным трендом последнего времени [5]. Влияние изменения климата на ландшафтные процессы будет наибольшим именно в арктических (субарктических) районах — особенно чувствительных к температурным изменениям под действием вечной мерзлоты. В результате эволюционного, медленного течения криогенных процессов влияние мерзлоты способствует формированию своеобразных мерзлотных почв, а при ее деградации происходит их разрушение. Изучение основных закономерностей почвообразования на вечномерзлых грунтах, а также понимание биосферных функций почвенного покрова даст возможность решить многие теоретические и практические задачи. Поэтому целью исследования явилось изучение влияния криогенных процессов на закономерности формирования, а также строения и свойств тундровых ландшафтов Субарктики, на примере мерзлотных почв центральной части Тазовского полуострова.

Объекты и методы исследования. Район исследования расположен в северной части Западной Сибири в пределах криолитозоны. Согласно физико-географическому районированию, данный район находится на территории Надымского района Тюменской области, ЯНАО на западе центральной части Тазовского полуострова в пределах распространения южной (кустарничковой) тундры. По почвенно-географическому районированию [6], этот район относится к Северо-Сибирской (Тазовской) провинции фации холодных мерзлотных глеевых и тундровых иллювиально-гумусовых глееподзолистых почв тундры Евразийской области полярного пояса.

Особенность исследуемой территории заключается прежде всего в экстремальном сочетании тепла и влаги, в преобладании на водоразделах олиготрофной растительности с малой емкостью биологического круговорота. Суровость климатических условий обусловлена неравномерным поступлением в течение года солнечной радиации, атмосферной циркуляцией воздушных масс морского

происхождения. Циклоническая циркуляция создает большую суточную изменчивость температуры воздуха, значительную повторяемость сильных ветров и частое выпадение неинтенсивных осадков. Однако климат севера Западной Сибири более умеренный по сравнению с климатическими условиями тундр Восточной и Средней Сибири. В тесной связи с указанной биоклиматической спецификой находится геохимическая самобытность холодных областей.

В соответствии с зональным делением Западной Сибири изучаемая часть Тазовского полуострова находится в зоне субарктических тундр в подзоне южных тундр [7], и криогенные условия здесь создают особую среду обитания растений. Все тундровые ландшафты характеризуются специфическим составом растительности и своеобразием ее пространственного распространения; так, преобладающим типом являются низкокустарничковые ерниковые кустарничково-лишайниковые бугорковатые тундры [8].

Ведущими факторами, коррелирующими с тундровой растительностью, являются формы рельефа, температурный режим, льдистость грунтов, сезонно-талый слой. Высокую степень неоднородности макро- и нанорельефа обуславливают криогенные условия, процессы промерзания-протаивания грунтов, дифференциация мерзлотных форм рельефа, что влияет на неоднородность почвенного покрова. Отмечается широкое распространение морозобойного растрескивания, как наиболее яркое проявление криогенеза. С этим процессом связано формирование сложноорганизованных педокриогенных структур. На поверхности криогенные структуры выражены характерным западным микро-рельефом и растрескиванием почвы на блоки-полигоны. Все перечисленные факторы неразрывно связаны друг с другом, однако главным дифференцирующим фактором среды тундровых территорий является мерзлота.

По причине высокой комплексности почвенного покрова тундр на каждой из пробных площадей выбор точек отбора образцов и описания почв производился в соответствии с микро- и нанорельефом: по возможности выбиралось модальное сопряжение, состоящее из наиболее высокого и низкого участков. Так, в ходе работ были отобраны почвы, наиболее типично характеризующие почвенный покров данной территории и особенности его формирования. Обследование территории осуществлялось методом маршрутов с использованием преимущественно сравнительно-географического метода исследования, также морфологического для оценки свойств почв на уровне почвенного профиля и генетических горизонтов, и для выявления форм и степени проявления криогенных процессов. Химические, физико-химические свойства и гранулометрический состав определялись по общепринятым в почвоведении методам [9-10]. Диагностика почв проводилась с использованием «Классификации и диагностики почв России» [11].

