

Санкт-Петербургский Государственный университет

Биологический факультет

Кафедра Прикладной экологии

Поляков Вячеслав Игоревич

Почвенное разнообразие дельты реки Лена

Выпускная квалификационная работа магистра

Работа выполнена на кафедре Прикладной экологии

Научный руководитель:
д.б.н., и.о. зав. кафедры прикладной экологии
Абакумов Евгений Васильевич

Санкт-Петербург
2017

Оглавление

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| 1. Особенности формирования аллювиальных и плакорных почв Крайнего Севера | 5 |
| 1.1 Аллювиальные почвы Субарктики | 5 |
| 1.2 Почвы образующиеся на плакорных и водораздельных элементах ландшафта криолитозоны в республике Саха(Якутия) | 17 |
| 2. Объекты и методы | 27 |
| 3. Результаты и обсуждение | 38 |
| 3.1 Морфогенетическая характеристика почв, их таксономическое положение | 38 |
| 3.2 Реакция среды в почвах | 41 |
| 3.3 Оценка микробиологической активности почв | 41 |
| 3.4 Оценка содержания органического углерода в почве | 45 |
| 3.5 Оценка водно-физических свойств почвы | 49 |
| 3.6 Параметризация экологических функций почвы дельты реки Лены | 54 |
| 3.7 Гумусное состояние почв | 57 |
| 3.8 Методические аспекты определения углерода и азота в полярных почвах | 59 |
| Обсуждение | 62 |
| Выводы | 65 |
| Заключение | 68 |
| Список использованных источников | 69 |

Введение

Почвы дельт криолитозоны образуются в условиях сурового арктического климата и характеризуются отрицательными среднегодовыми температурами (-13°C), малым годовым количеством осадков в размере, приближенном к 190 мм. Растительный покров представлен тундровыми видами: здесь преобладают злаково-осоково-моховые ценозы, в понижениях рельефа - гипново-осоковые полигональные болота.

Почвы пойм представлены как относительно молодыми, недавно образованными участками (прибрежные отмели, заросшие водоемы), едва затронутыми почвообразовательным процессом, так и участками относительно большего возраста, уже вышедшими из сферы ежегодной поемности и покрытыми вполне развитыми почвами с выраженными признаками зональных черт почвообразования.

Формирование почв пойм происходит под действием нескольких почвообразовательных процессов, поемно-аллювиального и зонального. Аллювиальный процесс - принос водами взмученного материала, размывание поймы и переотложение на ее поверхности взвешенных в воде частиц в виде слоя наилка. Поемный процесс - это затопление той или иной территории поймы полыми водами, которые несут взвешенный мелкий песчаный и пылевато-глинистый материал. Зональный процесс для почв арктической зоны - криогенез (криогенный массообмен, оглеение, перераспределение гумусовых веществ по профилю, термокарстовые процессы).

Связующим звеном между пулами наземного углерода, атмосферой и арктическим шельфом являются реки высоких широт. Они играют ключевую роль при перераспределении и трансформации углерода, который поступает в океан. Река Лена, впадая в Море Лаптевых, оказывает большое влияние на Северный Ледовитый океан. Это заключается в том, что река является одним из главных поставщиков органического и неорганического углерода и во многом определяет цикл органического углерода в Арктическом бассейне. Особое внимание уделяется влиянию речного стока на обменные процессы в системе океан-атмосфера и формированию планетарного максимума парниковых газов в высоких широтах.

Таким образом, актуальность данной работы состоит в том, что почвы дельты реки Лены являются одними из самых малоизученных почв в мире. Они развиваются в зоне залегания ММП и аккумулируют в себе огромные запасы органического углерода. Почвы оказывают существенное влияние на химические характеристики Моря Лаптевых и всего Арктического водного бассейна.

Цель работы состоит в комплексном выявлении таксономического и морфологического разнообразия почв дельты реки Лены.

Задачи работы:

- провести морфогенетическую характеристику и таксономическое положение почв;
- выявить основных параметров физико-химического состояния почв;
- оценить водно-физические свойства почв как основу выполнения ими важнейших геохимических функций;
- провести параметризацию экологических функций почв.

Сбор материала проходил в рамках комплексной экспедиции "LenaRiverDelta" в августе 2015 и августе 2016 года. Обработка данных проходила на кафедре прикладной экологии СПбГУ.

1. Особенности формирования аллювиальных и плакорных почв

Крайнего Севера

1.1 Аллювиальные почвы Субарктики

Пойменные почвы сильно отличаются от почв водораздельных пространств по своему генезису и свойствам. Они занимают сравнительно небольшую площадь и имеют большую ценность в хозяйственном использовании. Именно по долинам рек земледелие глубоко проникает на север. Важнейшей особенностью пойменных почв является их топография, их близкое расположение к водам и водным путям (Добровольский, 2005; Соколов, 1952; Лозовик, 2007).

Почвы пойм являются одними из самых слабоизученных в связи с изменением природных условий в долинах рек, обусловленным хозяйственной деятельностью. Как следствие, на сегодняшний день этот вопрос остается недостаточно изученным, и отсутствует необходимое количество материалов по режиму биологических, химических и физико-химических условий, протекающих в долинах рек.

Поймы рек - одни из самых молодых и динамичных участков земной суши, они представляют совершенно уникальный тип ландшафта, подверженный очень сильному воздействию геологических и биологических факторов, а также находящийся в состоянии ярко выраженного развития и преобразования. Почвенный покров речных пойм отличается большим разнообразием в пространстве и динамичностью во времени. Почвы пойм представлены как самыми молодыми, недавно образованными участками (прибрежные отмели, заросшие водоемы), едва затронутыми почвообразовательным процессом, так и участками относительно большего возраста, уже вышедшими из сферы ежегодной поемности и покрытыми вполне развитыми почвами с выраженными признаками зональных черт почвообразования. Формирование в поймах рек таких почв очень сходно с автоморфными зональными и в то же время связано с последовательной цепью переходных форм с современным аллювием. Они представляют ценный объект для изучения генезиса почв. Аллювий, в свою очередь, разделяется на три фации: пойменная, старичная и русловая. Пойменный аллювий формируется при наводнениях и паводках. Для данных отложений характерна волнистая и горизонтальная слоистость. Гранулометрический состав представлен супесями и суглинками с включениями линз песка разного размера. В данной фации выделяют три типа фаций: прирусловая (сложена крупными песками), центральная (представлена супесчано-суглинистым материалом) и притеррасная (преобладают илистые частицы). Из руслового аллювия формируются мели, косы и острова. По структуре материал относится к хорошо отсортированным пескам с косой слоистостью, в дельтах рек он представлен аллювиально-делювиальной и

аллювиально-пролювиальной фациями. Старичный аллювий образуется на местах стариц и временных речных руслах. Имеет сходные признаки с озерными отложениями, которые представлены глинами, суглинками и торфами. Торф часто присутствует в виде линз в русловом аллювии (Добровольский, 2007).

Речные долины и их поймы - природные дрены, по которым с суши в сторону морей и океанов переносится в виде твердого и жидкого стока огромное количество веществ, в том числе, важнейших для жизни соединений макро- и микроэлементов. При характеристике генезиса пойменных почв подчеркивается, что эти почвы молодые, неразвитые, несформированные. Поймы рек являются ландшафтами высокой плотности жизни, высокой геохимической энергии вещества. Этим объясняется высокая интенсивность почвообразовательного процесса в поймах рек, высокий уровень биологической активности, высокая интенсивность почвообитающих микроорганизмов, динамичность химических и биогеохимических процессов, обуславливающих высокий уровень плодородия пойменных почв. Поймы рек и их почвы теснейшим образом связаны посредством аллювия, поверхностные и грунтовые воды - с природными условиями придолинных районов и всей площадью бассейна (Федоров, 1993; Rezaetal, 2016).

На почвы в поймах рек влияет две группы процессов: поемно-аллювиальные и почвообразовательные. Поемно-аллювиальные процессы определяют выраженность гидроморфизма, гранулометрический, петрографический и биолитный состав почв. Также состав речного материала влияет на кислотность и гумусное состояние почв. К почвообразовательным процессам, по классификации Г.В. Добровольского, относятся торфообразование, торфонакопление, процессы оглеения в анаэробных условиях гидrogenной и биогенной аккумуляции веществ. В зонах арктических тундр в дельтах рек доминируют избыточно-переувлажненные торфяно-болотные почвы с двумя подтипами, лугово-болотные и болотные торфяно-перегнойно-глеевые. Формирование напрямую связано с положением в ландшафте. Например, лугово-болотные почвы характерны для песчаных дренированных почв, а болотные торфяно-перегнойно-глеевые - для глубоких западин центральной поймы. Для таких почв свойственен слабый приток речного материала и невысокий приток глинистой фракции. Затопление сезонными паводковыми водами длится на протяжении 3 - 4 недель. Растительность представлена травяно-осоковыми болотами, доминируют осоки и плотнодерновинные злаки в составе сообществ. Характерна невысокая активность микроорганизмов при высоком потенциале микрофлоры. Это связано с тем, что дельтовые почвы обладают высокой биологической активностью. Процессы разложения достигают пика в верхних горизонтах почвы и ослабевают вниз по профилю. В условиях постоянно избыточной влажности и высокой

влажностности очень часто можно наблюдать застойную влагу и недифференцированные органические остатки в профилях. В таких почвах происходит смена валентности железа с Fe^{+3} на Fe^{+2} . Присутствует большое количество соединений фосфора и серы. Таким образом, отличительными свойствами дельтовых почв севера России являются: обилие негумифицированных органических остатков, низкая активность почвенной микрофлоры, большое количество невосстановленных соединений железа и низкая подвижность фосфора и калия в составе почвенного комплекса, а также невысокое содержание органического гумуса. Отношение фульвокислот к гуминовым кислотам определено фульватным и гуматно-фульватным типами (Добровольский, 2011).

В России пойменные почвы занимают 42 млн. га, где 20 млн. га принадлежит Сибири и Дальнему Востоку. Использование этих почв очень разнообразно по всей России. На севере их используют как сенокосы и пастбища, на юге же - возделывают сельскохозяйственные культуры (Востокова и др., 2003).

Река Лена оказывает большое влияние на Северный Ледовитый океан. Это заключается в том, что река является одним из главных поставщиков органического и неорганического углерода и во многом определяет цикл органического углерода в Арктическом бассейне. Особое внимание уделяется влиянию речного стока на обменные процессы в системе океан-атмосфера и формированию планетарного максимума парниковых газов в высоких широтах. По величине речного стока река Лена была отнесена к категории "избыточных" вследствие увеличения тенденции поступления полых вод в Арктический бассейн при суммарном уменьшении выпадающих осадков. На сегодняшний день вопрос о перераспределении вод в реке Лена от ее притоков остается открытым.

Во время действия международных экспедиций "LenaRiverdelta" было собрано огромное количество материала по обменным процессам, связанным с циклом углерода, но в малой степени изученности осталась динамика карбонатной системы. Была исследована динамика лишь среднего и нижнего течения реки, но геохимическая трансформация карбонатной системы во всем русле реки так и не была исследована. Таким образом, вопрос об особенностях изменения параметров карбонатной системы в водах арктических рек на пути к Северному Ледовитому океану и свойствах их определяющих остается дискуссионным.

Согласно данным И.И. Пипко, формируются благоприятные условия для взаимодействия речных и подземных вод и более интенсивного поступления продуктов выщелачивания в воды реки Лены относительно среднего и нижнего течения (Пипко и др., 2011). Сток в этой области формируется из внутрпочвенных, верхних грунтовых и

глубоко грунтовых подземных вод. Воды образуются на карбонатных и терригенных породах палеозойского возраста с высокой интенсивностью выветривания. На протяжении всей реки Лены показатели минерализации, рН, растворенной углекислоты и лабильного органического углерода очень динамичны. Верхнее и среднее течение показывают высокий уровень минерализации вод вследствие прохождения их сквозь карбонатные породы палеозойского возраста. Затем, со сменой водного режима в среднем течении, увеличивается роль снегового питания реки, что способствует усилению притока водорастворимых органических соединений, которые подвержены деструкции бактериальными сообществами. Верхнее течение реки также представлено высоким уровнем растворенной углекислоты и лабильных органических веществ, что также связано со снеговым и дождевым питанием реки, а далее - с прохождением вод через почву. В верхнем течении островные почвы и почвы берегов реки представлены болотными почвами с выраженными процессами торфообразования и торфонакопления, что является источником большого количества гуминовых веществ, которые вместе с тальными водами попадают в реку. Также с движением с юга на север уменьшается общая минерализация вод, что, в свою очередь, связано с изменением параметров водного режима и сменой водного питания реки (Нечаева, 1999; Антонов, 1957; Пестерев, 2011; Cauwetetal, 1996; Laraetal, 1998).

Одна из крупных рек северной тайги – река Анабар, которая также впадает в Море Лаптевых и оказывает влияние на Арктический бассейн. Бассейн реки относится к Арктической подзоне, Оленекско-Анабарской провинции. Здесь встречаются мерзлотно-тундрово-глееватые, болотные глеевые почвы на породах мезозойского элювия и, в основном, они представлены криотурбированным отделом. В своей работе А.П. Пестерев описывает разнообразие почвенного покрова бассейна реки Анабар в различных элементах ландшафта на протяжении всей реки (Пестерев, 2011). В нижнем течении реки, которое принадлежит подзоне северной тайги, формируются криоземы гомогенно глеевые и деструктивно карбонатно-тяжелосуглинистые щебнистые почвы на элюво-делювии известняков и доломитов под лиственничными лесами. В отрицательных формах рельефа и долине реки образуются торфяно-глеевые болотные почвы под болотной растительностью. Здесь произрастают осоки, ерник, гипновые мхи. На увалах и склонах увалов развиваются криоземы гомогенно глеевые, микрорельеф-мерзлотный трещино-бугорковатый. На надпойменных террасах формируются мерзлотные тундровые глеевые почвы. С повышением уровня поверхности суши над морем связаны криоземы гомогенные неоглеенные. На вершинах увалов и вершинах пологих территорий развиваются мерзлотные северо-таежные типичные почвы, которые подстилаются

бескарбонатным элювием юрского периода. Профили этих почв не дифференцируются на генетические горизонты в связи с процессами криотурбации. Реакция среды кислая, на породах тяжелого гранулометрического состава уровень органического углерода – высокий, а на легких – низкий. Прослеживается потечность гумуса по профилю до многолетнемерзлых пород. Также были рассмотрены увалы притока нижнего течения р. Анабар. Нижняя часть увалов представлена северотаежными деструктивно-карбонатными почвами. Материнские породы характеризуются карбонатными элювиальными отложениями кембрия и ордовика. Присутствуют сильные процессы криогенного массообмена. По гранулометрическому составу почвы относятся к среднеглинистым. Содержание пыли достигает 48%. На карбонатных породах развиваются почвы с высоким уровнем потенциального плодородия, что связано с тем, что почва имеет нейтральную реакцию среды, вниз по профилю увеличивается щелочность. Содержание гумуса – невысокое, также свойственно высокое содержание азота, присутствует фосфор в относительно большом количестве в обменных основаниях. Лимитирующим фактором карбонатных северотаежных почв является низкая температура, которая не позволяет активно выступать почвенной микрофлоре.

Таким образом, почвенное разнообразие реки Анабар характеризуется, в основном, криоземами (мерзлотными таежными глееватыми почвами) (Пестерев, 2011). Этот тип почв является зональным. На территории бассейна реки идут процессы болотообразования. Механический состав почв представлен мелкими и средними частицами (пыль и ил). В верхних горизонтах в гранулометрическом составе встречается пыль до 50% и ниже, по профилю присутствуют илистые частицы. Для почв характерен тяжелосуглинистый гранулометрический состав. Происходят интенсивные процессы физического выветривания и агрегирование глинистых частиц в органоминеральные агрегаты. Реакция среды таких почв – кислая – сильнокислая, тип гумусового режима – фульватный, также характерна низкая обогаченность азотом и фосфором, преобладает калий, но его содержание резко уменьшается вниз по профилю. Более того, этим почвам присуще высокое содержание форм грубого гумуса, процессы криотурбирования, которые придают данным почвам однородность минерального состава, при этом в нижних горизонтах присутствуют процессы оглеения (Еловская и др., 1979).

Большая часть побережий арктического бассейна России формируется в зоне развития многолетнемерзлых пород (ММП). В зависимости от степени сомкнутости ММП, различают области сплошного, прерывистого и островного распространения. Большую часть территорий России, представленной многолетнемерзлыми породами, до 61,8% занимает область криолитозоны сплошного типа. Ее границы охватывают большую

часть арктических островов и тянутся почти непрерывно вдоль побережья от Карского моря и до Чукотского моря на востоке, проникая вглубь континента в Центральной Сибири и Якутии. Криолитозона островного типа занимает 21,2% и простирается от Кольского полуострова до побережья Японского моря, Сахалина и Камчатки. Наименьшую площадь, 17%, имеет область криолитозоны островного типа. Она располагается между областями сплошного и островного типов криолитозон (Днепровская, 2009). В своей работе Е.Н. Долгополова рассматривает факторы формирования и развития ММП в данном регионе посредством анализа гидрологических характеристик, факторов мерзлотообразования, влияния климата, минерализации вод и прочего (Долгополова и др., 2011). По данным авторов, зона Средней и Восточной Сибири является местом, где при взаимодействии речных и морских вод происходит не только сохранение, но и образование ММП, что связано с возникновением сезонномерзлых грунтов в устьевых зонах. Было отмечено, что ветра сгона, действующие со стороны берега, формируют природные течения в сторону суши. Таким образом, холодные морские воды с отрицательной температурой вызывают промерзание промытых пресной водой осадков и формирование сезонномерзлых грунтов. Деградация ММП способствует антропогенная нагрузка, которая за последние десятилетия только увеличивается. Этот процесс связан с тем, что Арктика является зоной, богатой полезными ископаемыми, в основном, это нефте- и газодобыча, добыча цветных металлов и алмазов. В результате добычи происходит разрушение природных ландшафтов и, соответственно, деградация ММП. Для субарктической зоны характерны криогенные процессы, которые определяются климатическими особенностями, влиянием моря (трансгрессия, регрессия), оледенением. Основным звеном, влияющим на изменения ландшафта, является термокарст. При антропогенной деятельности в некогда устойчивых естественных системах начинают активизироваться динамические процессы - термокарст, солифлюкция, термоэрозия, абразия, массообмен, тиксотропия, что приводит к деградации ландшафта и, как следствие, естественные природные устойчивые ландшафты становятся неустойчивыми. Литогенная льдистая основа экосистем является стабилизирующим фактором. При хозяйственных работах происходит ее разрушение и, соответственно, разрушение всей экосистемы, которая в суровых арктических и субарктических зонах практически не подлежит самовосстановлению. Поэтому при изменении режима устьевых зон эти наиболее уязвимые участки находятся под угрозой деградация.

На режим устьевых зон влияет две группы факторов: речные и морские. К речным относятся сток воды, количество наносов, уровни воды в реке, физические и химические

свойства, ледовая обстановка. Морские представлены приливно-волновыми явлениями, уровнем воды в океане, физическими и химическими параметрами морской воды. Также стоит учесть и другие факторы, связанные с геологией, физико-географическим положением и хозяйственной деятельностью.

На побережье Северного Ледовитого океана, сформированное пойменными лугами и маршевыми почвами, активно влияют периодические затопления морскими водами, и ширина ММП достигает 10-15 км. Приморский район представляет собой частично задернованную аккумулятивную равнину с происходящими здесь термокарстовыми процессами. В устьях рек развиваются мерзлотные пойменные почвы. Многие ученые (Е.Н. Долгополова и др.) прогнозируют сильное воздействие глобального потепления на данный регион, но, по данным авторов, это влияние является незначительным, климатические изменения лишь в небольшой степени сглаживают неоднородности в среднегодовом цикле температур верхних горизонтов криолитозоны. Главную роль в потеплении играют почвы путем аккумуляции тепла в летний период.

Река Лена образует огромную гидрографическую сеть в период образования льда. Он образуется сначала в дельтовой части, что обусловлено близостью к Морю Лаптевых. Длительность ледостава здесь составляет 273 дня. Во время таяния, которое начинается преимущественно в средней части реки, в вершине реки часто образуются заторы, из-за которых существенно поднимается уровень воды в реке (до 10 метров), при этом происходит затопление островов и перераспределение вод по смежным рукавам, что также влияет на уровень воды в дельте.

Согласно водной характеристике устьев рек, впадающих в арктический бассейн, река Лена имеет лидирующие показатели, это одна из самых крупных рек, расположенных в восточной части страны. В соответствии с водными характеристиками, она уступает лишь Енисею, но по количеству наносов она остается лидирующей. Вслед за рекой Леной идет р.Обь. Она, как и Енисей, имеет дельтово-эстуарный тип устья. Все реки не промерзают до дна зимой, лишь в реке Лене происходит промерзание отдельных рукавов. Как видно в табл. 1, эти реки обладают огромным стоком и расходом воды в северные моря.

| Река | W, км ³ /год | Q, м ³ /с | R, млн т/год |
|--------|-------------------------|----------------------|--------------|
| Енисей | 597 | 20000 | 4,9 |
| Лена | 528 | 17000 | 20 |
| Обь | 402 | 15000 | 13 |

W-сток воды, Q - расход воды, R - твердые наносы

Таблица 1. Краткая характеристика устьев рек, впадающих в арктический бассейн

Реки Енисей и Обь впадают в Карское море и, в результате таких существенных гидрологических показателей, играют важную роль в определении условий океана, что обусловлено низкой соленостью моря, которая меняется с 13 до 28 ‰ на широтах 74,5° и 77 с.ш., соответственно. Для Моря Лаптевых также характерно опреснение посредством впадения в него таких рек как Лена, Яна, Анабар, Хатанга, Оленек. Круглогодичное существование льдов в море гарантирует сохранение реликтовых ММП. По берегам рек на пойменных лугах ежегодно происходит образование новых сезонномерзлых пород. Содержание солей здесь достигает 34‰, вблизи береговой линии соленость составляет 20-30‰. Таким образом, импульверизация оказывает существенное влияние на геохимический фон прибрежных почв. В период приливов здесь происходит попадание морских вод с отрицательными температурами в устья, что способствует промерзанию донных осадков. В свою очередь, стонные явления во время половодий способны растапливать морской лед вблизи берегов, так как опресненные воды попадают в море с относительно высокими температурами, около 0 °С.

Отечественными учеными также были рассмотрены почвы, образующиеся на аллювии и пролювии острова Шпицберген (Переверзев и др., 2012). В своей работе авторы В.Н. Переверзин и Т.И. Литвинова выявили особенности гранулометрического состава, химических свойств, растительного покрова и их влияние на развитие данных почв.

На острове Шпицберген из наиболее распространенных видов ландшафта, расположенных на побережье, выделяют ряды морских террас. Из основных типов почв, представленных на морских и коренных террасах, развиваются серогумусовые почвы с горизонтом (АУ). Отличительными особенностями данных почв является высокий уровень гумуса, особенно в верхележащих горизонтах, и слабая дифференциация механического состава в профиле. Различия между породами морских и коренных террас не выявлены. Шпицберген принадлежит к островам арктического бассейна. Среднегодовая температура воздуха здесь составляет -5,8 °С. Вегетационный период продолжается около 2,5-3 месяцев. Среднегодовое количество осадков достигает 563 мм, преобладают твердые осадки. Почвы находят в зоне ММП, и глубина сезонно-талого слоя (СТС) под растительностью составляет 98 см, на незащищенных растительным покровом местах глубина протаивания увеличивается до 190 см.

Для почв, развивающихся на пролювии, характерно большое содержание крупного песка (1-0,5) до 57% и меньшее содержание пыли и ила, 30 и 13, соответственно. Для аллювия, наоборот, свойственно преобладание пылевых и илистых частиц. Таким образом, на пролювиях почвы представлены легким суглинком, а на

аллювиях - легкой глиной. Это связано с осадконакоплением на острове: при временных водных потоках оседают крупные частицы, а при постоянных откладывается пыль и ил. Также на этот процесс влияет скорость движения воды. Временные водные потоки обусловлены высокими скоростями, а постоянные - низкими. Криогенный массообмен и другие признаки мерзлотных процессов отсутствуют.

Химические свойства почв также в существенной степени наследуются от материнской породы. По валовому содержанию химических элементов разница между почвами, образованными на аллювии и пролювии, заключается в том, что содержание оксида кремния в почвах на аллювии меньше, чем на пролювии (70% и 73%), но в то же время содержание других элементов (Al, Fe, Ca, Mg, P, K) выше в почвах, развивающихся на аллювии. Дифференциация элементов внутри профиля незначительна. Количество подвижных оксалоторастворимых соединений Fe и Al в почвах аллювия и пролювия невысокое (для Al_2O_3 - 1,7% от валового содержания и для Fe_2O_3 - 13,5%). Различия между содержаниями элементов в почвах невелико. Для данных почв характерно отсутствие оглеения. Почвы образуются в хорошо дренированных позициях и на грубообломочном материале. По содержанию гумуса аккумуляция происходит в серогумусовом горизонте АУ и достигает 11%, вниз по профилю происходит уменьшение содержания, которое вблизи материнских пород составляет 3,7%.

Величина емкости катионного обмена (ЕКО) в почвах о-ва Шпицберген в меньшей степени зависит от материнской породы, чем от органического вещества. Основной вклад в ЕКО вносят органогенные горизонты. Здесь она составляет 60-80 мг-экв/100 г почвы. В минеральных горизонтах показатель варьируется также от содержания гумуса и гранулометрического состава. Так, в почвах с высоким содержанием гумуса и суглинках ЕКО составляет 10-16 мг-экв/100 г почвы, что является высоким показателем для минеральной части почвы. По профилю выражена дифференциация ЕКО, она уменьшается от верхних горизонтов к нижним. Таким образом, различия, выявленные между почвами, образующимися на аллювии и пролювии, находятся в пределах одного почвенного типа - серогумусовых почв. Данный тип почв относится к стволу постлитогенных почв и отделу органо-аккумулятивные почвы (Осокин и др., 2008; Переверзев и др., 2010; Таргульян и др., 1983; Mannetal, 1986).

В своей работе А.А.Данилова рассматривала мерзлотные пойменные почвы Центральной Якутии на зависимость органического вещества и биологической активности в случае формирования и деградации пастбищ и сенокосов (Данилова и др., 2012).

Почвенная микрофлора способствует минерализации практически любых органических веществ до воды и углекислоты. Однако не все органические остатки

способны минерализоваться до простых соединений, что связано с определенными механизмами, происходящими в почве. Как результат, часть органических веществ способна накапливаться в почве. Показатель аккумуляции является одним из определяющих факторов плодородия.

При деградации агроландшафтов в пойменных почвах начинает повышаться уровень органического углерода, уменьшается численность копиотрофов, и в составе микробных сообществ преобладают олиготрофы. В свою очередь, потенциал к нитрификации возрастает в 5 раз, и увеличивается содержание нитрифицирующих бактерий. Кроме того, снижается общее число функционального разнообразия бактерий в почве. Также уменьшается почвенное дыхание: за два года было потеряно до 80% углерода (Мишустин и др., 1963; Барашкова, 2003).

В работе А.А. Тигеева, посвященной особенностям почвенного покрова р. Хальмигъяха, притока р. Пур, которая приурочена к зоне северной тайги Южно-Надым-Пуровской провинции, дается характеристика почв бассейна реки (Тигеев, 2014). Растительный покров представлен елово-лиственничными лесами в сочетании с сосновыми лесами на возвышенностях. Ландшафт состоит из пологоволнистых заозеренных равнин и кочковатых мерзлых болот. Территория бассейна р. Пур была частично подвержена нефтеразработкам. При этом был нарушен механический состав почвы, растительный покров, вынесена на поверхность часть материнских пород.

Бассейн реки Хальмигъяха характеризуется следующим почвенным разнообразием на уровне типа: подзолистые, болотно-подзолистые, торфяные болотные низинные, торфяные болотные верховые, аллювиальные дерновые и аллювиальные болотные. Таким образом, подзолообразование связано с хорошо дренируемыми позициями такими как гривы в составе лесных сообществ. Торфяные почвы представлены на плохо дренируемых участках на породах тяжелого гранулометрического состава, где большое количество осадков и ММП вызывают заболачивание. Аллювиальные почвы образуются под воздействием пойменных процессов и осадконакопления.

Для подзолов свойственно несколько подтипов. В зависимости от условий развития, дренажа и растительного покрова выделяются следующие почвы: иллювиально-железистые, иллювиально-гумусовые, иллювиально-железисто-гумусовые, глееподзолистые и переходный тип болотно-подзолистых. Для иллювиально-железистых характерны породы легкого гранулометрического состава с низкой влагоемкостью, при этом грунтовые воды не влияют на развитие данного подтипа. В иллювиально-гумусовых происходит потечность гумуса, и почва приобретает темно-коричневую окраску. Также характерны очень высокие показатели кислотности (рН-4,5). Глееподзолы развиваются на

водоразделах, где гранулометрический состав сменяется с легкого на средний, присутствует весенняя верховодка, происходит активная миграция органоминеральных комплексов Pb, Zn, Ni. Болотно-подзолистые почвы развиваются на плоских и пологоравнинных водоразделах в условиях поверхностного увлажнения и слабого дренажа.

Болотные почвы делятся на два типа - низинные(мезотрофные) и верховые (олиготрофные). Для них характерно близкое залегание ММП до 1 метра. Минеральное питание для верховых болот происходит из атмосферы, для низинных свойственен привнос минеральных веществ грунтовыми водами.

Аллювиальные почвы образуются в пойме реки Хальмигъяха. Окраска почвы серая. Ей присущи маломощные гумусовые горизонты, а также присутствует глееобразование в заиленных горизонтах. Верхние горизонты часто перегнойные. На местах со слабым дренажом развиваются процессы торфообразования. Такие торфы показывают высокую зольность элементов (Дюкарев, 2005; Моторин и др., 2012).

В своей диссертационной работе М.В. Сумерин выделяет основные зональные особенности почв р. Обь (Сумерин, 1987). Он говорит о том, что аллювиальные почвы являются интразональными, так как им присущи свойства, отличные от плакорных территорий, но, вместе с этим, в аллювиальных почвах происходят и зональные процессы, влияющие на почвообразование: гидрологический режим, растительный покров, геохимические процессы, микростроение гумуса, строение минеральной части почвы, содержание микро- и макроэлементов. В этой работе автор исследует степную и таежно-лесную зоны, для каждой из которых характерен свой набор факторов почвообразования, в котором в пойме реки еще добавляются пойменные процессы (поемность и аллювиальность). Именно от этих процессов будет зависеть разница между аллювиальными почвами и почвами на плакорных территориях.

М.В.Оконешникова изучала мерзлотные почвы и гумусовое состояние реки Лены (Оконешникова, 2016). Исследователю удалось оценить гумусовые параметры в среднем течении реки на аллювиальных дерновых мерзлотных пойменных почвах среднего течения реки Лены.

Почвы среднего течения реки активно используются в сельском хозяйстве. Они являются наиболее продуктивными из всех групп лугов, представленных в центральных районах Якутии.

Автором также рассмотрены почвы двух типов, аллювиальная дерновая глееватая и аллювиальная дерновая типичная. Для этих типов почв характерно высокое содержание гумуса в верхнем горизонте и уменьшение его с глубиной по профилю. Для аллювиальной

дерновой глееватой почвы свойственен песчано-супесчаный гранулометрический состав. Реакция среды близка к нейтральной. Тип гумусового состояния - фульватно-гуматный. В верхнем грубогумусовом горизонте преобладают фульвокислоты, и вниз по профилю происходит увеличение гуминовых кислот. Содержание углерода в слоистом оглеенном горизонте невелико. В условиях избыточного увлажнения заторможены процессы биологической трансформации органических веществ.

Для аллювиальных дерновых типичных почв характерна высокая степень гумификации вещества до 44%, низкое содержание гумуса (3,8%). В гумусовом горизонте тип гумусового состояния представлен гуматным. Отношение Сгк/Сфк достигает 2,26, и ниже по профилю почва приобретает фульватный тип. Благоприятный термический режим и климатические особенности района Центральной Якутии позволяют данному типу почв развиваться в условиях гуматного типа гумуса. Происходит закрепление гуматов кальция (Десяткин и др., 2010; Таргульян, 1971; Шишкин и др., 2001; Дымов и др., 2013; Водяницкий, 2008; Оконешникова, 2013; Оконешникова, 2015).

Почвы являются важным компонентом экосистем и обладают способностью буферизации и иммобилизации веществ природного и антропогенного происхождения. Прогнозируемые климатические изменения вместе с другими антропогенными воздействиями могут повлиять на биогеохимические процессы, усиливающие выщелачивание и миграцию микроэлементов в почвах, находящихся под влиянием вечной мерзлоты. Это особенно важно, поскольку арктические экосистемы считаются очень чувствительными к климатическим изменениям, а также к химическому загрязнению. Было проведено исследование фонового уровня металлов в почвах под влиянием вечной мерзлоты в дельте р. Лены и на ее водоразделах в северной Сибири (73,5-69,5°с.ш.). В ходе данного исследования было изучено содержание элементов железа (Fe), мышьяка (As), марганца (Mn), цинка (Zn), никеля (Ni), меди (Cu), свинца (Pb), кадмия (Cd), кобальта (Co), ртути (Hg) в различных типах почвы.

Наивысшие концентрации Fe и Mn наблюдались в почвах с большой мощностью ММП и погребенных горизонтах, образовавшихся во время плейстоцена, а самые высокие значения Ni, Pb и Zn были обнаружены в почвах эстуарной части дельты реки Лены. Наиболее важным фактором, определяющим концентрацию металлов в почвах, подверженных воздействию ММП, является содержание органического вещества, структура почвы и содержание оксида железа под влиянием криогенных процессов, температура и гидрологический режим. Наблюдаемый диапазон фоновых концентраций микроэлементов был аналогичен уровням металлов, зарегистрированным для других северных районов, не затронутых антропогенной деятельностью.

Все исследованные места были охарактеризованы небольшим увеличением концентрации большинства тяжелых металлов над ММП в глеевом слое. Это было свойственно для элементов Zn и Ni на участке с торфяно-глеевыми почвами и для Mn, Fe и As в почвенном профиле в районе "пойменных лугов". Присутствие многолетнемерзлых пород может вызвать аккумуляцию металлов в почве, действуя как геохимический барьер, препятствующий дальнейшему распределению металлов вглубь почвенного профиля (Höfle, 2013).

По данным статьи Н.Г. Шишкина, микроморфологические исследования показали, что в почвах пойм северо-таежной зоны происходит миграция железа по корням растений с образованием "корневых чехликов" и локализацией железа по крупным порам в почвах (Шишкин и др., 2001). Низкий уровень иллювиирования проявляется только в создании тонких пленок вокруг зерен скелета.

Для городов, располагающихся в криолитозоне, характерны физико-химические показатели такие как нейтральная реакция среды, стремящаяся в слабощелочную сторону, высокое содержание питательных элементов, антропогенные включения почв схожи с почвами более южных городов. При этом происходит многократное увеличение концентраций тяжелых металлов по сравнению с фоновыми концентрациями. В условиях криолитозоны с динамичными процессами массообмена происходит перераспределение тяжелых металлов по профилю почв, которые накапливаются в надмерзлотных и глеевых горизонтах, образуя на границе с ММП геохимический барьер (Дымов и др., 2013).

1.2 Почвы, образующиеся на плакорных и водораздельных элементах ландшафта криолитозоны в республике Саха (Якутия)

Почвы, входящие в состав криолитозоны, занимают площадь более чем 8,6 млн.км², что составляет около 27% всех земельных площадей, находящихся выше 50 °N. Они аккумулируют в себе огромное количество органического углерода, поэтому они считаются одними из важнейших элементов криосферы. До настоящего времени здесь было накоплено свыше 1024 Пг (1Пг=1*10¹³кг) органического углерода в почве в слое до 3 м, а также 34 Пг азота (Zubrzycki et al, 2013; Zubrzycki et al, 2014).

Почвенное плодородие - один из важнейших показателей почв, определяющий тип гумусного состояния, содержание обменных элементов в своем составе, растительный покров. В своей работе В.И. Савич выявил основные показатели почвенного плодородия в мерзлотных и мерзлотно-таежных почвах Якутии (Савич и др., 2015).

Присутствие ММП и длительное промерзание почв имеет сильное влияние на процессы ионного обмена, водно-физический режим, растворенность питательных веществ и их доступность для растений и на биопродуктивность в целом.

В условиях севера Якутии, где большую часть вегетационного периода сохраняются низкие температуры (менее 10 °С), растения намного хуже усваивают фосфор и азот, учитывая, что их содержание в почве и так невелико. В связи с тем, что происходит спорадическое оттаивание ММП, колебания температур (высокие - летом и очень низкие – зимой) приводят к восходящему и нисходящему пути миграции веществ. В почвах находится большое количество полуторных окислов железа до 1000мг/100 г, и при большом содержании гумуса до 5% почва характеризуется светло-серой окраской.

С низкими положительными температурами связано низкое поглощение почвой катионов с большой энергией гидратации (Mg, Ca, K), с увеличением температуры скорость поглощения увеличивается. При промерзании почвенных растворов происходит увеличение ионной силы и концентрации ионов в непромерзающей части раствора, в результате чего происходит активное выветривание алюмосиликатов и высвобождение ионов железа и алюминия из твердой фазы. На аккумуляцию солей также влияет механический состав почвы. Таким образом, в суглинистых почвах происходит перемещение ионов из промерзающей зоны в талую, а в глинистых - наоборот. Наибольшие показатели солей наблюдаются в тех горизонтах, которые подвержены скорейшему промерзанию. В связи с криогенной миграцией также увеличивается степень засоления почв хлоридами натрия, на вершинах бугров можно наблюдать солевые корки. Распределение веществ связано с несколькими факторами: гравитационные, магнитные и электрические силы. Разные почвенные горизонты имеют неодинаковый заряд по плотности и могут быть как положительно, так и отрицательно заряжены. Следует принимать во внимание градиент физических полей. Поэтому гумусо-аккумулятивные и глеевые слои имеют низкий окислительно-восстановительный потенциал, и, следовательно, к ним происходит миграция веществ. В таежных и северо-таежных почвах плодородие в большей степени обусловлено содержанием водорастворимых окислов железа. Аккумуляция происходит в верхнем гумусовом горизонте и нижнем надмерзлотном на контакте с ММП. По данным автора, содержание полуторных окислов железа происходит в надмерзлотных глеевых горизонтах, что обусловлено восстановительной средой. Также с увеличением подвижного железа происходит уменьшение подвижности фосфора. Мерзлотные почвы проявляют высокую депонирующую способность в отношении железа. Более того, при внесении органических

удобрений в верхние слои почвы уменьшалась подвижность железа в условиях избыточного увлажнения (Савич и др., 2015; Макеев, 1981; Зольников, 1954).

Также проводились исследования Колымской низменности на Севере Якутии (Лупачев и др., 2012). Почвы здесь характеризуются явной выраженностью криогенных процессов: пятнообразование (излияние грунта на поверхность), криогенный массообмен, льдовыделение и гумусонакопление. Почвы данного региона развиваются на материнских породах, в состав которых входит реликтовое органическое вещество (ОВ), во многом определяющее свойства почвообразования. Органическое вещество представлено в форме высокодисперсного детрита. Мощность активного слоя составляет 1 метр. В ходе исследования было выявлено несколько типов перераспределения и аккумуляции грубого органического вещества в почве: криотурбационный, криотурбационный надмерзлотно-аккумулятивный и латеральный надмерзлотно-аккумулятивный типы.

Криотурбационный тип обусловлен высокой степенью криотурбационных процессов, в связи с чем происходит занос органического вещества в срединную часть профиля и его трансформация здесь. Органический материал представлен в виде минерализованных и переработанных растительных остатков. Явление потечности гумуса выявлено слабо. В данном типе распределения органического вещества накопление его в надмерзлотной толще слабо выражено, пики содержания органического углерода отмечаются по всему профилю.

Криотурбационный надмерзлотно-аккумулятивный тип осуществляется в следующих условиях: слаборазвитое пятнообразование, что способствует привнесу в центральные части профиля хорошо оформленных частей ОВ. В связи с этим происходит миграция и накопление органического материала в надмерзлотные горизонты. Основной чертой данного типа является наличие зон грубого органического материала в переходном слое ММП и надмерзлотной части. Низкая биохимическая активность в условиях температур близких к нулю предполагает консервацию органического вещества в надмерзлотной части профиля.

Латеральный надмерзлотно-аккумулятивный тип обусловлен маломощным активным слоем, высокой льдистостью переходного слоя многолетнемерзлых пород, происходит перенос по поверхности оттаивающей мерзлоты грубого ОВ. В таких условиях наблюдается активное накопление органического материала в надмерзлотной толще. В надмерзлотном нанорельефе имеет место замещение водяных шпиров на грубый органический материал из торфяной массы.

Запасы органического материала в надмерзлотной и переходной части ММП зачастую по объему превосходят или равны запасам в верхних слоях почвы. Наибольшее

накопление ОВ наблюдается в криотурбированном надмерзлотно-аккумулятивном и латеральном надмерзлотно-аккумулятивных типах перераспределения и накопления органического материала. В связи с таким высоким содержанием грубого органического материала в нижней части профиля (надмерзлотной и переходной) автор считает целесообразным выделить следующие почвенные горизонты: CRO@, CRO1, органогенный надмерзлотно-криотурбированный и органогенный надмерзлотно-латеральный, соответственно. Также стоит включить переходный слой TL в составную часть почвенного профиля, поскольку он периодически включается в процесс почвообразования (Губин и др., 2008).

Переходный и надмерзлотно-криотурбированный слои отличаются повышенной биологической активностью. Большое количество бактерий может сохраниться в слоях, содержащих много органического углерода, даже если они имеют возраст до 1-5 млн. лет. Грибы и дрожжи в древних слоях, по-видимому, не сохраняются. Живые грибы и дрожжи обнаружены в породах, имеющих возраст до 10-40 тыс. лет. Содержание жизнеспособных форм бактерий в разных слоях очень сильно отличается: во многих образцах вообще не обнаружено живых клеток, в других - их десятки, сотни тысяч, миллионы и даже десятки миллионов клеток на 1 г грунта. У бактерий из вечной мерзлоты отмечено изменение некоторых температурных характеристик. Вывод бактерий из анабиоза не требует каких-либо питательных сред.

Микробы адсорбированы на поверхности минеральных частиц, окружены тонкими пленками незамерзшей воды. Эта ниша служит криопротектором, определяя возможность сохранения микроорганизмов, и одновременно представляет собой питательную среду с повышенными концентрациями солей (Макеев, 1977).

Кроме того, было проведено исследование микробиоценозов в Центральной Якутии, где исследовались мерзлотно-криотурбированные почвы долины Туймаада (Иванова и др., 2014). В результате были установлены специфические особенности микробных сообществ. Микроорганизмы обладают высоким потенциалом к адаптации, они способны выживать в самых экстремальных условиях среды. Частая изменчивость условий среды по физико-химическим параметрам экосистемы обуславливает переход организмов от активного функционирования к метаболическому покою (анабиозу). Состав бактериофауны изучался в 6 почвах, развивающихся на ММП: маломощный чернозем, лугово-чернозем, дерново-луговая глееватая, палево-бурая под березняками, палево-бурая под сосняками и болотная торфянисто-перегнойная глееватая.