Результаты и их обсуждение. Вечная мерзлота, располагающаяся близко к дневной поверхности, не может не оказывать влияния на вышележащий почвенный слой. В связи с этим можно утверждать, что она действует не только на формирование микрорельефа и развитие местности, но и обуславливает характер почвенных процессов [12]. Промерзание и мерзлое состояние почв, как следствие холодного периода, оказывают существенное влияние на формирование почв исследуемой территории Тазовского полуострова, сильно замедляя или значительно видоизменяя химические, биохимические процессы превраще-

ния и миграции веществ и значительно сокращая активный период почвообразования. Основной общей особенностью почвообразования, а также выветривания для данной территории является несоответствие между малой скоростью химического и биологического превращения исходного материала, вовлеченного в процессы почвообразования, и сравнительно большой скоростью выноса из среды освобождающихся растворимых продуктов. Направление процессов превращения и миграции веществ, характер образующихся при этом продуктов почвообразования и строение почвенного профиля зависят от того, как избыточное увлажнение реализуется в почвенной толще, что подтверждается нашими предыдущими исследованиями [13]. В связи с этим, в зависимости от характера внутреннего дренажа почвенного профиля, выделено две различные группы почв: глеевые с затрудненным внутренним дренажом (рис. 1) и неглеевые со свободным дренажом (рис. 2).

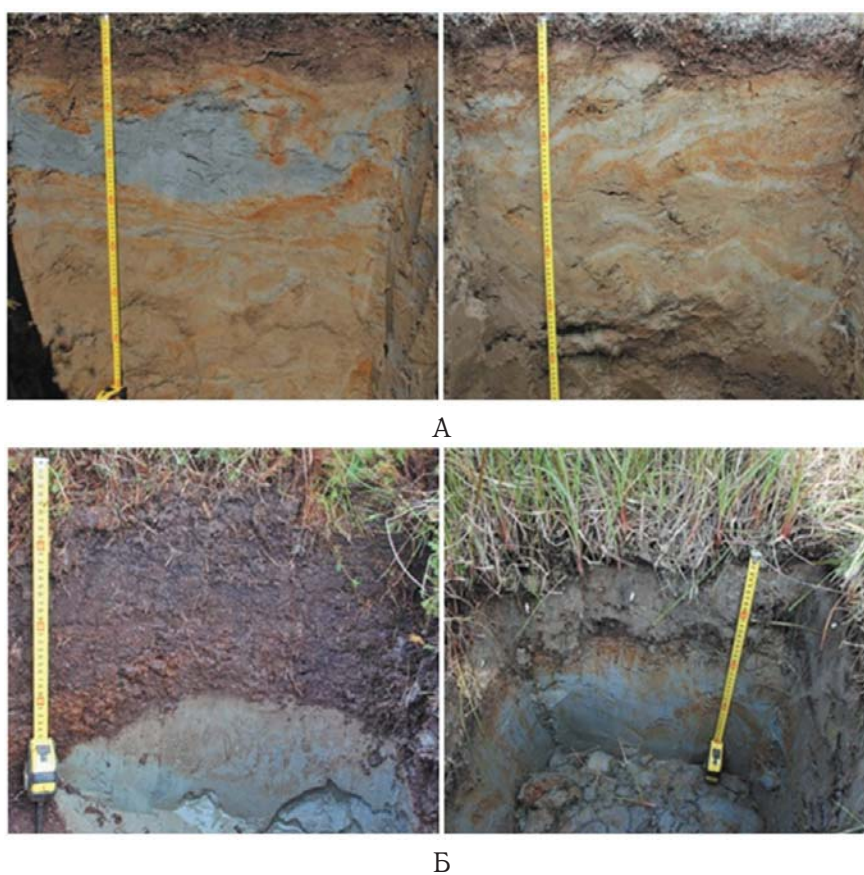


Рис. 1. Профили почв с затрудненным внутренним дренажом:
А — глееземы криогурбированные окисленно-глеевые; Б — торфяно-глееземы.

Наиболее типичными для данной территории, характеризующими почвенный покров и особенности его формирования, являются глееземы (рис. 1), формирующиеся в гидроморфных условиях на породах среднего и легкого гранулометрического состава, и алфегумусовые почвы, развивающиеся в

условиях свободного поверхностного и внутрипочвенного дренажа на рыхлых отложениях легкого состава. Почвенное разнообразие отдела глеевых почв представлено глееземом грубогумусированным криогенно-ожелезненным, глееземом криотурбированным окисленно-глеевым, торфяно-глееземом потечно-гумусовым. Данные почвы приурочены главным образом к склонам водораздельных холмов, гряд, к плоским выровненным поверхностям между речий. Для них характерно близкое залегание льдистой многолетней мерзлоты, обуславливающей задержание почвенного профиля снизу, переувлажнение и оглеение деятельного слоя, длительное пребывание в мерзлом состоянии, медленное оттаивание и общая холодность. Отдел объединяет почвы, общей чертой профиля которых является глеевый горизонт, залегающий под грубо-органогенным или гумусовым горизонтом, который является типичным для почв тундры.

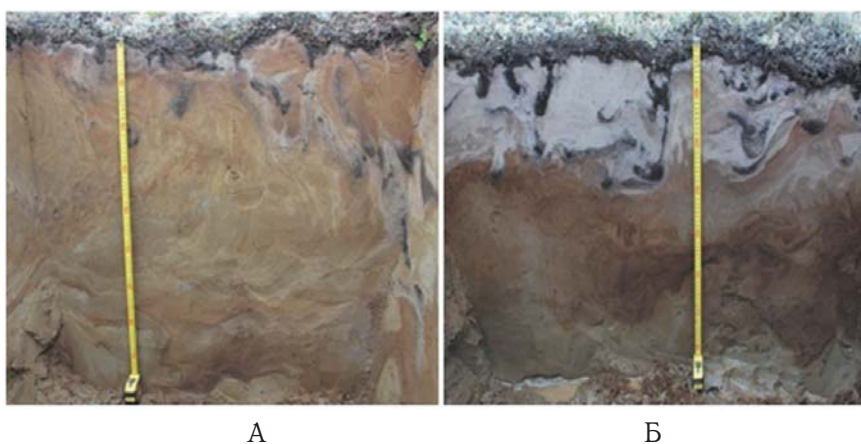


Рис. 2. Профили почв со свободным внутренним дренажом:
А — подбур оподзоленный глееватый криотурбированный грубогумусированный;
Б — подзол иллювиально-железисто-гумусовый глееватый криотурбированный.

Отдел альфегумусовых почв (рис. 2) представлен подбуром глееватым оподзоленным криотурбированным грубогумусированным, торфяно-подбуром оподзоленным, подзолом иллювиально-железисто-гумусовым глееватым криотурбированным. Данные почвы в морфологическом строении и аналитически характеризуются четко выраженной иллювиальной аккумуляцией алюмо-железо-гумусовых соединений, формирующих специфический хемогенный AL-Fe-гумусовый (альфегумусовый) горизонт ВНФ, окраска которого зависит от соотношения органического вещества и оксидов Fe. Имея различные свойства, этот горизонт является диагностическим, он сформирован под влиянием одного процесса (альфегумусового иллювиирования) и представляет единое генетическое образование.

В результате действия процессов почвенного криогенеза в почвах формируются соответствующие признаки, режимы, специфические горизонты и почвенные таксоны. Явления данных процессов отражаются в рельефе, изменяя структуру почвенного покрова, профиль почвы, отдельный генетический

горизонт, оказывают существенное влияние на молекулярном и ионном уровнях. Основным механизмом криогенной дифференциации почвенной массы данных территорий является восстановительная мобилизация железа, его миграция к фронтам промерзания и осаждение на окислительном барьере на верхней и нижней границах глеевого горизонта. Так, характерной чертой строения профиля криогенно-ожелезненных глееземов является наличие под органическим горизонтом ярко окрашенного в сизо-голубые тона глеевого горизонта, отороченного сверху и обычно снизу резко контрастирующей по цвету охристой каймой «окисленного глея», часто обладающего «икряной» структурой.