В мерзлотно-криотурбированных почвах долины Туймаада отмечена максимальная численность актиномицетов $14 \cdot 10^3$ - $2,8 \cdot 10^9$ КОЕ/г (мицелиальные бактерии, принимающие

непосредственную роль в формировании почвенного плодородия, которые образуют темноокрашенные пигменты, меланины, являющиеся предшественниками гумусовых веществ в почве). КОЕ - численность бактерий в колониобразующих единицах на 1г почвы. Наиболее богатыми почвами по содержанию актиномицетов ($2,8 \cdot 10^9$ КОЕ/г) оказались палево-бурые под березняками. Такой высокий уровень актиномицетов обусловлен высоким содержанием гумуса в органо-аккумулятивном горизонте по сравнению с другими типами почв.

Вслед за актиномицетами по максимальному содержанию в почвах следуют олигонитрофильные бактерии. Их число колебалось от $15 \cdot 10^3$ до $1,2 \cdot 10^9$ КОЕ/г. Наибольшее количество наблюдалось в лугово-черноземной почве. Содержание аммонифицирующих бактерий в данных почвах невелико и составляет от $15 \cdot 10^3$ до $874 \cdot 10^6$ КОЕ/г. Наибольшее число отмечено в мерзлотной дерново-луговой глееватой почве. В северо-таежных мерзлотных почвах лимитирующими факторами оказываются температура и влажность, так как они являются динамическими показателями в условиях криолитозоны. В сезонной динамике микробных сообществ можно выделить следующие закономерности: летом преобладают актиномицеты и олигонитрофильные бактерии, осенью доминируют аммонифицирующие бактерии предположительно психрофильного типа. Важной особенностью распределения микробных сообществ в Центральной Якутии является прямая зависимость численности микроорганизмов от влажности в пределах почвенного профиля и связанный с этим особый характер распределения микроорганизмов по профилю без уменьшения численности с увеличением глубины (Звягинцев, 1987).

Основную часть приморских низменностей Северной Якутии занимают термокарстовые котловины и депрессии, называемые аласами. С поверхности они сложены ледовым комплексом. Мощность ЛК достигает 40 метров. В связи с этим были рассмотрены особенности организации погребенных почв и их строения в составе ледового комплекса (ЛК). Анализ производился в приморских низменностях Северной Якутии и Аляски. В большей степени ЛК состоит из минеральных прослоев супесчаного состава и неразложившихся частей растительного покрова, которые частично подверглись процессам минерализации и гумификации. Ледовый комплекс является полигенетическим образованием, состоящим из материала криопедолита (осадки, перешедшие в многолетнемерзлое состояние, осадконакопление происходило в результате криосинлитогенных процессов, несущие признаки почвообразования, но не образующие почвенные профили), слоев автохтонных и аллохтонных торфяников, синлитогенного материала (аллювий, озерный и склоновый материал) и повторно-жильного и

текстуробразующего льда. Отсутствие в профилях дифференциации выражено недостаточностью необходимого времени для почвообразования, а также низкой активностью почвенной микрофлоры и климатическими особенностями (Губин и др., 2012; Лупачев и др., 2008).

Проводилось исследование почв аласов Центральной Якутии. Было изучено формирование почв в интразональных участках данного региона (Гормогенова и др., 2007). Почвы развиваются на высокой террасе денудационной равнины. На формирование аласов влияет процесс термокарста, происходит вытаивание ледового комплекса и образование термокарстовой котловины. Распространенным типом почв аласов является мерзлотная лугово-черноземная. Различают три типа аласных почв: гидроморфная, мезоморфная и ксероморфная. Почвы аласов ксероморфного пояса обладают карбонатностью, в них присутствуют легкорастворимые окислы железа, и происходит гумусонакопление в верхнем дерновом и гумусо-аккумулятивном горизонте. Для мезоморфного пояса характерна карбонатность. Гумусо-аккумулятивный горизонт меньше, чем в ксероморфной зоне (42 и 24 см соответственно). В связи с увеличением количества осадков и присутствием тяжелых по гранулометрическому составу пород (средний суглинок) проявляется процесс оглеения в нижележащих слоях. В гидроморфных условиях развиваются аласные дерново-глеевые почвы с характерными признаками гумусонакопления и оглеения. Здесь формируется мощный гумусо-аккумулятивный горизонт с мощностью до 33 см. Наличие карбонатов по вскипанию НСІ диагностируется с поверхности.

Почвы, образующиеся на аласах, имеют высокий уровень органического углерода, тяжелый гранулометрический состав. С развитием карбонатных условий реакция среды сдвигается в сторону щелочной, увеличивается содержание сульфат-ионов и ионов натрия.

Также был исследован почвенный покров западной части Якутии, которая характеризуется континентальным - резко континентальным типом климата: очень холодные зимы сменяются высокими летними температурами. Среднегодовое количество осадков составляет 482 мм. Ландшафт представлен структурно-денудационными ступенчатыми плато. А.П. Пестерев занимался изучением Приленского пластового плато (Средняя Тайга). Данное место было выбрано не случайно: в этом районе представлены уникальные для Сибири виды растительности такие как лиственница (*Larix sibirica Ledeb.*), пихта (*Abies sibirica Ledeb.*), кедр (*Pinus sibirica (Rupr.) Mayr.*), рябина (*Sorbus sibirica Hedl.*). ММП распространены спорадически и присутствуют от 20 до 50 % случаях. Мощность ММП составляет около 30 м. СТС составляет 2,5 - 3 м.

Западная часть Якутии, район Приленского пластового плато, представлена следующими типами почв: мерзлотные серые почвы, мерзлотные буроземы, мерзлотные палево-бурые. Мерзлые серые почвы развиваются в условиях легкого гранулометрического состава, образуются на породах древнеаллювиальных отложений, имеют кислую реакцию среды. Формирование происходит в условиях ослабленного процесса подзолообразования, что связано с высоким содержанием органического углерода (до 15%) в почве и активными биологическими процессами, обусловленными гумификацией мортмассы. Тип гумуса - фульватно-гуматный. В почве наблюдается высокое содержание фосфора и низкое - азота. Степень насыщенности основаниями составляет 70-85%. Такие почвы распространены в районе среднего течения реки Лены.

Мерзлотная бурая лесная почва развивается в условиях прочного водоупора, в ней присутствует слоистость в профиле, которая представлена в качестве горизонтов тяжелого гранулометрического состава. Данное распределение материала связано с криогенными процессами (сезонное промерзание и оттаивание). Мерзлотная бурая лесная почва принадлежит к отделу метаморфических почв с верхним грубогумусовым горизонтом и бурым ожелезненным нижним. Она распространена на водоразделах.

Мерзлотные палево-бурые почвы имеют слабо дифференцированный профиль, высокое содержание гумуса в верхнем горизонте (10,6%) и резкое снижение его вниз по профилю. Реакция среды – кислая и с глубиной стремится к нейтральной. Данный тип является зональным для территории Западной Сибири (Десяткин и др., 2012).

В рамках данного исследования также были рассмотрены температурные особенности мерзлотно-таежных почв Центральной Якутии (Десяткин и др., 2012). Почвы путем своих общепланетарных функций оказывают влияние на формирование приземного климата и температурного режима многолетнемерзлых пород. Органический и минералогический состав почв играет ведущую роль в гидротермическом режиме как СТС, так и подстилающих их мерзлых грунтах. Материалом для анализа послужили девятилетние мониторинговые данные (с 2002-2010 гг.) с правого берега среднего течения реки Лены. По результатам работы можно выделить определенные факторы, тесно связанные с температурным режимом. Прежде всего, это погодные условия. Здесь следует обратить внимание на температуру воздуха и количество осадков: среднегодовая температура данного региона составляет $-8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, что на $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше многолетней нормы. По количеству осадков преобладают влажные годы: осадков (преимущественно летних) выпадает больше нормы. Из 9 лет, в течение 5 лет сумма летних осадков превышала среднемноголетнюю норму (до 185%).

Следующий немаловажный фактор - снежный покров. Как показывает исследование, 6 из 9 лет оказались многоснежными, мощность снега в такие годы составляла до 176% от многолетней нормы. Увеличение высоты снега имеет прямо пропорциональную связь с повышением приповерхностной температуры почв.

Также выделяют температурный режим почв. Почвы характеризуются мерзлотно-таежным палевым типом. Лучше всего прогреваются слабозатененные сухие почвы под сосновыми лесами, где среднегодовая температура составляет $-0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимальная глубина протайки достигает 2,7 м. Под березовыми лесами почвы медленнее прогреваются, среднегодовая температура здесь доходит до $-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, и глубина активного слоя - 1,9 м. Почвы под лиственничниками характеризуются еще более низкими среднегодовыми температурами и глубиной протайки, $-2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ и 1,5 м, соответственно. Почвы лиственничников и под березовыми лесами относятся к мерзлотному холодному подтипу температурного режима, тогда как почвы под сосновыми лесами - к подтипу мерзлотных умеренных.

Различия гидротермического режима почв связаны с неодинаковым экранирующим действием растительного покрова и обусловлены активностью почвенного микробного населения, интенсивностью разложения биомассы, высвобождением продуктов минерализации и гумификации. Во всех изучаемых почвах биологическая активность имеет пульсирующий характер: периоды максимальной активности сменяются периодами спада. В луговых и степных почвах активность выше в начале лета, а к концу постепенно затухает; в лесных к концу лета по мере прогрева профиля активность возрастает.

Согласно анализу данных можно заключить, что температурные условия показывают явное разнообразие и динамичность тепловых параметров мерзлотно-таежных почв, и присутствуют резкие колебания обеспеченности тепловой энергией деятельного слоя почв.

Центральная часть Якутии характеризуется мерзлотными палевыми почвами, относящимися к отделу палево-метаморфических почв. Материнскими породами служат карбонатные лессовидные суглинки. Окраска почв - палево-коричневая. Дифференциация профиля на горизонты слабо выражена. Местом исследования служат "межаласья", места, незатронутые термокарстовыми процессами и расположенные между аласами. Профили разделены на несколько горизонтов - АУ (серогумусовый), ВРЛ (палево-метаморфический), ВСА (аккумулятивно-карбонатный).

Почвам свойственна кислая реакция среды в верхних горизонтах, и щелочная - в нижних. Содержание гумуса невелико в минеральной части и в верхних слоях

представлено слаборазложившимся растительным покровом. Содержание гумуса здесь достигает 14%. В составе легкорастворимых солей присутствуют биокарбонаты кальция, магния и натрия, их содержание невелико. По содержанию катионов натрия в емкости поглощения палевые почвы относятся к осолоделым. В надмерзлотных слоях отмечается накопление кальция, который практически отсутствует в верхних горизонтах. По минералогическому составу все почвы "межаласья" приурочены к глинистым почвам и включаются в состав не только слюдо-хлоритовой ассоциации индивидуальных минералов, но и присутствуют в хлорит-сметитовых ассоциациях (Десяткин и др., 2011).

Отметим, что было проведено исследование процессов выделения метана в Центральной Якутии в таежно-аласной экосистеме (Десяткин и др., 2009). Место работ было приурочено к правому берегу реки Лены в среднем течении. Запасы органического углерода в почвах бореальных лесов и тундровых экосистем Якутии ($S=162500 \text{ км}^2$) оценены в $17 \cdot 10^5 \text{ г}$. Поэтому оценка органического углерода и азота важна для понимания биогеохимических циклов, которые связаны с глобальными климатическими изменениями. В условиях изменения климата запасы углерода, представленные в виде законсервированных растительных остатков, могут стать дополнительным источником метана и углекислоты. В голоцене происходила деградация ЛК, и его место начали постепенно занимать таежно-аласные ландшафты.

Различают несколько стадий формирования аласов: "быллар" (появление неглубоких полигональных депрессий на местах таяния повторно-жильных льдов), "дюеда", "тыымпы" и "зрелый алас" (на этих стадиях происходит формирование водоемов и накопление озерных отложений, принимающих участие в формировании особого типа аласных почв, имеющих отличия от зональных палевых почв). В Центрально-якутской низменности отмечено 16000 аласов площадью равной 441000 га.

Почвы являются как источником, так и потребителем метана в зависимости от типа условий среды, аэробная либо анаэробная. Производство и потребление CH_4 тесно связаны с микробиологической активностью почвы и зависят от климатических параметров среды. Важнейшим фактором лесорастительной способности являются биогеохимические функции микробных сообществ - мобилизация и трансформация азотосодержащих и лигноцеллюлозных комплексов, а также эмиссия метана и углекислого газа. Результаты работы показывают, что почвы лесных участков и на остепненном лугу поглощают метан. В течение 2-х летнего наблюдения было выявлено увеличение температуры в почве и понижение уровня влаги. В свою очередь, увлажненные места (озера и влажные луга) показывают повышенную эмиссию метана. Избыточно увлажненные луга являются важным объектом при оценке потоков CH_4 . Важную роль в

организации потоков метана играет растительный покров. На затапливаемых лугах растительные остатки уже на следующий год вовлекаются в процесс эмиссии метана, затапливаемые луга являются местом активной аккумуляции органических остатков. В озерных ландшафтах наблюдается схожая ситуация, где происходит накопление органического углерода и производство метана, вода препятствует прямой эмиссии CH_4 . В толще воды происходит окисление метана до 67%.

В результате проведенных исследований можно выделить следующее: активная эмиссия CH_4 связана с затапливаемыми территориями; самые высокие показатели замечены на затапливаемых лугах, затем озерах, и самые низкие значения – на лесных участках и остепненных лугах (Евграфова и др., 2010).

Помимо этого были проведены исследования эмиссии метана в зоне субарктики, дельте реки Лены. Эмиссия метана в тундровой зоне колеблется от 11,7 до 50,4 $\text{mgCH}_4\text{m}^{-2}\text{сут}^{-1}$. Количество выделяемого метана зависит от позиции в ландшафте и обводненности территории. В результате исследования было отмечено, что в центре морозобойных полигонов будут наблюдаться наивысшие значения, и разница между кромкой и центром полигонов составляет 1,7-2,8 раза. Высокая обводненность территории тундры дает предпосылки к высокой эмиссии метана из почвы в атмосферу, поэтому данную величину следует учитывать при подсчете баланса потоков углерода. Также большое влияние на потоки метана имеют почвенные и растительные показатели такие как аэрация, гидрофобность, содержание органических веществ, видовой состав растительности. Таким образом, на полигонах, где в составе растительного сообщества преобладает осока вида *Carex aquatilis*, наблюдаются максимальные уровни эмиссии. Стоит отметить, что данный вид осоки влаголюбив, предпочитает обводненные места обитания и способен долгое время находится в воде (Bischoff et al, 2013; Kutzbach et al, 2004; Knoblauch et al, 2013; Preuss et al, 2013; Wagner et al, 2007).

На сегодняшний день почвы криолитозоны подвержены деградации в связи с угрозой глобального потепления климата, что может существенно повлиять на уровень парниковых газов в атмосфере. В почве аккумулируется огромное количество органического углерода. В условиях потепления будет происходить таяние многолетнемерзлых пород, и некогда погребенный органический углерод будет подвержен микробному разложению, способствующему выделению парниковых газов в атмосферу.

Таким образом, исследование почв криолитозоны вносит существенный вклад в понимание процессов, происходящих здесь.

2. Объекты и методы

Дельта реки Лены - самая крупная северная дельта в мире, которая расположена в арктической зоне и имеет площадь около 29630 км². В связи с такой огромной площадью и расположением она оказывает существенное влияние на водный режим Северного Ледовитого океана, так как из дельты поступает большое количество пресной воды в наименее соленый океан нашей планеты. Дельта образовывалась в результате деятельности реки: вынос наносов, эрозия, абразия под влиянием флуктуаций уровня моря и перемещение земной коры (Большаянов и др., 2013).

Западная и восточная половины дельты характеризуются различными свойствами: густота речной сети, количество островов и их размер. Таким образом, западная часть дельты имеет густоту речной сети 0,13 км/км² и, в основном, представлена большими по площади островами, имеющими большую высоту поверхности. Самые крупные острова западной части дельты - Арга-Муора-Сисё (18% от общей площади дельты), Харданг-Сисё (1136 км²), Курунгнах (355 км²) и Джангылах (169 км²). Общее количество островов в западной части составляет 235.

Восточная половина дельты находится в абсолютно отличных от западной части условиях, что связано с движением стока реки, которое имеет северо-восточное направление. В результате чего восточная часть представлена большим количеством островов, 764. Густота речной сети составляет 0,34 км/км², что говорит о том, что вся восточная часть прорезана огромным количеством протоков, которые в результате движения разрушают, перераспределяют материал и образуют маленькие по площади острова.

На дельту также оказывают влияние и морские воды. Западное и северо-западное побережье находится под влиянием моря Лаптевых, что сказывается на поверхностной температуре воды, которая здесь намного ниже, чем на восточном и северо-восточном побережье. Это свидетельствует о том, что восточное побережье определено теплым речным стоком реки Лены. Температура в августе на западном побережье составляла 3 °С, на востоке - от 4 до 9 °С. Помимо физических свойств изменяются и химические. С деятельностью морских вод связана и соленость, которая в западной и северо-западной части достигала отметки 14 ‰.

Дельта реки Лены находится в зоне с арктическим континентальным климатом. Климатическая характеристика приводится по данным наблюдений с полярных метеостанций Тикси, Столб, Усть-Оленек и НИС «Остров Самойловский». Среднегодовая температура воздуха составляет -13°С, среднеянварская температура снижается до -32°С, среднеиюльская температура - -6,5°С. Анализ данных показал, что тренды приземной температуры воздуха и давления во все месяцы года слабые и незначимые. Однако ход

экстремальных температур имеет значимый тренд. В течение периода наблюдений уменьшаются максимальные температуры воздуха, которые связаны с влиянием облачности на радиационный прогрев нижнего слоя атмосферы. Это говорит о том, что зимой грунты меньше охлаждаются, а летом меньше прогреваются. Годовое количество осадков - 190 мм. Большая часть суши характеризуется наличием многолетнемерзлых пород на глубине около 1 метра. Глубина сезонно-талого слоя везде различна, на суглинистых породах она может достигать 30 см в конце августа, а на породах легкого гранулометрического состава доходить до 1 метра.

Дельта насчитывает не менее 27165 озер площадью от 0,25 км² и 10 водоемов площадью более 10 км². Больше всего озер расположено на западе как результат того, что эта часть дельты самая древняя, и здесь расположены самые большие острова. В восточной части преобладают озера, связанные с руслом реки (старичные озера).

Через дельту реки Лены проходят огромные потоки воды. Среднегодовой расход составляет 15400 м³/с, ежегодный сток растворенных минеральных веществ достигает 58 413 500 т. Мутность воды имеет 23 г/м³ (Большаянов и др., 2013; Галабала, 1987; Иванов, 1963).

Дельта реки Лены покрыта тундровой растительностью различных типов. Основными компонентами являются лишайники, мхи, травы (злаки и осоки), некоторые виды кустарничков. Характерная особенность тундры – отсутствие леса. Здесь преобладают злаково-осоково-моховые ценозы, в понижениях рельефа – гипново-осоковые полигональные болота. Растительный покров не сомкнут и имеет мозаичный характер («пятнистая тундра»). Дельта реки Лены представлена господством мохово-лишайниковой растительности. Моховые группировки преобладают на суглинистых, а лишайниковые – на грубоскелетных, каменистых почвах. Также нередко вблизи озер ледового происхождения мохово-лишайниковую растительность заменяют осоково-пушицевые группировки. По теплым южным склонам на дренированных породах легкого механического состава и в долине реки встречаются участки с травянистой растительностью (тундровые луговины и пойменные луга). С различными положениями в рельефе связаны определенные виды растительности. Так, к влажной тундре (влажные центры полигонов, отрицательные формы рельефа) приурочены - *Drepanocladus revolvens*, *Meesia triquetra*, *Rhizomnium punctatum*, *Calliergon giganteum*, *Carex chordorrhiza*, *Comarum palustre*, *Pedicularis sudetica*. В сухой тундре (хорошо дренированные поверхности) преобладают *Hylocomium splendens*, *Dryas punctata*, *Peltigera*, *Polygonum viviparum*, *Saxifraga punctata*, *Astra galusfrigidus*, *Luzul atundricola*, *Lagotisg lauca*, *Saxifraga hirculus*, *Valeriana capitata*. Пойменным лугам свойственны *Salix glauca/reptans/lanata*, *Equisetum*

sp., *Alopecurus alpinus*, *Festuca rubra*, *Deschampsia borealis*. Затопленные участки мелких озер обильно заселены *Arctophila fulva* (Boike et al., 2013; Kutzbach et al., 2004; Schneider et al., 2009).

Дельта реки Лены характеризуется сетью малых и больших каналов и насчитывает в себе более 1000 островов. Она может быть определена в трех различных геоморфологических террасах с активным затопляемым уровнем. Активный затопляемый уровень - первая терраса (1-12 м), самая молодая часть дельты реки. Первая терраса сформировалась в течение Среднего Голоцена и, в основном, представлена в восточной части дельты Лены. Вторая терраса (12-30 м), сформировавшаяся в промежуток между поздним плейстоценом и ранним голоценом, включает в себя около 23% территории дельты и сложена песчаными фракциями и небольшим количеством льда. Полигональный рельеф менее выражен, и большое количество термокарстовых озер наиболее типично для этой территории. Третья терраса (30-60 м) - самая старая терраса в дельте Лены. Она не является речным дельтовым блоком, это эрозионный остаток позднего плейстоцена, состоящий из мелкозернистого, насыщенного органическими веществами, обледенелого материала, который накопился перед Чекановским и Харулахским горными хребтами. Поверхность третьей террасы обусловлена полигональной местностью вследствие процессов образования ледяных жил и образования сети мерзлотных тундровых полигонов с развитыми термокарстовыми процессами (Большаинов и др., 2013).