Следует также отметить большую роль криогенных почвенных процессов, которые в значительной мере определяют «физический» профиль почв, распределение гранулометрических фракций, агрегацию минеральной массы, ослабление подзолообразования и радиального переноса продуктов био- и педогенеза. Все этапы развития данной территории находят в полной мере свое отражение в гранулометрическом составе исследуемых почв. Фильтрационная и водоудерживающая способность, скорость просыхания, тепловой режим почв определяются гранулометрическим составом. Так, глеезем грубогумусированный криогенно-ожелезненный и глеезем криотурбированный окисленно-глеевый характеризуются среднесуглинистым гранулометрическим составом, ближе к легкому суглинку. Наблюдается преобладание фракции мелкого песка, в нижних горизонтах происходит небольшое увеличение крупнопесчаных и доля иловатых частиц. В торфяно-глееземе потечно-гумусовом минеральные горизонты представлены средними суглинками. Среди гранулометрических частиц преобладает крупная пыль, на втором месте — фракция мелкого песка, также отмечается значительная доля илистых частиц. Утяжеление гранулометрического состава, отмечаемое в данных почвах, сказывается на их внутреннем дренаже, который более затруднен, и это в свою очередь приводит к развитию восстановительных процессов и внутрпочвенному оглеению даже при отсутствии близких к поверхности грунтовых вод.

Почвы более легкого гранулометрического состава (рассматриваемые альфегумусовые почвы) имеют свободный внутренний дренаж и, как правило, оказываются более «теплыми», то есть быстрее оттаивают и прогреваются солнцем. Так, подбур оподзоленный глееватый криотурбированный отличается преобладанием фракции крупной пыли как в верхних легкосуглинистых, так и в нижних ближе к супеси горизонтах. В нижней части почвенного профиля происходит увеличение мелкого песка. В типе торфяно-подбур оподзоленном грубогумусированном по всему профилю преобладают частицы мелкого песка и содержится значительная доля илистой фракции. Гранулометрический состав этих почв ближе к среднему суглинку. Профиль подзола иллювиально-железисто-гумусового глееватого криотурбированного характеризуется песчаным гранулометрическим составом в верхних и легкосуглинистым в нижних горизонтах. Среди гранулометрических фракций наблюдается увеличение среднего и мелкого песка. В профиле почвы прослеживается дифференциация иловатых частиц по элювиально-иллювиальному типу. Особенно решающую роль гранулометрический состав играет в данном холодном

гумидном районе, где формирование профиля почв идет по подзолисто-му или глее-элювиальному типу.

Следует отметить, что роль криогенных почвенных процессов сказывается также на характере превращения растительных остатков, составе и свойствах гумуса и его распределении в почвенном профиле. Поэтому гумусообразование в почвах на данной территории происходит в весьма специфических условиях [14]. Промерзшее состояние, переувлажнение почв приводит к консервации органических остатков либо их трансформации до грубого гумуса. Рассматривая содержание органического углерода, следует отметить, что в целом исследуемые почвы характеризуются его небольшими величинами, однако в торфянистых горизонтах сосредоточены основные запасы углерода, где его количество достигает 30%. Наблюдается некоторое увеличение углерода с глубиной, что связано с высокой подвижностью органического вещества и его латеральной миграцией. Это явление накопления гумуса в нижней части профиля Н.А. Караваева и В.О. Таргульян [15] назвали мерзлотной ретинизацией гумуса (аккумуляция гумуса над мерзлотным слоем). Таким образом, многолетняя мерзлота и суровые климатические условия и, как следствие, заторможенный, застойный, с малой емкостью и низким содержанием оснований биологический круговорот в зоне тундры приводят к образованию кислого гумуса фульватной природы [16-17]. Как правило, практически во всей толще (исключая верхние горизонты) для качественного состава гумуса исследуемых почв характерно многократное преобладание фульвокислот над гуминовыми и господство фракций гумусовых кислот, связанных с полуторными оксидами. Среди обеих групп гумусовых кислот основную роль играют подвижные формы. Значение гуматов и фульватов кальция невелико вследствие дефицита кальция в биологическом круговороте.

Продуцируемые кислые органические соединения, а также бедность минералогического состава определяют кислую реакцию среды почвенного раствора. Так, в глееземе грубогумусированном криогенно-ожелезненном отмечается 5,9 единиц рН в горизонте ВСg. Для торфяно-глеезема, в связи с его положением в рельефе и привнесом кислых продуктов разложения органического вещества, характерна более кислая реакция среды, особенно для верхних торфянистых горизонтов. Реакция среды альфагумусовых почв более кислая в верхних органо-генных горизонтах и менее кислая в нижней части профиля. В торфяном горизонте величина рН составляет 4,1 единицы.

С содержанием органического вещества в почве тесно связано количество и распределение валового азота. Во всех типах исследуемых почв максимальное его содержание сосредоточено в собственно гумусовых веществах почвы (гуминовых кислотах, фульвокислотах и т.д.) и приурочено к верхним горизонтам. В почвах наблюдается постепенное убывание азота в глубь профиля. Так, в глееземе грубогумусированном криогенно-ожелезненном в горизонте ВСg на глубине 49-100 см азота содержится 0,02%. Наиболее высокая величина валового азота в горизонте ВНФ характерна для торфяно-подбура оподзоленного и составляет 3,15% в горизонте ВНФ. Самое низкое содержание азота отмечается в почвах отдела глеезема (0,02-0,7%). Фосфор, как и азот, являясь важнейшим биогенным элементом, аккумуляруется в основном в наи-

более гумусированных горизонтах, что связано с малой растворимостью и слабой подвижностью соединений фосфора, однако в некоторых почвах заметно небольшое увеличение в минеральной части профиля. В горизонте G глеезема грубогумусированного криогенно-ожелезненного его величина составляет 0,14% и 0,09% в горизонте ВFCtr₂ подбура глееватого оподзоленного криотурбированного. Относительное накопление фосфора в иллювиальных горизонтах почв может быть связано с оглеением, особенно в случае образования вивианита — вторичного минерала, представленного соединением закисного железа с фосфором. В целом полученные экспериментально показатели характеризуют почвы северных территорий низким содержанием валового азота и фосфора, что подтверждается данными В.Я. Хренова [18], В.Д. Тонконова [19] и других.

Содержание обменных оснований в изученных почвах связано с разной интенсивностью протекающих почвообразовательных процессов и коррелирует с содержанием гумуса и с количеством илстых частиц. Распределение их по профилю является типичным для почв, в формировании которых участвует подзолистый процесс. В связи с этим наименьшие величины суммы поглощенных оснований наблюдаются в элювиально-иллювиальных горизонтах. Как отмечала В.Д. Васильевская [20], по величине выноса оснований из элювиальных горизонтов можно судить об интенсивности подзолообразования. В гумусовых или органогенных горизонтах их содержание колеблется от 6 до 37, 3 мг-экв/100 г. почвы. Количество поглощенных катионов в глееземах в отличие от альфегумусового ряда почв распределено по профилю более равномерно. В составе поглощенных катионов преобладает кальций. Характеризуя степень насыщенности почв основаниями, можно отметить, что данные почвы не насыщены или слабо насыщены основаниями, что обусловлено содержанием поглощенных катионов и гидролитической кислотностью.

Количество железа в исследованных почвах определялось в вытяжке Гамма, в которую переходит аморфное железо. Одной из важных для генезиса почв особенностей железа является его способность менять валентность. Как отмечает С.В. Зонн [21], аморфные формы железа образуются в значительных количествах при выветривании силикатных железистых минералов, а также могут образовываться при избыточном увлажнении (поверхностном). Рассмотренные глееземы характеризуются дифференциацией профиля по содержанию железа в связи с подтягиванием соединений к фронтам промерзания. Сизоголубой глеевый горизонт, содержащий 0,4% железа, отделен сверху и снизу охристой каймой, имеющей до 0,6% железа. Распределение подвижного железа в профиле альфегумусовых почв имеет элювиально-иллювиальный характер. Почвы характеризуются промывным водным режимом и более легким гранулометрическим составом, в результате железо выносится вниз по профилю и часть его задерживается в иллювиальных горизонтах. В гумусированных горизонтах происходит слабое биогенное накопление доступного железа за счет образования железо-гумусовых комплексов. В грубогумусовом горизонте АО подбура глееватого оподзоленного криотурбированного и подзола глееватого иллювиально-железисто-гумусового содержание аморфного железа составляет 0,12 и 0,08% соответственно. В иллювиальных горизонтах