Ключевыми участками исследования стали острова юго-западной и центральной части дельты реки Лены (Рис. 1). Районы раскопок располагались вдоль Оленекской протоки, приурочены ко второй и третьей террасам и включали в себя острова Харданг (N 72.46 E 123.56), Эбе-Басын-Сисё (N 72.54 E 123.15), Джан-Гылах (N 72.30 E 125.16). Острова Харданг и Эбе-Басын-Сисе представляют собой песчано-алевритную толщу до 25 м. Пески и алевриты здесь - горизонтально-слоистые или волнисто-слоистые, что свидетельствует об осадконакоплении в бассейне. Количество льда невелико, и присутствует он в виде цемента. Остров Джан-Гылах сложен кварцевыми мелкозернистыми сортированными желтовато-серыми песками, слоистость которых - преимущественно горизонтальная. Остров Самойловский (N 72,370 E 126,467), где расположен НИС «Самойловский», находится в районе первой террасы и периодически подтапливается речными водами. Остров охватывает площадь около 5 км². Западная часть образована недавними русловыми и эоловыми процессами. Восточная часть представлена ледяными жилами и небольшими термокарстовыми озерами.

Острова, состоящие из разнородных отложений, типичны для дельты реки Лены, геологическое строение которых говорит о смене обстановки осадконакопления как в латеральном векторе, так и во времени.

Помимо западной части была также исследована и центральная часть дельты Лены. Эти исследования включали в себя раскопки на островах Курунгнах (N 72.476 E 126.279), Арга-Белир-Арыта (N 72.382 E 126.427), Тит-Ары (N 71.969 E 127.092) и острове Столб (N 72.394 E 126.659). Остров Курунгнах, расположенный у вершины дельты, с запада имеет связь с Оленекской протокой и состоит с поверхности из отложений ледового комплекса и подстилающих их песков. Толща, так же как и на острове Эбе-Басын-Сисё, сложена двумя пачками пород. Нижняя - кварцевыми мелкозернистыми сортированными желто-сероватыми песками. Ей присуща горизонтальная слоистость, и редко волнистая. В нижней части встречаются линзовидные прослои растительной слоенки (переслаивание песка с растительными остатками). Вся толща была сформирована в середине позднего неоплейстоцена. Остров Арга-Белир-Арыта расположен немного западнее острова Самойловский и имеет высоту до 10 метров. Он сложен песчаными отложениями и слоенкой. Верхняя часть острова Столб представлена толщей известковистых алевритов и алевритовых известняков серого, темно-серого, желтовато-серого и коричнево-серого цвета иногда с включением галек фосфоритов и кремней. Центральная часть дельты представляет собой место аккумуляции и размыва отложений и островов (Большиянов и др., 2013).





Рисунок 1. Район работы: А - о. Эбе-Басын -Сисе; Б,В - о. Харданг; Д - о. Джан-Гылах; Е,Ж,К - о. Курунгнах; З - о. Самойловский.

Районы работ:

- остров Самойловский (N 72,370 E 126,467), где расположен НИС «Самойловский», находится в районе первой террасы и периодически подтапливается речными водами. Остров охватывает площадь около 5 км². Западная часть образована недавними русловыми и эоловыми процессами. Восточная часть представлена ледяными жилами и небольшими термокарстовыми озерами. Острова, состоящие из разнородных отложений, типичны для дельты Лены: это геологическое строение говорит о смене обстановки осадконакопления как в латеральном векторе, так и во времени. Здесь были произведены 12 разрезов в различных элементах рельефа: С1, С2, С4 и Sam 3 расположены в западной части острова и подвержены сезонному подтоплению; С5, С6, С7, С8, С9.1, С9.2 и Sam1 находятся в северной и восточной частях острова и не подвержены подтапливанию; С ц. и Sam 2 - в центре острова на границе с незатапливаемой частью (Рис.2).

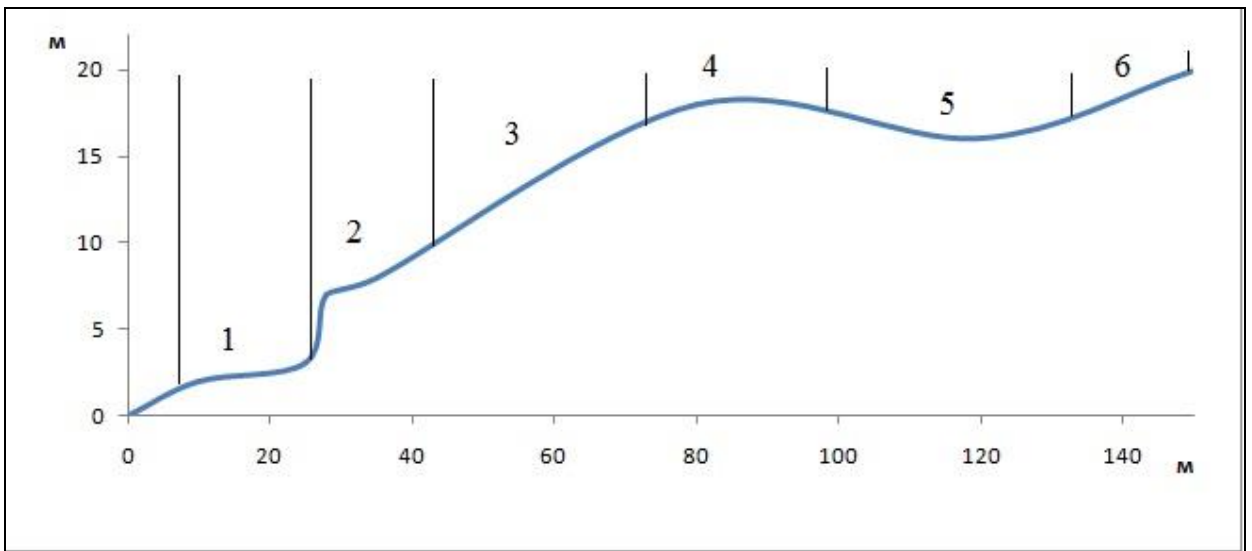


Рисунок 2. Почвенная catena острова Самойловский (1 - стратозем; 2 - серогумусовая; 3 - подбур; 4 - криозем; 5 - минерально-торфяная; 6 - торфяно-глеезем)

- Остров Арга-Белир-Арыта (N 72,382 E 126,427) расположен немного западнее острова Самойловский, и имеет высоту до 10 метров. Он состоит из песчаных отложений, пологий, рельеф характеризуется небольшими повышениями и понижениями в пределах 10-20 см. Остров также относится к первой террасе и подвержен поемному процессу в дельте. Здесь были сделаны 3 разреза в восточной части острова (Рис. 3).

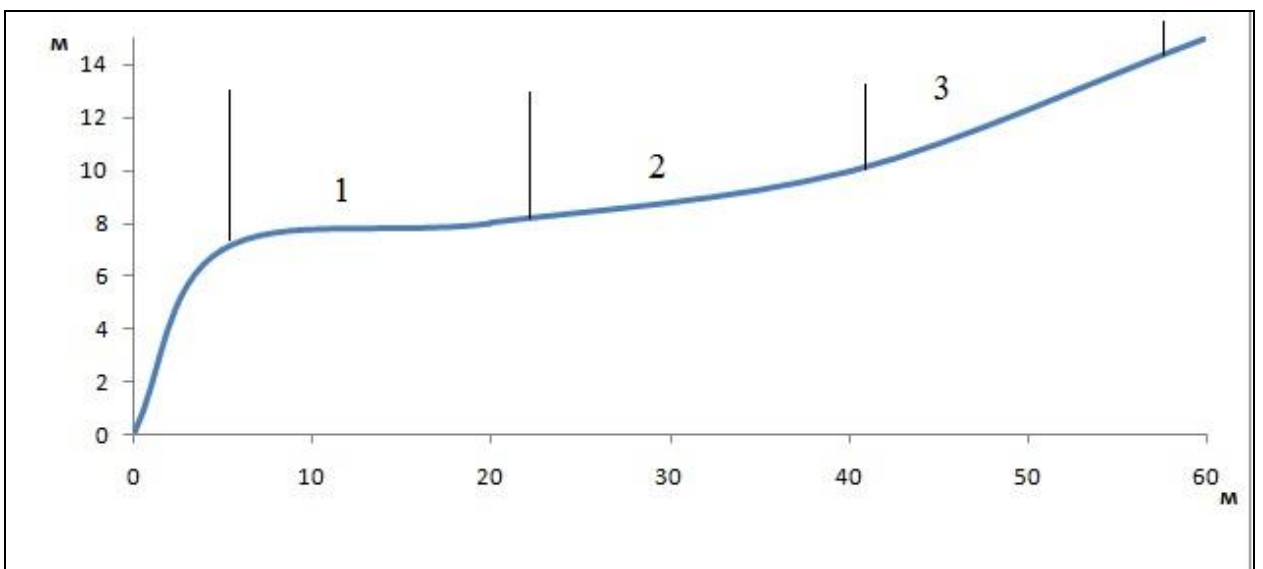


Рисунок 3. Почвенная catena острова Арга-Белир-Арыта (1 - стратозем; 2 - серогумусовая; 3 - криозем)

- Остров Курунгнах (N 72.476 E 126.279) расположен вблизи вершины дельты реки Лены и подмывается Оленекской протокой. Он сложен с поверхности отложениями Ледового комплекса и подстилающими их песками. Здесь сделано 29 почвенных разрезов. Были исследованы северная часть острова (гора Америка-Хая), восточная часть острова с ледяным холмом Сасыл-Булгуняга, южная и западная части острова. Он по факторам

почвообразования схож с островом Самойловский: первая терраса подвержена сезонной поемности, а вторая (ледовый комплекс) - зональным процессам почвообразования (Рис.4).

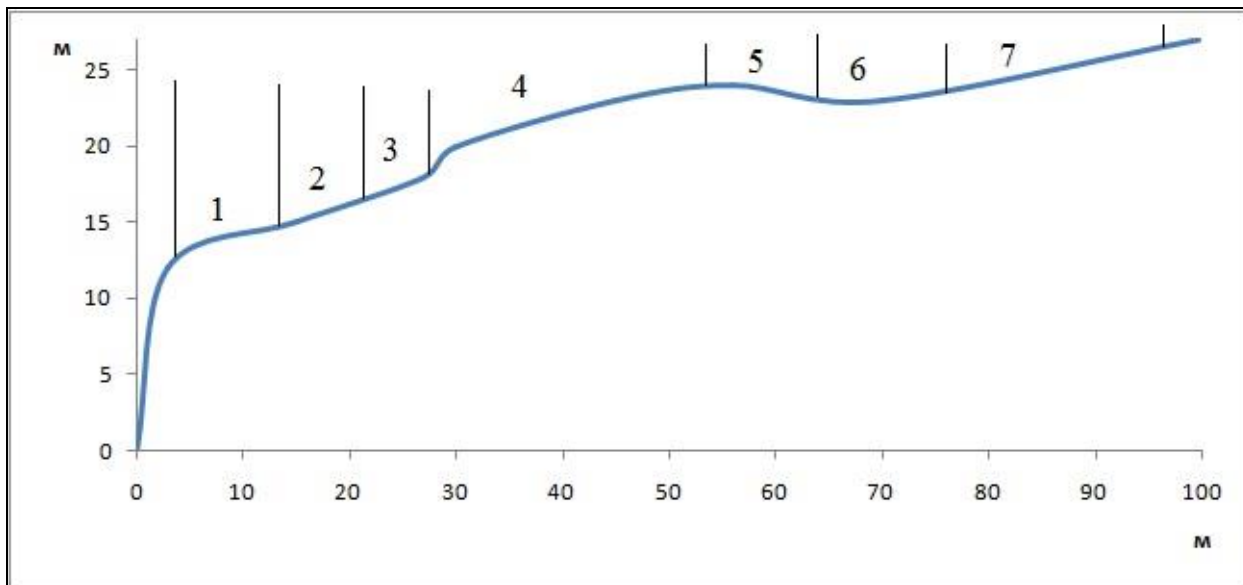


Рисунок 4. Почвенная catena острова Курунга (1 - серогумусовая; 2 - подбур; 3 - дерново-подбур; 4 - криозем; 5 - торфяная; 6 - минерально-торфяная; 7 - торфяно-глезем)

- Остров Харданг (N 72.46 E 123.56) выступает в западной части дельты, и имеет высоту до 45 метров. Сверху он сложен ледовым комплексом (ЛК) со слаборазложившимся моховым покровом. Для него характерен байджераховый рельеф как следствие размыва со стороны проток и внутренних частей острова по краям термокарстовых котловин и локальных эрозионно-термокарстовых долин. Остров подстилается ЛК горизонтальными слоистыми кварцевыми песками и алевритами, содержащими растительные остатки. Также встречаются внедрения ледяных жил, в некоторых слоях аккумулированы мелкая галька кварца, яшмы, сердолика как результат эоловых процессов разрушения песков (Рис.5). Здесь было заложено 7 разрезов.

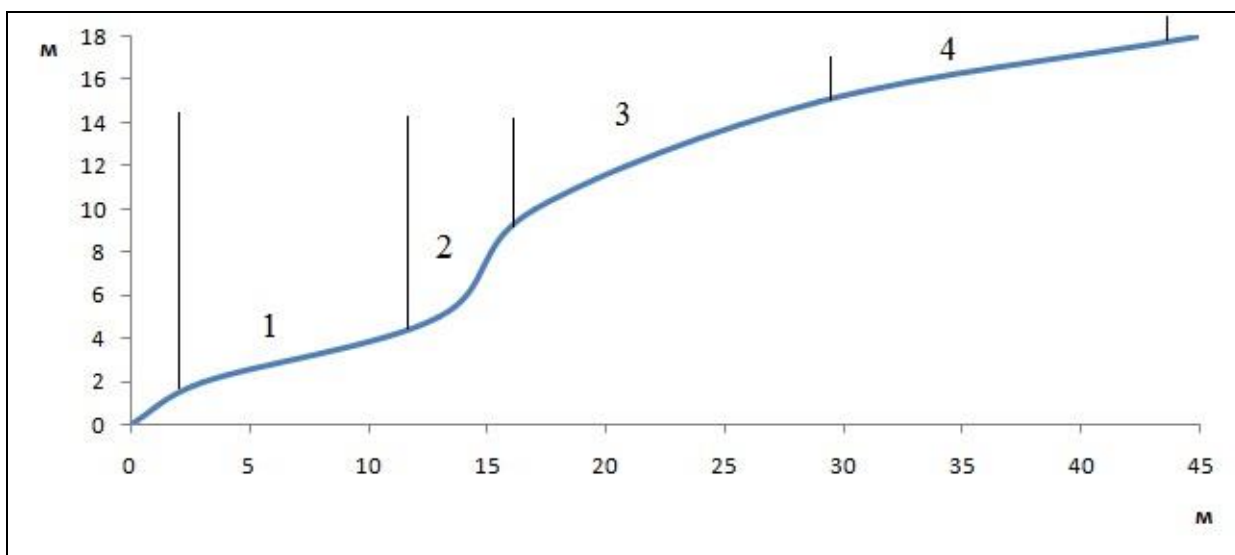


Рисунок 5. Почвенная катена острова Харданг (1 - стратозем; 2 - серогумусовая; 3 - криозем; 4 - торфяно-глеезем)

- Остров Эбе-Басын-Сисе (N 72.54 E 123.15) - западная часть дельты, сверху сложенная ЛК и подстилаемая переслаивающимися песками и алевритами с растительными остатками в виде детрита. Пески здесь - горизонтально-слоистые и волнисто-слоистые, что говорит об аккумуляции осадков в бассейне. Сделано три разреза вблизи пос. Нагым и на побережье залива Куба (Рис 6).

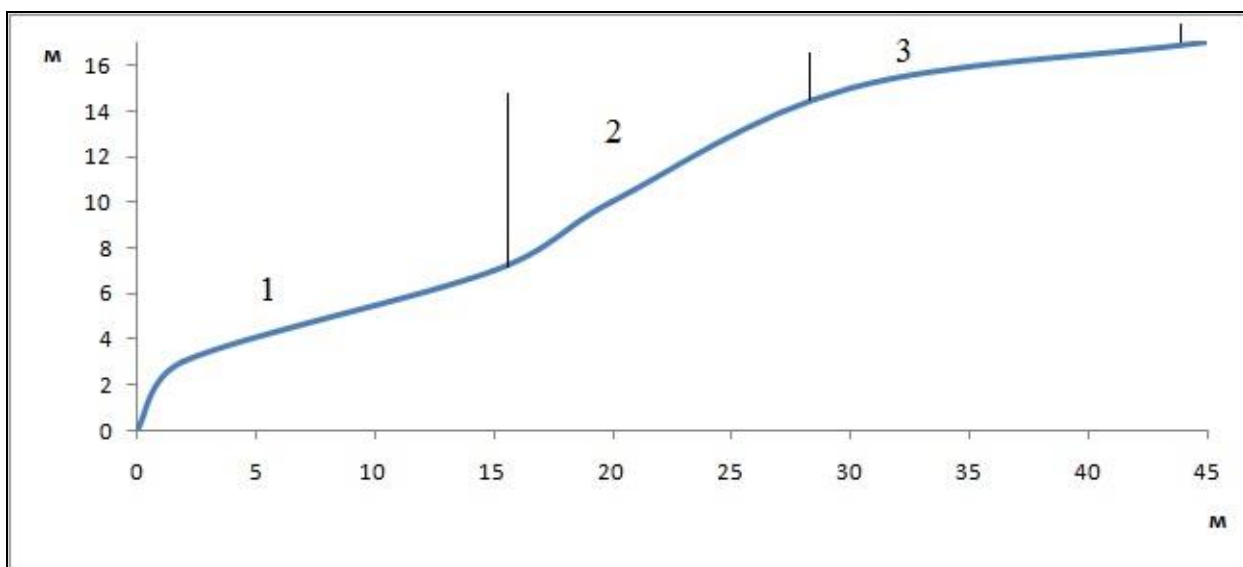


Рисунок 6. Почвенная катена острова Эбе-Басын- Сисе (1 - стратозем; 2 - торфяная; 3 - торфяно-глеезем)

- Остров Джан-Гылах (N 72.30 E 125.16) является продолжением острова Курунгнах и разделен небольшой протокой. Его высота достигает 40 метров. Сверху остров сложен ЛК, снизу - песками и алевритами (Рис.7). Сделан один разрез.

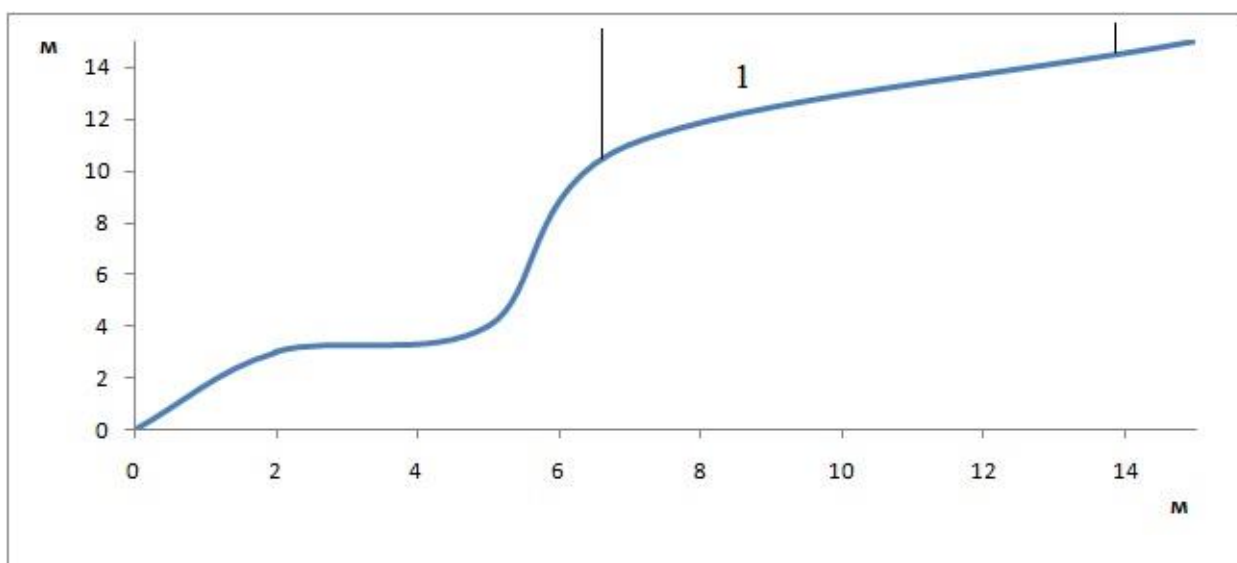


Рисунок 7. Почвенная катена острова Джан-Гылах (1-подбур)

Сравнительно-аналитические методы:

1. Сравнительно-географический метод

Суть метода заключается в сравнении между собой географических объектов, протекающих процессов, явлений, наблюдаемых на разных участках и в разные временные периоды. В результате устанавливались пространственные различия между почвенными ареалами

2. Сравнительно-морфологический метод

Сравнительно-морфологический метод состоит в сопоставлении морфологических особенностей почв. С его помощью устанавливают сходства и различия между этапами развития различных типов почв.

Лабораторные методы

1. Определение активной кислотности (рН вод.)

Активная кислотность – кислотность почвенного раствора, обусловленная растворенными в ней компонентами такими как свободные органические кислоты или другие органические соединения, содержащие кислые функциональные группы, свободные минеральные кислоты (главным образом, угольная кислота), а также другие компоненты, проявляющие кислотные свойства. В числе последних наибольшее влияние на величину рН оказывают ионы Al^{3+} и Fe^{3+} , причем их кислотные свойства соизмеримы с кислотными свойствами таких кислот как угольная и уксусная (ГОСТ 26423-85).

2. Определение потенциальной кислотности (рН сол.)

Потенциальная кислотность проявляется в результате взаимодействия почвы с растворами солей и оснований. Она влияет на уровень активной кислотности, но точные функциональные зависимости, позволяющие по потенциальной кислотности вычислить активную, не установлены (ГОСТ 26423-85).

3. Определение микробиологической активности почв, величина базального дыхания

Почвенная эмиссия CO_2 , также называемая почвенным дыханием, включает процессы микробиологической трансформации и разложения органических веществ и автотрофного дыхания корней. Эмиссия углекислоты - это суммарный (обобщающий) показатель биологической активности почв. Скорость продуцирования углекислоты почвой - базальное (микробное) дыхание - один из важных показателей состояния микробиоценозов почв. Показатель эмиссии углекислого газа связан с количеством доступных биогенных элементов и с гидротермическими условиями почвы (Федорова, 2004).

4. Определение органического углерода по методу Тюрина

Определение органического углерода необходимо для расчета запасов углерода. Тундровая зона характеризуется большим запасом органического вещества, представленного в виде растительных остатков, который в связи с климатическими особенностями региона захаранивается в почве (Орлов, 1985).

5. Определение плотности твердой фазы почвы

Плотность твердой фазы почвы - это масса твердой фазы почвы нарушенного сложения (без пор) в единице объема. Она определяется гранулометрическим и минералогическим составом почвы и содержанием в ней органического вещества. Величина плотности необходима при определении гранулометрического состава (при расчете скорости падения частиц по формуле Стокса). Также по величине можно косвенно судить о химическом и минералогическом составе (Рожков и др., 2002).

6. Отношение $C_{гк}/C_{фк}$

Исходя из величины этого отношения, можно определить тип гумуса, всего их 4: фульватный ($<0,5$), гуматно-фульватный ($0,5-1$), фульватно-гуматный ($1-2$) и гуматный (>2). Отношение содержания углерода гуминовых кислот (ГК) к содержанию углерода фульвокислот (ФК) служит количественной мерой типа гумуса. ГК и ФК являются конечными продуктами гумификации. В зависимости от типа гумуса можно определить условия, которые протекают в почве. Таким образом, в фульватной среде будет происходить миграция веществ и минералов по профилю, что связано со строением ФК. В то же время при гуматной обстановке, наоборот, будет происходить аккумуляция веществ, обусловленная тем, что гуминовые вещества содержат большое число ароматических углеводов в своем составе, поэтому они способны закреплять химические элементы (Орлов, 1985).

7. Определение гранулометрического состава почвы

Гранулометрический анализ проводился по методу Качинского и состоял из двух этапов: 1 - диспергация почвенной массы, 2 - анализ содержания частиц различного размера. Основной задачей первого этапа гранулометрического анализа является отделение элементарных почвенных частиц друг от друга. Для этого все почвенные пробы были растерты и просеяны через сито с ячейкой в 1 мм, а затем был применен раствор пиррофосфата натрия для того, чтобы разделить химически связанные частицы. Далее почвенный раствор снова подвергался механическому воздействию, дабы между частицами образовались заметные водные прослойки. После этапа разделения частиц осуществляется определение содержания частиц того или иного размера с помощью пипет-метода. Впоследствии с определенной глубины в расчетное время были отобраны пробы суспензии с частицами. По истечении некоторого времени с этой же глубины

отбирались пробы с частицами еще меньших радиусов. Расчет разницы между концентрацией частиц в первой и второй пробах дает концентрацию частиц определенного диапазона диаметров, то есть, концентрацию некоторой фракции гранулометрических элементов. Зная объем сосуда, в котором происходит осаждение, и объем пробы, по концентрации суспензии мы смогли рассчитать содержание фракции в навеске почвы (Рожков и др., 2002).

8. Определение гигроскопической влажности почвы

Гигроскопическая влажность почвы (ГВ) - это количество воды, которое содержится в воздушно-сухой почве, то есть, почве, длительное время выдерживаемой в условиях комнатной температуры и влажности воздуха (Рожков и др., 2002).

9. Определение максимальной гигроскопической влажности почвы

Максимальная гигроскопическая влажность (МГ) - это то количество воды, которое почва поглощает из воздуха, насыщенного парами воды. Величина МГ зависит от гранулометрического состава почвы, содержания в ней илистых частиц, органического вещества и степени его гидрофильности (Рожков и др., 2002).

10. Наименьшая влагоемкость

Под наименьшей влагоемкостью (НВ) понимается то количество влаги, которое способно удерживаться в почве в состоянии равновесия после максимального ее увлажнения сверху и свободного оттока гравитационной влаги. НВ отражает водоудерживающую способность почвы и определяет величину влагообеспеченности растений (Рожков и др., 2002).

11. Определение полной влагоемкости

Полной влагоемкостью (влаговместимость) (ПВ) называется максимальное количество воды, которое удерживается в почве в состоянии ее полного насыщения при заполнении всех пор водой (Рожков и др., 2002).

3. Результаты и обсуждение

3.1 Морфогенетическая характеристика почв, их таксономическое положение

Диагностика почв показала, что они относятся к 3 стволам (постлитогенные, органогенные и синлитогенные), включающих в себя 6 отделов (органо-аккумулятивные, альфегумусовые, криотурбированные, торфяные, глеевые и стратоземы) (Герасимова, 2004). С распространением каждого отдела связаны определенные условия образования: положение в ландшафте, удаленность от поймы, степень увлажнения, растительный покров, активность криогенных процессов.

Почвы, приуроченные к району дельт, развиваются под действием двух групп факторов: поемно-аллювиальные и зональные. На местах, ежегодно затапливаемых полыми водами, развиваются *почвы отдела стратоземы*, которые представлены типом стратоземы серогумусовые, относящиеся к стволу синлитогенных почв и характеризующиеся речным накоплением материала, чаще всего слоистостью (горизонтальная и волнисто-горизонтальная). Слои различаются цветом, гранулометрическим составом и структурой, что связано с мощностью водного потока: чем быстрее водный поток, тем больше оседает крупных частиц (песка); при невысоких скоростях воды оседают мелкие частицы (пыль и ил). Почвы имеют супесчаный гранулометрический состав, их цвет изменяется от темно-серого до серого, они бесструктурны, и их границы горизонтальные, волнисто-горизонтальные. Также различаются и химические показатели почвы: происходит перераспределение органического углерода в почве, которая отличается мощным профилем до 79 см. В ней присутствуют признаки оглеения на контакте с ММП. Данный тип почв является самым молодым образованием в дельте.

Флора характеризуется следующими видами: осоки (*Salix lauca/reptans/lanata*), хвощ (*Equisetum sp*), лисохвост (*Alopecurus alpinus*), овсяница (*Festuca rubra*), щучка (*Deschampsia borealis*).

К стволу постлитогенных и органогенных почв, образующихся на уже сформировавшихся почвообразующих породах без вноса свежего речного материала, относится ряд отделов. *Отдел органо-аккумулятивных почв*, к которому приурочено два типа почв - серогумусовые и светлосерогумусовые. Почвы данного отдела недавно вышли из режима поемности и характеризуются одним гумусовым горизонтом. Срединный горизонт как самостоятельное генетическое образование не выражен. В нем присутствуют признаки оглеения на границе с ММП, и высоко подходят грунтовые воды. Почвы

развиваются на породах аллювиального происхождения легкого гранулометрического состава. Отличие между сероугомусовой и светлосероугомусовой почвами заключается в содержании органического углерода: до 4% - в сероугомусовой, которая имеет комковатую непрочную структуру и темно-серый цвет. Светлосероугомусовая выделяется наличием карбонатов в материнской породе. Почвы образуются в одном месте в дельте, о. Столб, которое является останцом скальных пород, отмытым водой от одного из отрогов Хараулахского хребта. Содержание органического углерода здесь невысокое, до 5%. Почвы развиваются на высоте 130 метров и не подстилаются ММП. Кроме того, в почвах отсутствуют признаки оглеения.

Флора представлена теми же видами, что и на стратоземах.

Следующий отдел почв, развивающийся в дельте реки Лены, связан с накоплением соединений железа и алюминия на контакте с многолетнемерзлыми породами. Он характеризуется в окислительных условиях охристой окраской. *Альфегумусовый отдел почв* развивается на породах легкого гранулометрического состава и обусловлен двумя типами - подбур и дерново-подбур. Оба типа несут признаки оглеения. По гранулометрическому составу почвы относятся к опесчаненным суглинкам, цвет которых - палевый, почва имеет комковатую структуру, в ней присутствуют рыжие и бурые пятна. Главное отличие между подбурами и дерново-подбурами состоит в присутствии у дерново-подбуров органо-аккумулятивного горизонта АУ. В почве развиваются признаки оглеения и процессы криогенеза в горизонтах близ ММП.

Флора представлена: мхами (*Drepanocladus revolvens*, *Meesia triquetra*, *Rhizomnium punctatum*, *Calliergon giganteum*), осокой (*Carex chordorrhiza*) и цветковыми (*Comarum palustre*, *Pedicularis sudetica*).

Следующий *отдел криотурбированных почв* представлен криоземами. Развиваются эти почвы на хорошо дренированных территориях, но также в них присутствуют признаки оглеения на контакте с ММП. Они имеют серовато-бурый цвет, их гранулометрический состав представлен легким суглинком, структура почв - комковатая, и в них присутствуют рыжие пятна. На контакте с ММП в почвах образуется геохимический барьер, который служит местом аккумуляции органо-минеральных соединений.

Флора обилует следующими видами: мхи (*Hylocomium splendens*), цветковые (*Dryas punctata*, *Polygonum viviparum*, *Saxifraga punctata*, *Astragalus frigidus*, *Luzula tundricola*, *Lagotis glauca*, *Saxifraga hirculus*, *Valeriana capitata*).

Отдел глеевых почв включает в себя один тип, торфяно-глееземы, которые развиваются в условиях избыточного увлажнения, занимая локальные мезо- и

микроронижения. Они характеризуются наличием торфяного горизонта, подстилаемого глеевым горизонтом. Их цвет - темно серый с сизыми пятнами, их состав – легкий, средний суглинок, а структура - комковатая.

Флора идентична видам, развивающимся на торфяной почве. В основном, преобладают мхи.

Отдел торфяных почв относится к стволу органогенных почв и включает в себя два типа почв: эутрофно-торфяной и торфяно-олиготрофный. Они развиваются на дренированных позициях и характеризуются наличием поверхностного торфяного горизонта различного состава, сменяющегося органогенной породой. В почве происходят процессы торфообразования и торфонакопления. Она имеет темно-серый цвет, содержит органические остатки разной степени разложенности, и в ней присутствуют признаки оглеения на контакте с ММП. Основное отличие между этими типами заключается в степени разложенности органических остатков: в торфяно-эутрофном типе степень разложенности выше, что обусловлено микробиологической активностью.

Флора представлена типичными тундровыми видами и идентична видам на криоземах. Однако здесь мхи занимают большую часть проективного покрытия.

Почвы дельты реки Лены развиваются под действием нескольких процессов: поемно-аллювиального и совокупности зональных процессов почвообразования (торфообразование, оглеение и криогенез). В связи с этим почвенное разнообразие дельты реки Лены представлено следующими отделами: стратоземы, развивающиеся в условиях действия поемно-аллювиального процесса, постоянного переотложения свежего речного аллювия и длительного затопливания в период половодья и являющимися самыми молодыми почвами дельты. Отдел серогумусовых почв - это не так давно вышедшие из под влияния поемно-аллювиального процесса почвы, которые характеризуются одним гумусоаккумулятивным горизонтом, унаследованным в процессе аллювиального накопления материала. Для отдела альфегумусовых почв свойственен срединный горизонт ВНФ, в котором образуются органоминеральные комплексы с железом, мигрирующие внутри профиля почвы. Отдел криоземы связан с активно протекающими криогенными процессами (пятнообразование, криогенный массообмен, тиксотропия, солифлюкция, термокарст). Почвы являются зональными в арктической подзоне и формируются в дельте реки на второй террасе. Отдел торфяных почв характеризуется накоплением органических остатков в профиле и захараниванием их в многолетнемерзлых породах; отдел также является зональным. Отдел глеевых почв диагностируется наличием глеевого горизонта на контакте с ММП, в них происходят

процессы надмерзлотного оглеения. Почвы являются самыми древними в дельте реки Лены и развиваются на вершинах второй и третьей террасы.

3.2 Реакция среды в почвах

Почвы дельты реки Лены имеют кислую (4,5-5,5), слабокислую (5,5-6,5), нейтральную (6,5-7) и слабощелочную (7-7,5) среды. Нейтральная и слабокислая среды обусловлены наличием карбонатов в среднем и нижнем течении реки, которые переносятся сюда вместе со взмученным материалом. Кислая реакция приурочена к гумусовым горизонтам и слою на контакте с ММП, где возникает геохимический барьер. Слабощелочная реакция возникает из-за близости моря, и здесь происходит процесс импัลверизации и перенос солей с моря на затапливаемые участки почвы.

В зависимости от ландшафтной обстановки почвы характеризуются той или иной реакцией среды. Так, для почв, формирующихся в районе первой затапливаемой террасы, свойственен приток соленых вод из моря и подщелачивание; для почв, которые уже не участвуют в поемно-аллювиальном процессе, типична кислая среда внутри профиля и небольшое подщелачивание с поверхности в связи с процессом импัลверизации.

3.3 Оценка микробиологической активности почв

Почва является важным природным резервуаром и наиболее существенным источником биогенного углерода в наземных экосистемах. Почвенная эмиссия CO_2 , также называемая почвенным дыханием, включает процессы микробиологического разложения органических веществ и автотрофного дыхания корней. Эмиссия углекислоты - это суммарный (обобщающий) показатель биологической активности почв. Скорость продуцирования углекислоты почвой - базальное (микробное) дыхание - один из важных показателей состояния микробиоценозов почв. Нами была проведена оценка микробиологической активности почвы дельты реки Лены.

Показатель эмиссии углекислого газа связан с количеством доступных биогенных элементов и с гидротермическими условиями почвы. Наибольшая эмиссия наблюдается в верхних горизонтах почвы, где происходит основное количество биологических процессов, связанных с жизнедеятельностью организмов.

В стратоземах показатель варьируется от 30 до 77 мгCO_2 на 100г почвы в сут^{-1} (Рис.8). В профиле присутствует один пик, и он связан с гумусо-аккумулятивным горизонтом на глубине 20 см. Здесь развиваются благоприятные условия для микробиоты, чем обусловлен такой высокий показатель эмиссии.

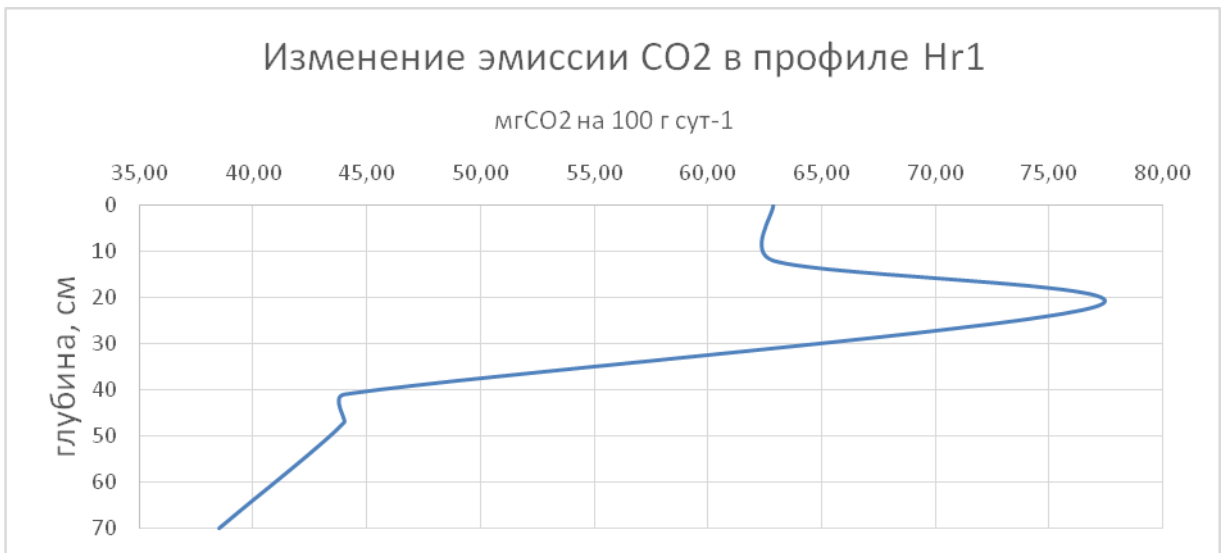


Рисунок 8. Изменение эмиссии CO₂ в профиле Nr1 (Стратозем - серогумусовый)

Для серогумусовых почв характерна невысокая эмиссия углекислого газа (Рис. 9). Максимальный показатель наблюдается в гумусо-аккумулятивном и корнеобитаемом слое почвы и уменьшается с глубиной.

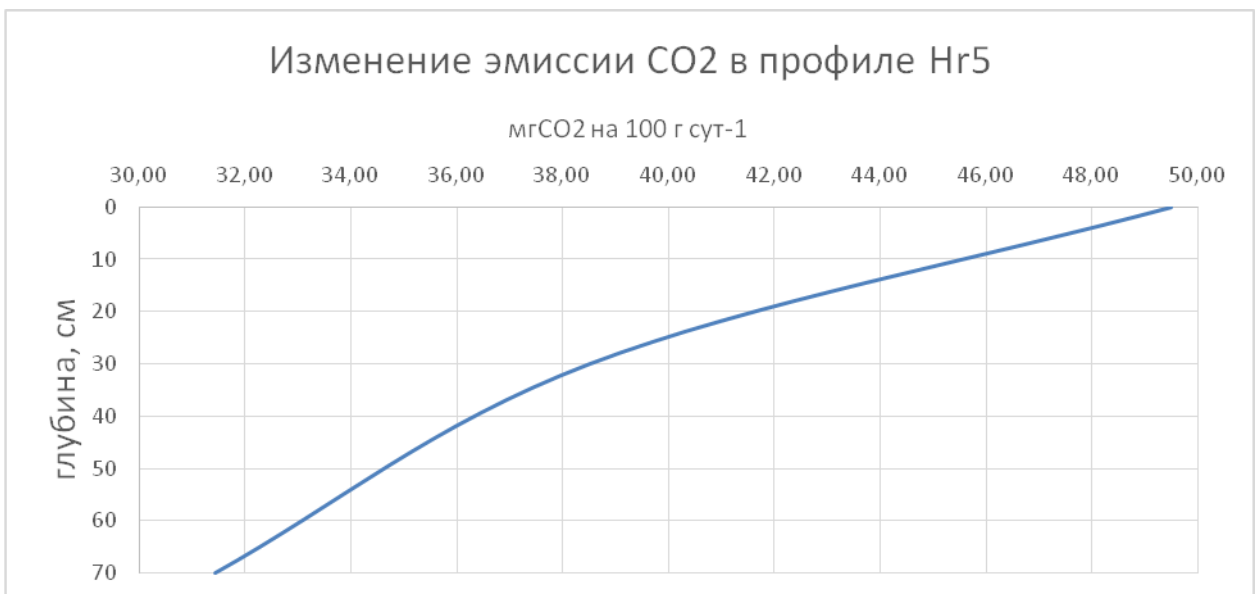


Рисунок 9. Изменение показателя эмиссии CO₂ в профиле Nr5 (Серогумусовая окисленно-глеевая)

Эмиссия углекислого газа в профиле дерново-подбура (Рис. 10) – невысокая и достигает 70 мгCO₂ на 100 г почвы в сут⁻¹. Максимум эмиссии прослеживается в гумусо-аккумулятивном горизонте и убывает вниз по профилю.

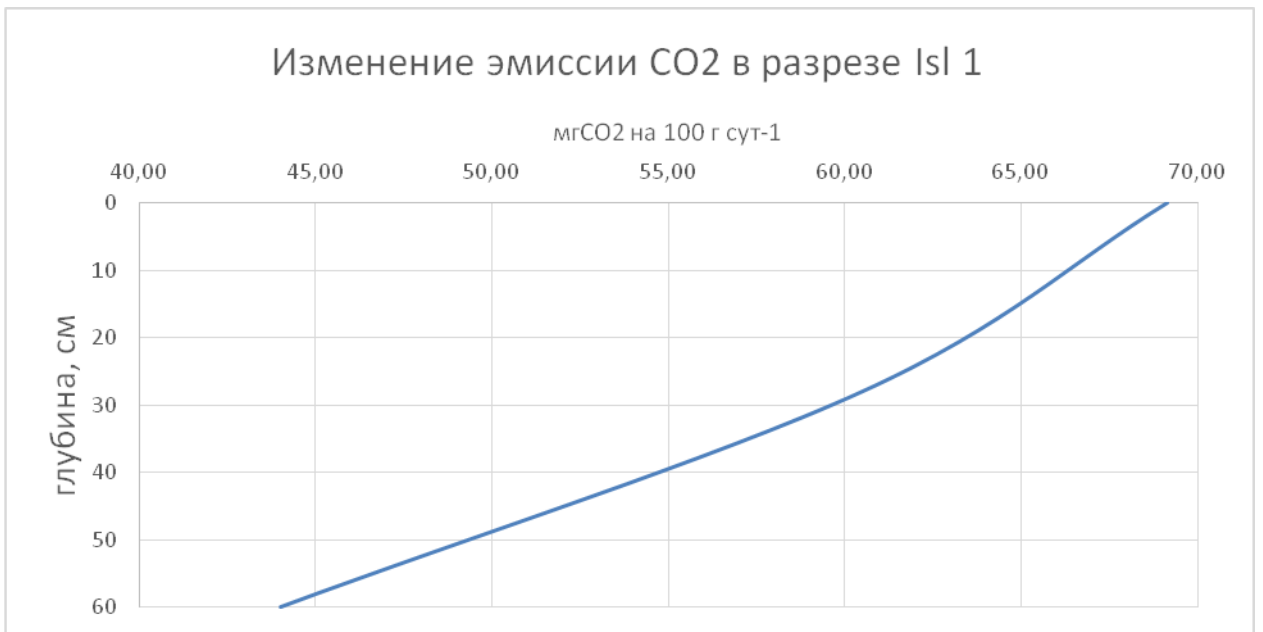


Рисунок 10. Изменение показателя эмиссии CO₂ в профиле Is1 1 (Дерново-подбуроглееный криотурбированный)

Эмиссия углекислого газа в отделе криотурбированных почв представлена на Рис. 11. Почвам свойственен высокий уровень эмиссии до 128 мгCO₂ на 100г почвы в сут⁻¹, который уменьшается вниз по профилю.