железа содержится значительно больше, что обусловлено, по мнению С.В. Зонна [21], его переводом из первичных минералов в аморфные формы, часть из которых мигрирует из элювиальных горизонтов в виде гидратных коллоидов и закисных форм в иллювиальные горизонты, где оно и аккумулируется. Содержание железа в иллювиальном горизонте подбура глееватого оподзоленного криотурбированного составляет 0,28%, в торфяно-подбуре оподзоленном — 0,50%. Таким образом, интенсивность образования и особенности распределения форм железа зависят от многих факторов, и прежде всего от характера, длительности и степени увлажнения, а также от количества свободного железа и от тех климатических условий, в которых происходит развитие того или иного процесса.

В целом в морфологических признаках, химических и физико-химических свойствах почв, связанных с условиями формирования данной территории, наблюдаются специфические особенности, такие как криотурбация почвенного профиля, тиксотропия, высокая подвижность железа и органического вещества, низкая емкость поглощения с малой степенью насыщенности основаниями и другие. Слабая интенсивность химического и биохимического превращения исходного материала, большая скорость выноса растворимых продуктов, криогенные процессы, а также криогенное пучение, обусловленное промерзанием пород наложили отпечаток на свойства рассматриваемых почв.

Заключение. Своеобразные природные условия изучаемой центральной части Тазовского полуострова, а именно — продолжительное сезонное промерзание, наличие вечной мерзлоты, пространственная и внутривертикальная изменчивость литологического и гранулометрического состава почвообразующих пород, различная степень дренированности территории, сочетание различных типов растительности обусловили проявление процессов оподзоливания, криогенеза, поверхностного и глубинного оглеения, и как следствие — специфичность некоторых физико-химических свойств. Господствующее положение в почвенном покрове занимают глееземы, формирующиеся в гидроморфных условиях на породах среднего и легкого гранулометрического состава, и альфегумусовые почвы, образование которых происходило в условиях свободного поверхностного и внутривертикального дренажа на рыхлых отложениях легкого гранулометрического состава.