Рисунок 11. Изменение показателя CO₂ в профиле Нг 4 (Криозем серогумусовый окисленно-глеевый)

Эмиссия углекислого газа в отделе торфяных почв (Рис. 12) – высокая, до 145 мгCO₂ на 100 грамм почвы в сут⁻¹, и уменьшается вниз по профилю. Торфяные почвы обладают одними из самых высоких показателей эмиссии углекислого газа в дельте.



Рисунок 12. Изменение показателя эмиссии CO₂ в профиле Ng2 (Торфяно-эутрофная окисленно-глеевая)

Эмиссия углекислого газа в отделе глеевых почв (Рис. 13) – высокая, до 128 мгСО₂ на 100 грамм почвы в сут⁻¹. Максимум достигается в приповерхностном торфяном слое, и этот показатель убывает с глубиной.

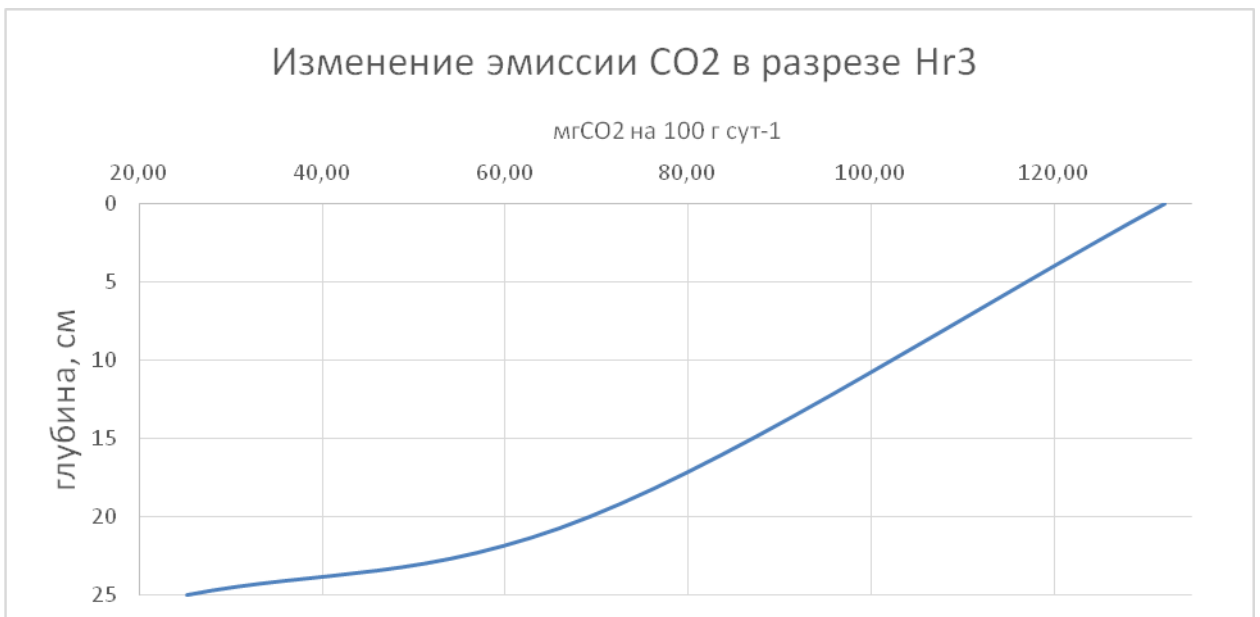


Рисунок 13. Изменение показателя эмиссии CO₂ в профиле Nr3 (Торфяно-глеезем)

Таким образом, микробиологическая активность почв тесно связана с обводненностью исходного участка, его микроклиматом, а также типом органических остатков, которые аккумулируются в почве. На территориях, сопряженных с участками, где происходят процессы торфообразования и торфонакопления, сформировалась благоприятная среда для микробной биомассы, вследствие чего отмечен высокий показатель эмиссии углекислоты. На участках, принадлежащих к районам затопления,

наблюдалась пониженная активность микроорганизмов, указывающая на то, что явление поемности оказывает негативное влияние на жизнедеятельность микроорганизмов.

3.4 Оценка содержания органического углерода в почве

Почвы дельты реки Лены характеризуются высоким запасом органического углерода в гумусных и торфяных горизонтах, а также низким содержанием в минеральной части почвы. Накопление гумуса происходит в верхних слоях почвы и на контакте с ММП, что обусловлено потечностью гумуса в почве и образованием геохимического барьера.

На этой основе был проведен анализ на содержание органического углерода в почве по косвенному и прямому методу определения органического углерода для всех отделов почв.

Для отдела стратоземов, который представлен типом стратозем серогумусовый (Рис. 14), в почве явно выражена стратификация содержания гумуса по горизонтам, что связано с неоднородностью распределения материала, поскольку территории подвергаются ежегодному затапливанию и привносу свежего речного аллювия. Содержание гумуса в них низкое, что обусловлено низкой биологической активностью как результат поемности. На рисунке 14 представлено распределение величин содержания органического углерода по двум методам. Как видно из рисунка, данные практически идентичные, что говорит нам о том, что в почве содержится невысокое содержание галогенов и двухвалентного железа.

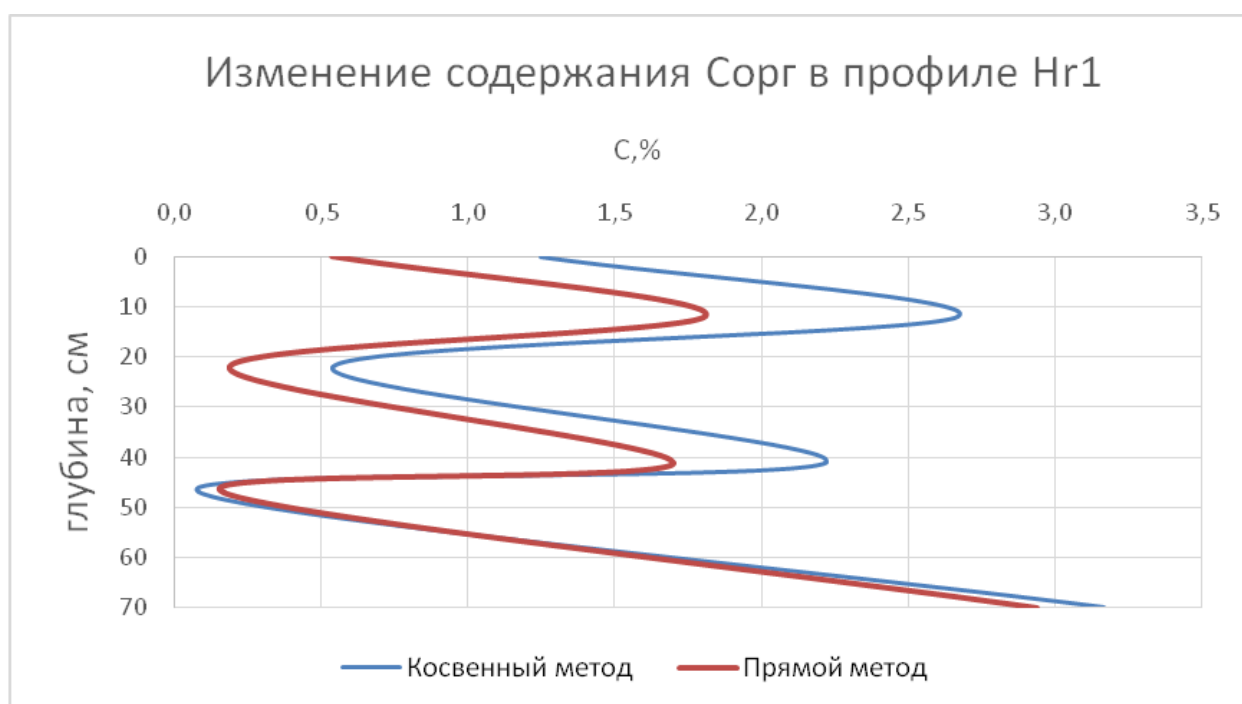


Рисунок 14. Изменение содержания C орг. в профиле Nr1 (Стратозем серогумусовый)

Остальные почвы относятся к стволу постлитогенного и органогенного почвообразования без притока свежего материала. Отдел органоаккумулятивных почв связан с одним органо-аккумулятивным горизонтом (Рис.15). Из графика на рисунке 15 заметно, что пик достигается в гумусоаккумулятивном горизонте, что свидетельствует о том, что здесь развиваются благоприятные условия для микробиоты, согласно методу Тюрина.

Опираясь в исследовании на прямой метод определения углерода, можно наблюдать существенные различия по отношению к косвенному методу. Это может сообщать о том, что в гумусоаккумулятивном горизонте накапливаются галогены, и в молекулах содержится большое количество водорода, на окисление которых уходит бихромат калия. Вследствие, получаются завышенные значения органического углерода по косвенному методу.

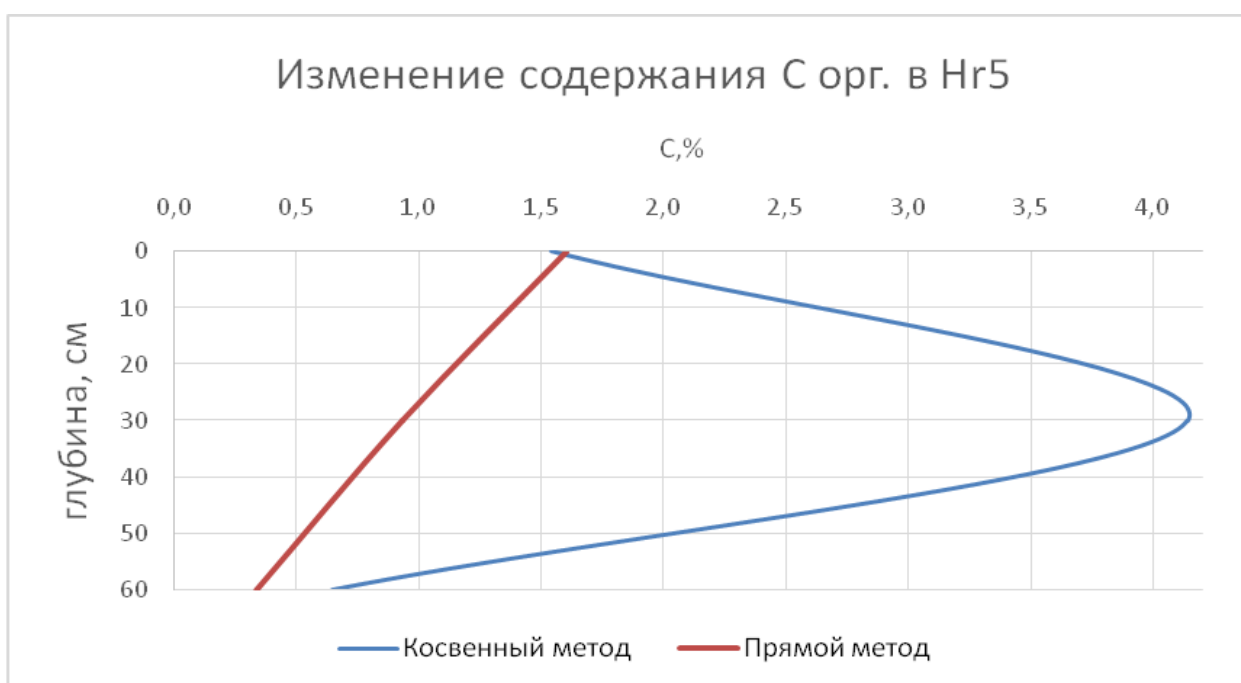


Рисунок 15. Изменение содержание C орг. в профиле Nr5 (Серогумусовая окислительно-глеявая)

Отдел альфегумусовых почв представлен двумя типами: дерново-подбур и подбур (Рис.16). Максимальный показатель содержания гумуса достигается в гумусоаккумулятивном горизонте, при этом содержание гумуса - среднее (4 – 6%) (Орлов, 1985). Такая динамика наблюдается в косвенном методе определения органического углерода в почве. Для прямого метода характерен пик в альфегумусовом горизонте. Содержание гумуса убывает с глубиной. В данных почвах образуются органоинеральные комплексы с железом и низкой миграционной способностью.

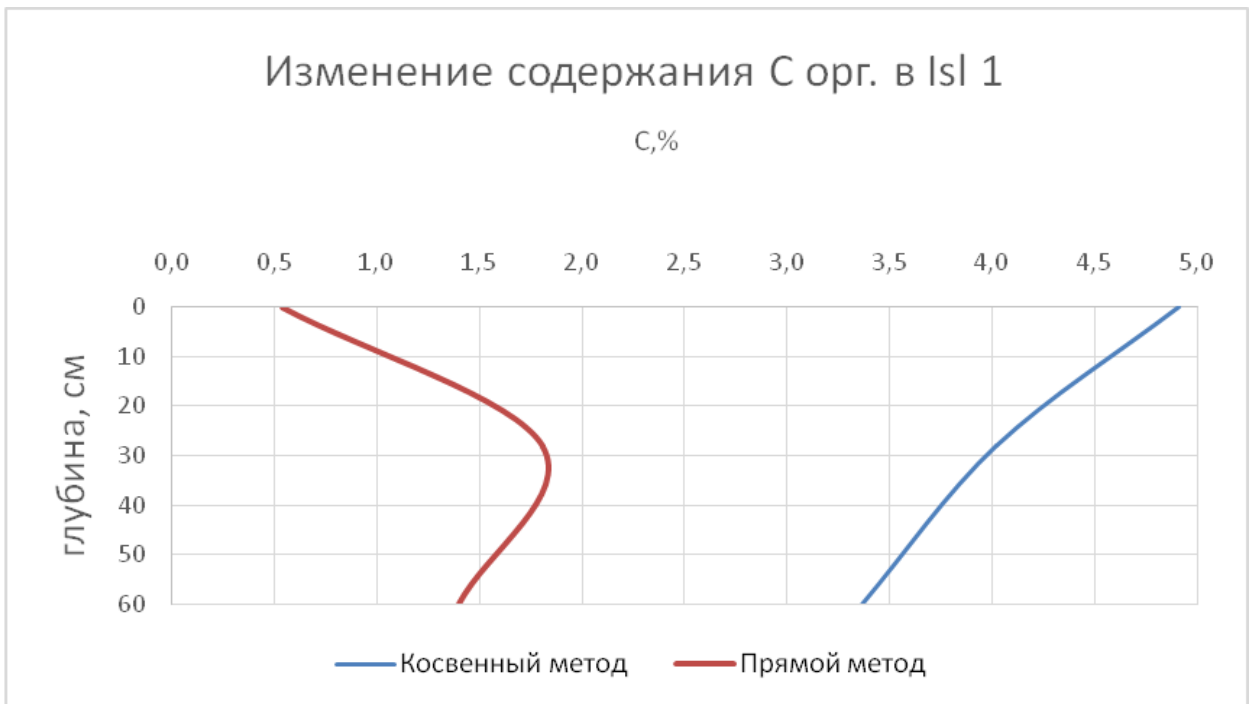


Рисунок 16. Изменение содержания С орг. в профиле Isl 1 (Дерново-подбур глееватый криотурбированный)

Отдел криотурбированных почв представлен явно выраженными процессами криогенеза (криогенный массообмен, пятнообразование) (Рис. 17). Максимум содержания гумуса находится вблизи расположения ММП, что говорит об образовании в почве геохимического барьера, который препятствует дальнейшему движению гумуса по профилю и его аккумуляции. Показатель содержания углерода по косвенному методу в 2,5 раза выше по отношению к прямому методу. Это свидетельствует о том, что в почве протекают процессы внутримолекулярного окисления.

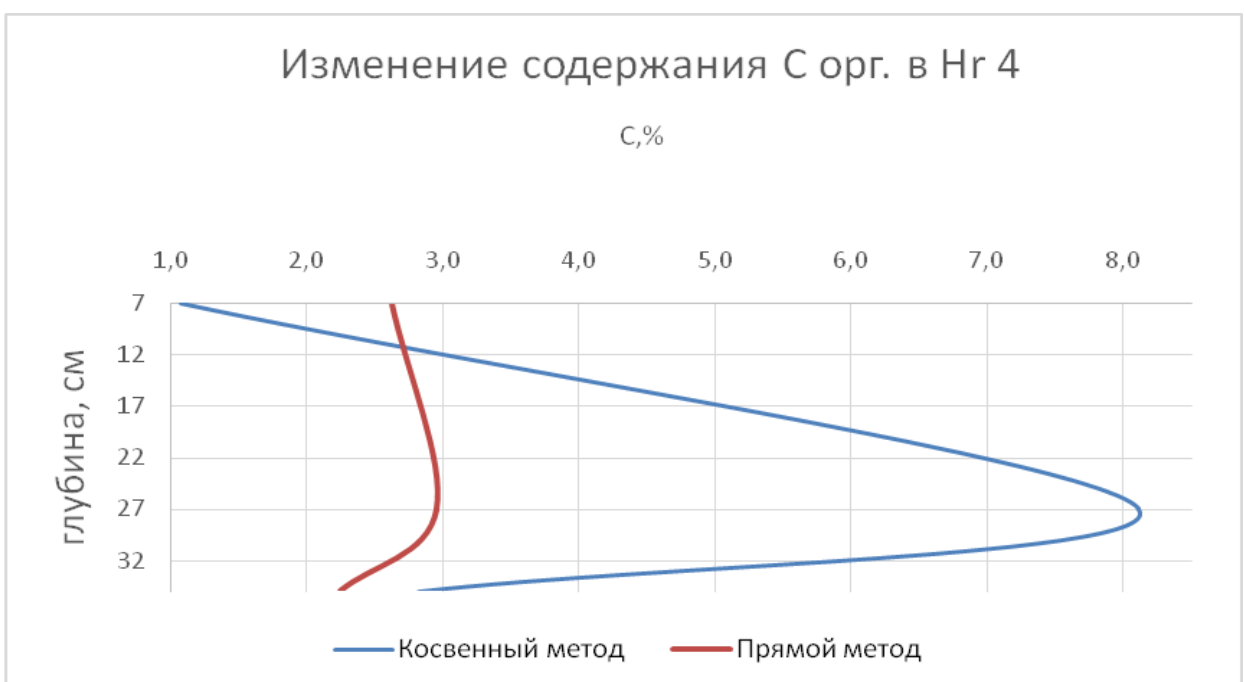


Рисунок 17. Изменение содержания С орг. в профиле Нг 4 (Криозем серогумусовый окисленно-глеевый).

Содержание гумуса в отделе торфяных почв - очень высокое, что связано с большим содержанием органических остатков в почве и их гумификацией (Рис .18). Содержание гумуса с глубиной уменьшается. Такая динамика характерна для косвенного метода. При использовании прямого метода можно наблюдать стабильно низкое содержание органического углерода.

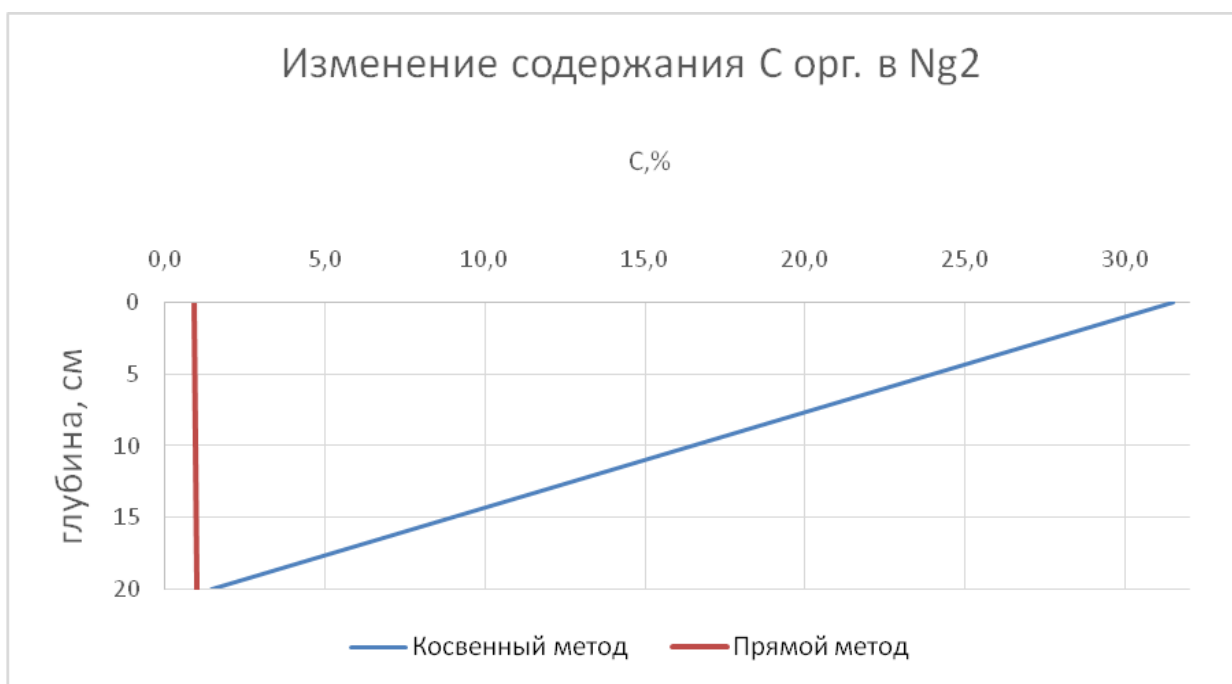


Рисунок 18. Изменение содержания Сорг. в профиле Ng2 (торфяно-эутрофная окисленно глеевая)

Отдел глеевых почв отличается наличием в профиле глеевого горизонта, который расположен на контакте с ММП, где протекают анаэробные условия среды (Рис. 19). Согласно косвенному методу, содержание гумуса - высокое, с поверхности почвы имеют моховой очес, чем объясняется высокое содержание органического углерода с поверхности. Вблизи ММП наблюдается максимум содержания гумуса, гумусовые вещества закрепляются в глеевом горизонте, где происходят процессы закрепления гумуса и комплексов с железом.

В рамках прямого метода эти значения уменьшены в 3-4 раза в отличие от косвенного метода. В анаэробной среде образуется двухвалентное железо, на окисление которого расходуется бихромат калия, отсюда такие высокие значения при использовании косвенного метода.

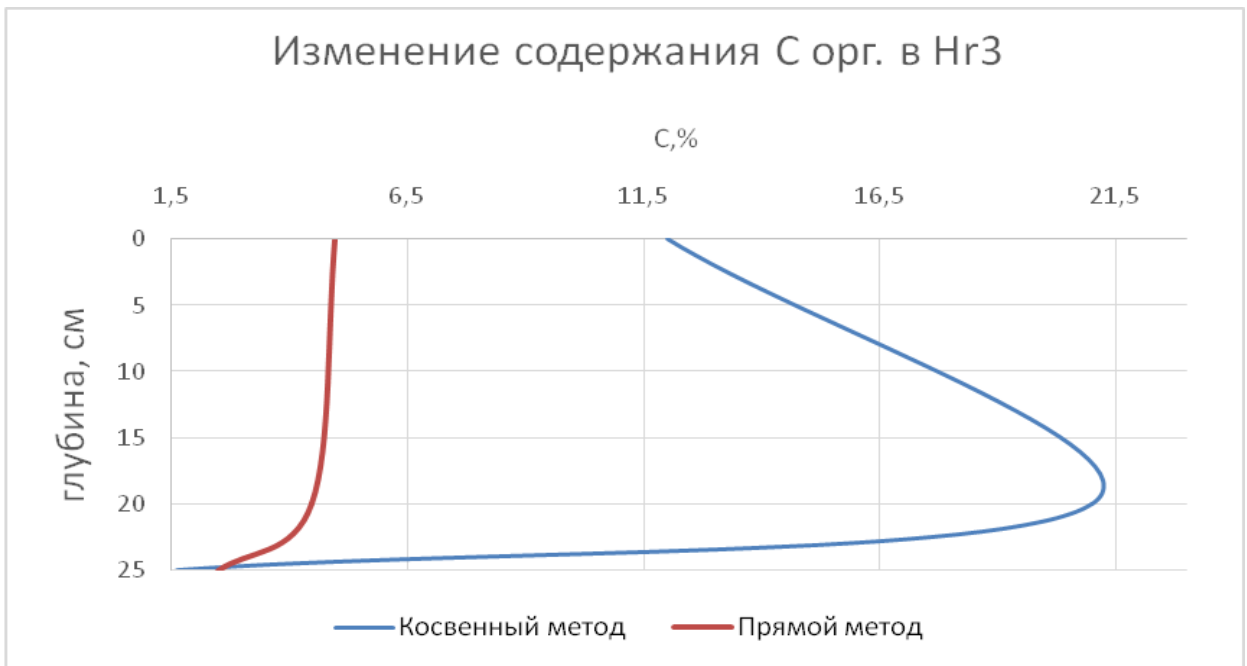


Рисунок 19. Изменение содержания Сорг в профиле Nr3 (Торфяно-глеезем)

Исходя из полученных результатов, можно выявить зависимость в распределении и закреплении гумуса в почве. Ствол синлитогенного почвообразования связан со стратификацией гумуса по профилю и низким содержанием органического углерода, что говорит о низкой биологической активности почв. Для стволов постлитогенного и органогенного почвообразования характерно ложное завышение показателей содержания органического углерода по методу Тюрина. Это связано с наличием в почве галогенов, двухвалентного железа и с повышенным содержанием водорода в молекулах.

3.5 Оценка водно-физических свойств почвы

Гранулометрический анализ проводился по методу Качинского. Результаты представлены на рисунке 20. На треугольнике Ферре отмечены области, в которые входят почвы дельты реки Лены. Они разделены на 4 категории: песок, суглинистый песок, опесчаненный суглинок, пылеватый суглинок. Как видно из рисунка, большая часть обработанных проб относится к категории песок. Это говорит о том, что в дельте откладывается большое количество аллювия. Этот факт свидетельствует о большой скорости потока, в результате чего оседают крупные частицы. Увеличение состава фракции пыли объясняется тем, что при небольшой смене русла и скорости потока оседают более мелкие частицы, а илистые частицы выпадают в очень малом количестве. Песок представлен в почвах, развивающихся в районах "пойменных лугов". На второй террасе развиваются почвы более тяжелого гранулометрического состава, суглинистый песок, опесчаненный суглинок и пылеватый суглинок, что связано в большей степени как

с деятельностью растительного покрова (образованием агрегатов), так и с микробиологической активностью.

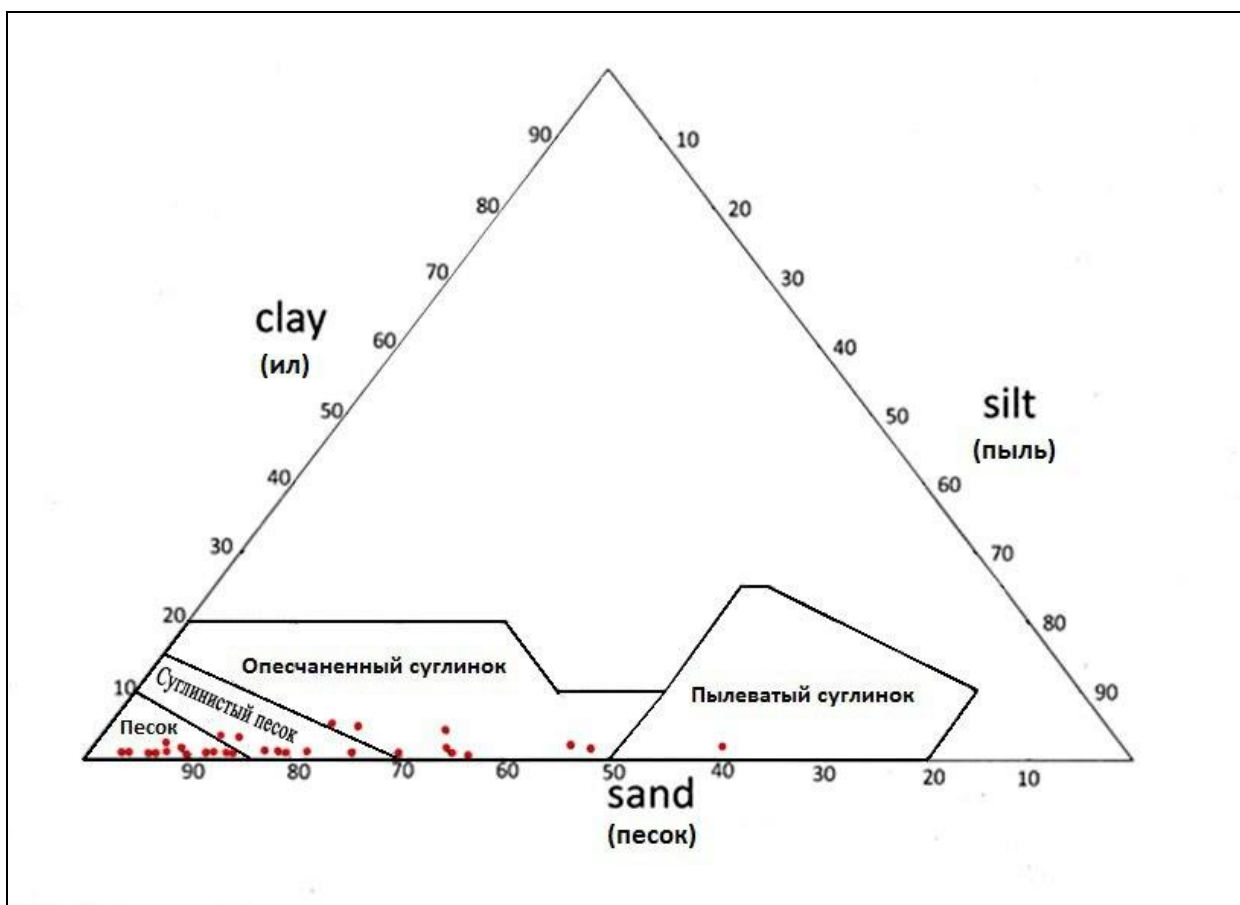


Рисунок 20. Треугольник Ферре для классификации почв по гранулометрическому составу

К гранулометрическому составу и содержанию органического углерода приурочены показатели влажности. Результаты определения влажности в почве дельты Лены приведены в Таблице 2. В почвах дельты реки Лены выражена явная стратификация горизонтов: в профиле С1 (стратозем серогумусовый окисленно-глеевый) мы наблюдаем нетипичное распределение величин влажности, что является следствием аллювиального отложения материала. Такое распределение величин влажности характерно для затопляемых территорий, где ежегодно на поверхности почвы откладывается свежий речной материал. В профиле С1 свежий материал переслаивается уже с почвами, затронутыми почвообразованием, в которых уже сформировался горизонт АУ (серогумусовый), поэтому здесь образуется такая кривая распределения представленная на Рисунке 21. Горизонт АУ обусловлен наличием почвенного органического углерода (> 2,5%) с гранулометрическим составом пылеватый суглинок.

| Образец | ГВ | МГВ | ПВ | НВ |
|------------|------|------|----|----|
| С1 (4-13) | 0,57 | 1,98 | 48 | 30 |
| С1 (13-27) | 0,75 | 2,15 | 53 | 34 |

| | | | | |
|--------------|------|------|----|----|
| C1 (27-30) | 0,44 | 1,28 | 44 | 25 |
| C1 (30-51) | 0,60 | 1,78 | 45 | 34 |
| C4 (12-29) | 0,50 | 1,25 | 39 | 29 |
| C4 (29-43) | 0,33 | 0,95 | 37 | 23 |
| C8 (6-16) | 1,21 | 3,20 | 55 | 38 |
| C8 (16-30) | 0,27 | 0,86 | 38 | 23 |
| C ц. (6-17) | 0,63 | 2,01 | 41 | 28 |
| C ц. (17-31) | 0,59 | 2,21 | 39 | 22 |
| A2(0-12) | 0,71 | 2,05 | 34 | 25 |
| A2(12-39) | 0,49 | 1,89 | 33 | 21 |
| A3 (0-18) | 0,75 | 2,11 | 41 | 32 |
| A 3 (18-52) | 0,51 | 1,43 | 38 | 24 |

Таблица 2. Гидрологические константы в почве дельты реки Лены (ГВ-гигроскопическая влажность, МГВ - максимальная гигроскопическая влажность, ПВ - полная влагоемкость, НВ - наименьшая влагоемкость)

Для территорий, которые уже вышли из условий сезонных затоплений, свойственно убывание вниз по профилю показателя влажности. Это связано с тем, что в верхних органо-аккумулятивных горизонтах, судя по данным гранулометрического состава, присутствует больше пылевых частиц, а также больше органического материала. Эти частицы активнее абсорбируют влагу в отличие от песчаных частиц. В результате в местах, вышедших из ежегодной поемности, происходит аккумуляция пылевого материала в верхних горизонтах и активное накопление органического вещества, что соответствует данным ГВ (Рис. 21) и МГВ (Рис.22), которые отвечают за абсорбцию влаги из воздуха. Что касается ПВ (Рис. 23) и НВ (Рис. 24), то их показатели схожи. Район пойменных лугов также представлен нетипичным распределением величин влажности как по показателям ГВ и МГВ, так и по показателям ПВ и НВ, на которые влияет аэрация почвы. Пески и супеси более аэрированы, нежели суглинки и глины, пространство между частицами при затоплении заполняется влагой, но не задерживается здесь. То есть, в песках и супесях будет высокий показатель ПВ и низкий показатель НВ, что и демонстрируют нам результаты исследования: в профиле С1 в супесчаном слое с глубины 27-30 см разница между ПВ и НВ составляет 19%.

Таким образом, почвы дельты реки Лены характеризуются явным разнообразием условий. Пойменные луга представлены стратифицированной почвой с различными гидрофизическими свойствами. Здесь происходит чередование горизонтов с гранулометрическим составом суглинистого песка и пылеватого суглинка, и представлено отличное друг от друга количество почвенного органического углерода в горизонтах АУ. В связи с этим меняются водно-физические условия, хорошо аэрированные органо-

аккумулятивные горизонты абсорбируют и удерживают в себе влаги больше, чем горизонты с классом опесчаненый суглинок, в которых показатель органического углерода ниже.

В почвах, которые вышли из режима сезонной поемности, не наблюдается больших отличий. Почвы дренированных позиций и почвы в понижениях имеют практически одинаковые показатели влажности. В почвах дренированных позиций выше показатель ГВ, МГВ, ПВ и НВ, что обусловлено с образованием мощных горизонтов АУ с высокой водоудерживающей способностью. Нижележащие горизонты также представлены суглинистым песком с низким показателем органического углерода, и они хорошо аэрированы.

Высокая аэрация и легкий гранулометрический состав препятствуют процессам заболачивания, в результате чего формируются хорошо дренируемые позиции, на которых происходит образование почв. Это, в первую очередь, связано с тем, что острова формировались в короткие сроки, ведь оседание крупных песчаных частиц происходит в быстром потоке воды, а мелких илистых и пылевых частиц - при низкой скорости потока.

Статистический анализ данных

Нами были рассчитаны коэффициенты корреляции для определения связи между показателями влажности и органического углерода, влажности и физической глины, органического углерода и физической глины. Таким образом, коэффициент корреляции между ГВ и Сорг. составил 0,6; между ГВ и физической глиной - 0,9. Это свидетельствует о том, что показатель влажности в дельте реки Лены зависит в большей степени от гранулометрического состава почвы, от содержания пылевых и илистых частиц. В меньшей степени оно определено содержанием углерода. Почвы имеют волнистую и горизонтальную слоистость, что приводит к разрыву связи между показателями влажности и содержания углерода. Также стоит отметить тот факт, что профили стратоземов обусловлены преобладанием фульвокислот над гуминовыми кислотами, и происходит перераспределение органоминеральных комплексов внутри профиля. В связи с этим был произведен расчет коэффициента корреляции между содержанием органического углерода и физической глиной, который составил 0,6, что и свидетельствует о небольшой связи между содержанием углерода и гранулометрическим составом, которая является результатом стратификации почвенных горизонтов.

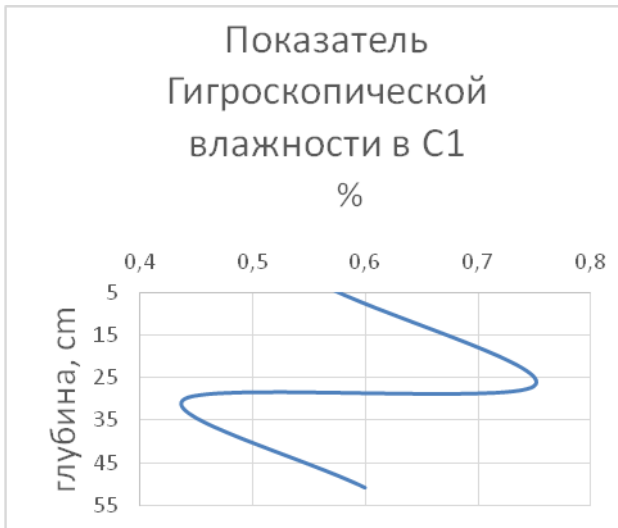


Рисунок 21. Показатель Гигроскопической влажности в С1 (Статозем серогумусовый окисленно-глеевый)

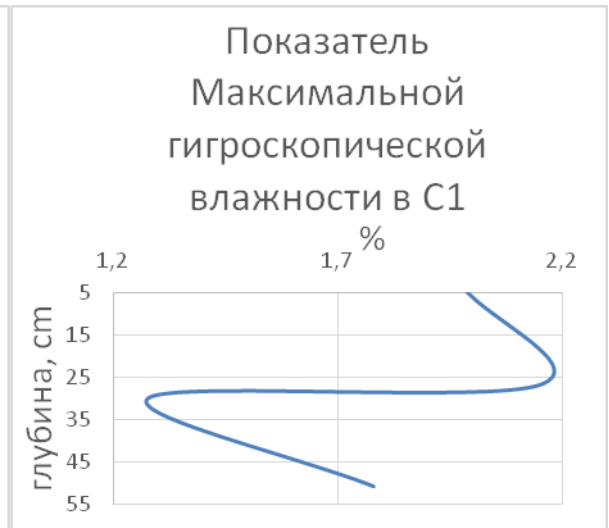


Рисунок 22. Показатель Максимальной гигроскопической влажности в С1 (Стратозем серогумусовый окисленно-глеевый)

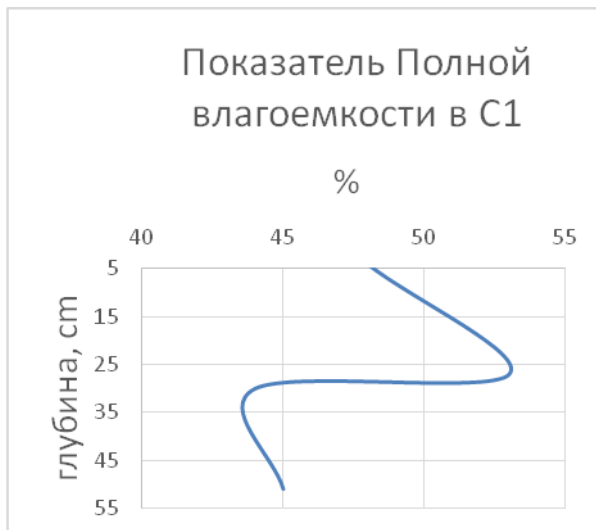


Рисунок 23. Показатель Полной влагоемкости в С1 (Стратозем серогумусовый окисленно-глеевый)

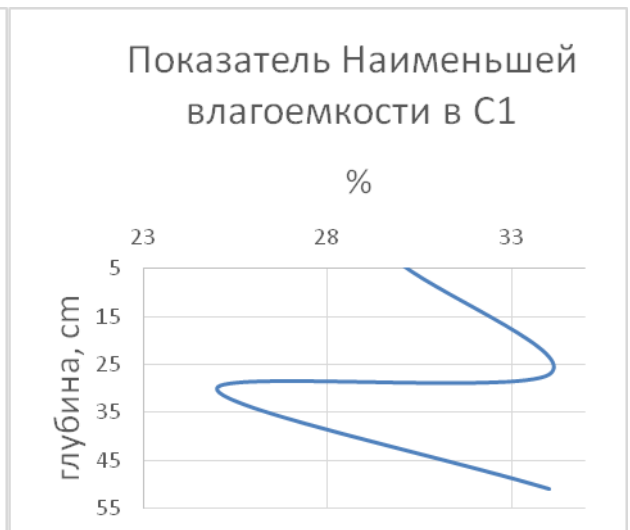


Рисунок 24. Показатель Наименьшей влагоемкости в С1 (Стратозем серогумусовый окисленно-глеевый)

3.6 Параметризация экологических функций почвы дельты реки Лены

Важнейшими функциями почв дельты Лены являются аккумуляция и депонирование органического углерода в виде растительных остатков. Арктическая зона отличается огромным запасом захороненных органических остатков в размере до $496 \cdot 10^{13}$ кг (Zubrzycki et al, 2013). В условиях деградации многолетнемерзлых пород под действием глобального потепления данные запасы органического углерода могут войти в глобальный цикл углерода и повлиять на текущую климатическую обстановку на планете. Поэтому для оценки взаимодействий биогеохимического цикла углерода с глобальным климатом важна характеристика районов, подверженных влиянию распространения многолетнемерзлых грунтов, а также запасов почвенного органического углерода и азота. Площадь, занятая почвами, затронутыми вечной мерзлотой, составляет более 8,6 млн. км². Ожидается, что почвы, затронутые вечной мерзлотой, будут подвержены фундаментальным изменениям свойств вследствие наблюдаемых и прогнозируемых климатических изменений, включая более высокие скорости разложения органического вещества и повышенное выделение парниковых газов в атмосферу (углекислый газ и метан).