Несоответствие между малой скоростью химического и биохимического превращения исходного материала, вступающего в почвообразование, и сравнительно большой скоростью выноса освобождающихся растворимых продуктов, значительное влияние криогенных процессов, сопровождающихся оттаиванием, а также криогенное пучение глинистых и торфяных грунтов, обусловленное промерзанием пород, откладывают отпечаток на генезис и свойства рассматриваемых почв. Большая роль процессов криогенеза отмечается и в определении «физического» профиля почв. Так, рассмотренный комплекс климатических условий, а именно — влияние вечной мерзлоты становится весьма существенным фактором почвообразования, оказывая прямое и непосредственное действие на почвенные процессы, свойства и на создание разнообразия почвенного покрова в зоне южной тундры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Некрасов И.А. Вечна ли вечная мерзлота? М.: Недра, 1991. 128 с.
2. Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. М.: Наука, 1971. 258 с.
3. Макеев О.В. Криогенные почвы // В сб.: Криогенные почвы и их рациональное использование. М.: Наука, 1977. С. 64-68.
4. Макеев О.В. Почва, мерзлота, крепедология // Почвоведение. 1999. № 8. С. 947-957.
5. Serreze, M. C., Walsh, J. E., Chapin, F. S., Osterkamp, T., Dyurgerov, M., Romanovsky, V., Oechel, W. C., Morison, J., Zhang, T. and Barry, R. G. Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment // *Clim. Change*, 2000. Vol. 46. Pp. 159-207.
6. Добровольский Г.В., Урусевская И.С. География почв. М.: Изд-во МГУ, 2004. 460 с.
7. Александрова В.Д. Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. Л.: Наука, 1977. 188 с.
8. Валеева Э.И. Зональные особенности растительного покрова Тазовского полуострова и его техногенная трансформация // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2008. № 9. С. 174-190.
9. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: МГУ, 1998. 425 с.
10. Середина В.П., Спирина В.З. Аналитические методы исследования почв. Томск: ТГУ, 2007. 106 с.
11. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Изд-во Ойкумена, 2004. 342 с.
12. Соколов И.А., Конюшков Д.Е., Наумов Е.М., Ананко Т.В., Якушева Т.Е. Почвенный криогенез // Почвообразовательные процессы. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 2006. С. 144-166.
13. Raudina T.V., Kulizhskiy S.P. Features of Soil Formation in the North of Western Siberia in Cryogenic Conditions. *World Academy of Science, Engineering and Technology, International Science Index 89 // International Journal of Environmental, Earth Science and Engineering*. 2014. V. 8. № 5. Pp. 1-5.
14. Кленов Б.М., Чимитдоржиева Г. Д. Влияние континентальности климата на гумусообразование и элементный состав гуминовых кислот автоморфных почв Сибири // Сибирский экологический журнал. 2011. №5. С. 665-671.
15. Караваева Н.А., Таргульян В.О. К изучению почв тундр Северной Якутии // О почвах Восточной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 53-72.
16. Гришина Л.А. Биологический круговорот и его роль в почвообразовании. М.: МГУ, 1974. 128 с.
17. Кленов Б.М. Гумус почв Западной Сибири. М.: Наука, 1981. 44 с.
18. Хренов В.Я. Почвы криолитозоны Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 2011. 211 с.
19. Тонконогов В.Д. Автоморфное почвообразование в тундровой и таежной зонах Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2010. 287 с.
20. Васильевская В.Д., Иванов В.В., Богатырев Л.Г. Почвы севера Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ, 1986. 229 с.
21. Зонн С.В. Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 208 с.

REFERENCES

1. Nekrasov, I.A. *Vechna li vechnaia merzlota?* [Is the Permafrost Permanent?]. Moscow: Nedra, 1991. 128 p. (in Russian).
2. Targul'ian, V.O. *Pochvoobrazovanie i vyvetrivanie v kholodnykh gumidnykh oblastiakh* [Soil Formation and Weathering in Cold Humid Regions]. Moscow: Nauka, 1971. 258 p. (in Russian).

3. Makeev, O.V. Cryogenic soils // *Kriogennye pochvy i ikh ratsional'noe ispol'zovanie* [Cryogenic Soils and Their Rational Use]. Moscow: Nauka, 1977. Pp. 64-68. (in Russian).
4. Makeev, O.V. Soil, permafrost, cryopedology. *Pochvovedenie — Soil Science*. 1999. № 8. Pp. 947-957. (in Russian).
5. Serreze, M.C., Walsh, J.E., Chapin, F.S., Osterkamp, T., Dyurgerov, M., Romanovsky, V., Oechel, W.C., Morison, J., Zhang, T. and Barry, R.G. Observational evidence of recent change in the northern high-latitude environment. *Climate Change*. 2000. Vol. 46. Pp. 159-207.
6. Dobrovolskii, G.V., Urusevskaya, I.S. *Geografiia pochv* [Soil Geography]. Moscow, 2004. 460 p. (in Russian).
7. Aleksandrova, V.D. *Geobotanicheskoe raionirovanie Arktiki i Antarktiki* [Geobotanical Zoning of the Arctic and Antarctic]. Leningrad: Nauka, 1977. 188 p. (in Russian).
8. Valeeva, E.I. Zonal features of vegetation cover on the Tazovskiy Peninsula and its technogenic transformation. *Vestnik ekologii, lesovedeniia i landshaftovedeniia — Bulletin of Ecology, Forestry and Landscape Science*. 2008. № 9. Pp. 174-190. (in Russian).
9. Vorob'eva, L.A. *Khimicheskii analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. Moscow, 1998. 425 p. (in Russian).
10. Seredina, V.P., Spirina, V.Z. *Analiticheskie metody issledovaniia pochv* [Analytical Methods of Soils Research]. Tomsk, 2007. 106 p. (in Russian).
11. *Klassifikatsiia i diagnostika pochv Rossii* [Classification and Examination of Russian Soils]. Smolensk, 2004. 342 p. (in Russian).
12. Sokolov, I.A., Koniushkov, D.E., Naumov, E.M., Ananko, T.V., Iakusheva, T.E. Soil cryogenesis / In: *Pochvoobrazovatel'nye protsessy* [Soil-Forming Processes], Moscow, 2006. Pp. 144-166. (in Russian).
13. Raudina, T.V., Kulizhskiy, S.P. Features of Soil Formation in the North of Western Siberia in Cryogenic Conditions. *International Journal of Environmental, Earth Science and Engineering*. 2014. V. 8. № 5. Pp. 269-273. URL: <http://waset.org/publications/9998105/features-of-soil-formation-in-the-north-of-western-siberia-in-cryogenic-conditions> (in Russian).
14. Klenov, B.M., Chimitdorzhieva, G. D. The impact of continental climate on humification and elemental composition of humic acids of Siberian automorphic soils. *Sibirskii ekologicheskii zhurnal — Siberian Ecological Journal*. 2011. № 5. Pp. 665-671. (in Russian).
15. Karavaeva, N.A., Targul'ian, V.O. To the study of tundra soils of Northern Yakutia / In: *O pochvakh Vostochnoi Sibiri* [Concerning Soils of Eastern Siberia]. Moscow, 1963. Pp. 53-72. (in Russian).
16. Grishina, L.A. *Biologicheskii krugovorot i ego rol' v pochvoobrazovanii* [Biological Cycle and Its Role in Soil Formation]. Moscow, 1974. 128 p. (in Russian).
17. Klenov, B.M. *Gumus pochv Zapadnoi Sibiri* [Soils Humus of Western Siberia]. Moscow: Nauka, 1981. 44 p. (in Russian).
18. Khrenov, V.Ia. *Pochvy kriolitozony Zapadnoi Sibiri* [Soils of Western Siberia Cryolithozone]. Novosibirsk: Nauka, 2011. 211 p. (in Russian).
19. Tonkonogov, V.D. *Avtomorfnoe pochvoobrazovanie v tundrovoi i taezhnoi zonakh Vostochno-Evropeiskoi i Zapadno-Sibirskoi ravnin* [Automorphic Soil Formation in the Tundra and Taiga Areas of the East European and West Siberian Plains]. Moscow, 2010. 287 p. (in Russian).
20. Vasil'evskaia, V.D., Ivanov, V.V., Bogatyrev, L.G. *Pochvy severa Zapadnoi Sibiri* [Soils of the North of West Siberia]. Moscow, 1986. 229 p. (in Russian).
21. Zonn, S.V. *Zhelezo v pochvakh* [Ferrum in Soils]. Moscow: Nauka, 1982. 208 p. (in Russian).

Автор публикации

Раудина Татьяна Валериевна — аспирант кафедры почвоведения и экологии почв, младший научный сотрудник лаборатории Bio-Geo-Clim Томского государственного университета

Кулижский Сергей Павлович — профессор кафедры почвоведения и экологии почв Томского государственного университета, доктор биологических наук

Спирина Валентина Захаровна — доцент кафедры почвоведения и экологии почв Томского государственного университета, кандидат биологических наук

Authors of the publication

Tatiana V. Raudina — Post-graduate Student, Department of Soil Science and Soil Ecology, Junior Researcher, Laboratory of Biogeochemical and Remote Techniques of Environment Monitoring, Tomsk State University

Sergey P. Kulizhsky — Dr. Sci. (Biol.), Professor, Department of Soil Science and Soil Ecology, Tomsk State University

Valentina Z. Spirina — Dr. Sci. (Biol.), Associate Professor, Department of Soil Science and Soil Ecology, Tomsk State University