Запасы органического углерода органических соединений в почвах дельты реки Лены

В нашей работе были рассчитаны запасы органического углерода в почвах дельты реки Лены. Таким образом, почвы, образующиеся в зоне ежегодного влияния поемности, отличаются самым высоким показателем запаса органических веществ, до 20 кг/м². Это обусловлено тем, что вместе с паводковыми водами в почву попадает большое количество органических веществ, которые в условиях низкой биологической активности способны аккумулироваться и захараниваться в почве. Отдел стратоземы обусловлен глубоким залеганием ММП, что связано с высоким уровнем аэрации, а также с поступлением теплых полых вод. Отдел органо-аккумулятивных почв характеризуется большим количеством органических остатков, до 17 кг/м². Это говорит о том, что почвы, недавно вышедшие из ежегодного режима поемности, обладают высоким запасом органического материала, который накапливается вследствие активных процессов гумусонакопления. Отделу альфегумусовых почв свойственен не такой высокий запас гумуса, как в предыдущих отделах почв, до 15 кг/м². Аналогичный запас представлен в глеевых почвах. Данные почвы являются зональными в дельте, и здесь происходит накопление гумуса, в основном, на контакте с ММП. Следующие отделы почв, криоземы и торфяные почвы, обладают запасом гумуса до 13 кг/м² (Рис. 25).

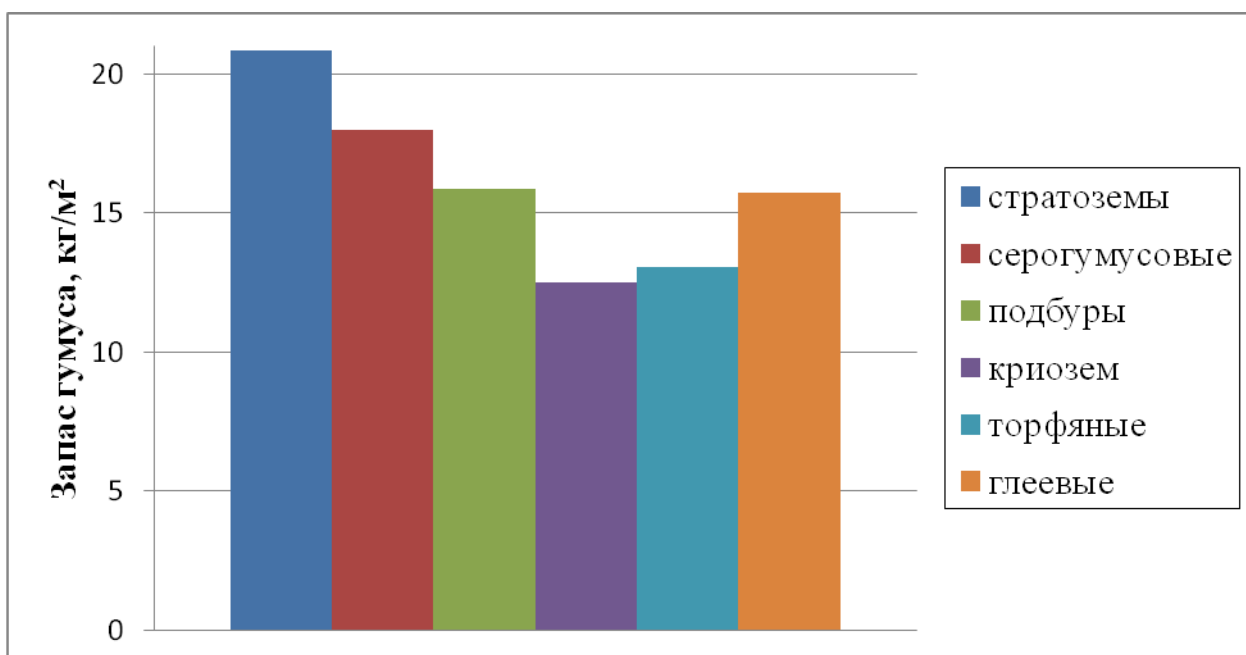


Рисунок 25. Запасы углерода органических соединений в почвах дельты реки Лена

Как видно из рисунка, самый большой запас гумуса приходится на почвы, относящиеся к затопляемым территориям. Почвы, принадлежащие к стволу постлитогенного образования, отличаются меньшим запасом гумуса, что связано с близким залеганием ММП и захараниваем органического материала в составе вечно мерзлых пород.

В зависимости от природной зоны запас углерода будет отличаться. Так, в исследовании почв национального парка "Самарская Лука", который входит в состав лесостепной зоны, отмечается, что на этой территории развиваются карбо-литоземы, темногумусовые почвы, буроземы и дерново-подзолистые почвы (Абакумов и др., 2010). Запас гумуса здесь был оценен в диапазоне от 13 до 41 кг/м². По данным автора, запас гумуса зависит от экспозиции, растительного покрова и содержания мелкозема в почве. Наибольшим запасом обладают полнопрофильные темно-серые почвы.

Л.Б. Нестеровой были изучены почвы Бие-Чумышской равнины (правобережье Оби) и Приобского плато (левобережье Оби), где запас гумуса в лесостепи в среднем достигает 55 кг/м² (Нестерова и др., 2004). Для колючей степи показатель равен 63 кг/м². Максимальные запасы гумуса обнаружены на глубине от 0 до 50 см, что обусловлено корнеобитаемым слоем и невысокой биологической активностью, которые связаны с промерзанием почвы в зимний период и ее иссушением в летний период.

И.В. Киселева проводила исследование запаса гумуса в районе Центральной Камчаткой депрессии (Киселева и др., 2016). Почвы здесь представлены вулканическим охристым, аллювиальным серогумусовым, вулканическим слоисто-охристым типами. Запасы гумуса оценены в 29 кг/м² в вулканической охристой почве, 5,9 кг/м² - в

аллювиальной серогумусовой и $7,7 \text{ кг/м}^2$ - в вулканической слоисто-охристой. Такое распределение величин обусловлено растительным покровом Камчатки.

М.В. Оконешниковой были рассмотрены мерзлотные почвы Центральной Якутии, где запас гумуса на целинных участках достигает 20 кг/м^2 на аллювиально-перегнойных почвах (Оконешникова, 2004). Аллювиальные дерновые типичные почвы характеризуются запасом гумуса в 12 кг/м^2 . Автором исследования было отмечено, что при хозяйственных работах запас гумуса уменьшается до 9 кг/м^2 . Ежегодно затапливаемые почвы имеют более высокий показатель запаса гумуса в мерзлотных почвах Якутии.

Таким образом, согласно динамике распределения запасов гумуса среди различных природных зон максимальные показатели наблюдаются в зоне степей и лесостепей. Аллювиальные почвы также обладают высоким запасом гумуса, что связано с высокой биогенностью речного аллювия. В целом, почвы криолитозоны обладают запасом гумуса от 10 до 40 кг/м^2 . Здесь происходит депонирование органического углерода в составе ММП, что при возможном глобальном потеплении сможет повлиять на скорости эмиссии углекислого газа и метана в атмосферу.

Запасы азота в почвах дельты реки Лены

В рамках нашего исследования был оценен запас азота в почвах дельты реки Лены (Рис. 26). Содержание азота в почве варьируется от $0,3 \text{ кг/м}^2$ для торфяных почв и до $1,4 \text{ кг/м}^2$ для стратоземов. В целом, по запасу азота почвы схожи с почвами северной части приполярного Урала, от $0,45$ до $2,4 \text{ кг/м}^2$ (Дымов и др, 2013). Максимальные значения наблюдаются в почвах отдела стратоземы, что, возможно, обусловлено наличием более богатых азотом компонентов растительного опада. Для серогумусовых почв, которые по физико-химическим и морфологическим свойствам близки к стратоземам, характерен запас азота до $0,5 \text{ кг/м}^2$. Флористический состав хоть и подобен составу на стратоземах, но, тем не менее, в отделе серогумусовых почв преобладание цветковых растений значительно ниже, и происходит образование моховой подстилки, которая в почвах стратоземов практически не образуется в связи с длительным процессом поемности. Также ранее были проанализированы запасы азота в почвах острова Самойловский, которые составили от $0,41 \text{ кг/м}^2$ до $1,94 \text{ кг/м}^2$ (Zubrzycki et al, 2013). Результаты очень схожи с результатами, полученными в нашей работе. Единственным отличием являются максимальные показатели запаса азота у Zubrzycki, которые были получены в районе голоценовых отложений второй террасы, а не затапливаемой первой, как это выявлено в нашем исследовании. Он объясняет такое определение тем, что

большое содержание азота захаранивается в составе многолетнемерзлых пород дельты реки Лены.

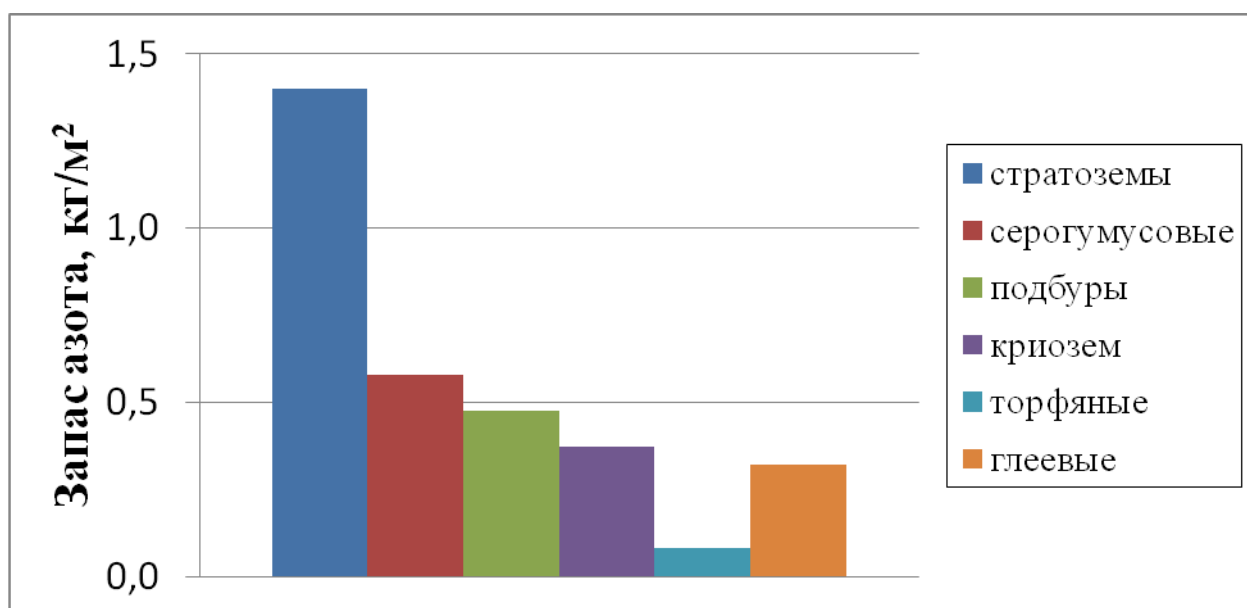


Рисунок 26. Запасы азота в почвах дельты реки Лены

Существуют также данные, полученные в ходе изучения запасов азота в почвах Северного Прикаспия (Волгоградская область) (Кулакова, 2014). Районами работ стали степная и лесная экосистемы. Для степной экосистемы характерно в среднем 1,112 кг/м² азота, для лесной экосистемы средний показатель запаса азота равен 1,245 кг/м². Это объясняется тем, что в лесных экосистемах, состоящих из широколиственных пород деревьев, растительный опад более богат азотом, нежели травяная и кустарничковая растительность в степной экосистеме.

Таким образом, согласно динамике распределения запасов азота в различных природных зонах максимальный показатель наблюдается в зонах, подверженных влиянию многолетнемерзлых пород. По данным А.А. Дымова, в почвах Приполярного Урала запасается до 2,4 кг/м² (Дымов и др, 2013). Высокие показатели запасов азота в большей степени зависят от флористического состава экосистемы.

3.7 Гумусное состояние почв

Тип гумусного состояния позволяет понять, какие условия развиваются в почвах различных отделов. Фульватный тип (отношение Сгк/Сфк составляет < 0,5) характеризуется преобладанием фульвокислот в почве и миграцией органоминеральных комплексов по профилю. Гуматно-фульватный тип также представлен преобладанием фульвокислот (отношение Сгк/Сфк равно 0,5-1), в почвах с таким типом гумусного режима в большей степени происходит миграция веществ, нежели их аккумуляция. Фульватно-гуматному типу свойственно преобладание гуминовых кислот (отношение

Сгк/Сфк равно 1-2). Здесь происходит аккумуляция и закрепление органоминеральных комплексов в профиле и их незначительная миграция. Гуматный тип характеризуется высоким преобладанием гуминовых кислот (отношение Сгк/Сфк >2), где происходит аккумуляция и закрепление органоминеральных комплексов в профиле (Орлов, 1985).

Нами был определен тип гумусового состояния во всех отделах почв, представленных в дельте реки Лены (Рис.27). Отдел стратоземы по типу гумусового состояния является гуматно-фульватным. В большей степени происходит миграция веществ по профилю почвы и закрепление их на контакте с ММП, а также частичный вынос органоминеральных соединений вместе с грунтовыми водами в бассейн реки.

Отдел серогумусовых почв по типу гумусового состояния относится к фульватно-гуматному, в котором преобладают гуминовые кислоты над фульвокислотами и происходит аккумуляция органоминеральных веществ в гумусовых профилях.

Отдел альфегумусовых почв по типу гумусового состояния принадлежит к фульватно-гуматному типу. Здесь происходит образование органоминеральных комплексов железа и гумуса и перенос их по профилю почвы.

Отдел криотурбированных почв по типу гумусового состояния - фульватно-гуматный. Ему свойственно образование органоминеральных комплексов вблизи залегания ММП, при криогенном массообмене минеральная и органическая части почвы перераспределяются по профилю.

Отдел торфяных почв по типу гумусового состояния является гуматно-фульватным, в котором отношение Сгк/Сфк равно 0,7. Это говорит о том, что в нем преобладают фульвокислоты, и происходит миграция веществ по профилю.

Отдел глеевых почв по типу гумусового состояния определен как гуматно-фульватный с преобладанием фульвокислот, где происходит миграция соединений железа и гумуса по профилю и аккумуляция их на контакте с ММП.

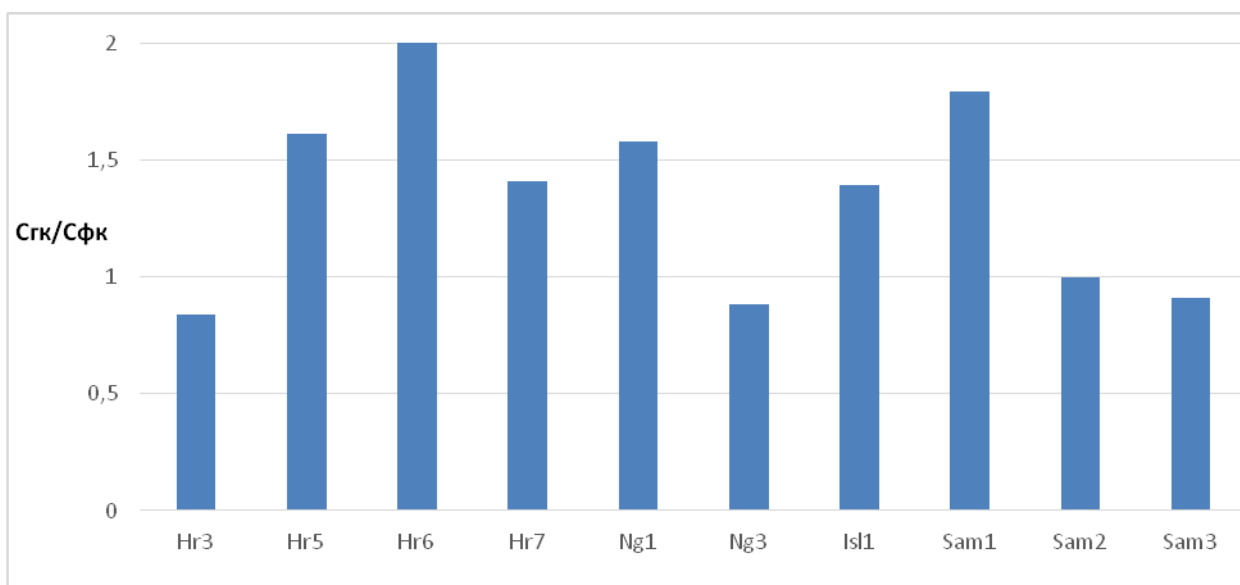


Рисунок 27. Гумусный режим почв. (Hr3, Ng1 – Торфяно-глеезем; Hr5 – Серогумусовая; Hr6, Ng3 – Стратозем; Hr7 – Криоглеезем; Isl1 – Дерново-подбур; Sam1, Sam2 – Криозем; Sam3 – Подбур)

Почвы дельты реки Лены характеризуются преимущественно фульватно-гуматным типом гумусового состояния (отношение Сгк/Сфк составляет 1-2). Это обусловлено накоплением в почве гуминовых кислот и образованием органоминеральных комплексов, связанных с железом, а также с их невысокой миграционной способностью.

3.8 Методические аспекты определения углерода и азота в полярных почвах

В нашей работе мы определили содержание азота и углерода в почвах прямым методом (сжиганием) (Abakumov et al, 2005). Согласно полученным данным, мы провели сравнение прямого метода и косвенного (метод Тюрина) (Орлов, 1985).

В таблице 3 представлены значения, полученные при расчете запасов углерода в почве дельты реки Лены. Здесь можно наблюдать как существенные различия между двумя показателями для отдельных отделов почв, так и их очень близкие значения. Для отделов почв, исследуемых по методу Тюрина, значения были выше в 2 и 3 раза. Самое близкое значение запаса углерода было отмечено в отделе стратоземы, что свидетельствует о невысоком содержании солей и невысокой степени окислительно-восстановительных процессов в почве. Для торфяных горизонтов характерна высокая степень окисления органических остатков. При процессе импัลверизации на поверхности почвы способны накапливаться морские соли, которые могут влиять на показатель содержания углерода при использовании косвенного метода.

| Отдел почв | Запас углерода по прямому методу определения | Запас углерода по косвенному методу определения |
|---------------|--|---|
| Стратоземы | 17,2 | 20,9 |
| Серогумусовый | 5,8 | 18,0 |
| Подбуры | 5,6 | 15,8 |
| Криозем | 5,3 | 12,5 |
| Торфяные | 0,9 | 13,1 |
| Глеевые | 4,5 | 15,7 |

Таблица 3. Сопоставление запасов углерода по прямому и косвенному методу определения органического углерода в почве, кг/м²

В таблице 4 представлено сопоставление результатов содержания углерода по прямому и косвенному методу. Для отдела стратоземы свойственна ярко выраженная стратификация содержания углерода по профилю как по результатам применения прямого метода, так и по результатам косвенного. В данной таблице стоит обратить внимание на степень окисления-восстановления. Отрицательный показатель демонстрирует, что в почве протекают процессы окисления, для верхних горизонтов приемлемо накопление морских солей, поступающих сюда в процессе импальверизации; для нижних слоев, где происходят процессы оглеения, характерны процессы восстановления закислов железа и положительный показатель d. Высокие отрицательные значения свидетельствуют о ложном завышении показателя органического углерода из-за наличия галогенов или повышенного содержания водорода в молекулах, на которое идет дополнительное количество окислителя в виде бихромата калия. Как видно из таблицы 4, большая часть горизонтов подвержена окислению органического материала, что связано с накоплением гумусовых веществ. Для нижележащих горизонтов и горизонтов, подстилающих ММП, этот показатель либо стремится к нулю либо приобретает положительное значение, что говорит о восстановительных условиях. Такая тенденция хорошо прослеживается в почвах отдела стратоземы, криоземы и глеевых почвах. Лишь в отделе криоземы показатель d в гумусоаккумулятивном горизонте приобретает положительное значение, что может быть обусловлено активно протекающими здесь процессами криогенеза, в первую очередь, массообмена и пятнообразования.

| Горизонт | Глубина | Cco ₂ | C _{оx} | d,% | Kc |
|-----------|---------|------------------|-----------------|--------|------|
| Стратозем | | | | | |
| AУ | 0-7 | 0,54 | 1,25 | -132,6 | 0,43 |
| C | 7-12 | 1,81 | 2,67 | -47,4 | 0,68 |
| RY | 12-22 | 0,19 | 0,54 | -188,7 | 0,35 |
| C | 22-41 | 1,70 | 2,22 | -30,8 | 0,76 |
| RY | 41-47 | 0,17 | 0,08 | 51,6 | 2,07 |

| | | | | | |
|---------------|-------|------|-------|---------|------|
| C | 47-70 | 2,94 | 3,17 | -7,7 | 0,93 |
| Серогумусовая | | | | | |
| O | 0-7 | 1,60 | 1,54 | 3,6 | 1,04 |
| AY | 7-30 | 0,93 | 4,14 | -345,0 | 0,22 |
| Gox | 30-60 | 0,33 | 0,64 | -93,1 | 0,52 |
| Подбур | | | | | |
| AY | 0-15 | 0,54 | 1,25 | -132,6 | 0,43 |
| BHF | 15-28 | 1,81 | 2,67 | -47,4 | 0,68 |
| CRg | 28-60 | 1,40 | 2,60 | -85,8 | 0,54 |
| Криозем | | | | | |
| O | 0-7 | 3,22 | 25,09 | -680,3 | 0,13 |
| AY | 7-16 | 2,62 | 1,07 | 59,2 | 2,45 |
| CR | 16-27 | 2,95 | 8,11 | -174,7 | 0,36 |
| Cox | 27-35 | 2,24 | 2,82 | -26,0 | 0,79 |
| Торфяная | | | | | |
| O | 0-8 | 0,90 | 31,50 | не опр. | 0,03 |
| Teg | 8-20 | 1,00 | 1,45 | -45,5 | 0,69 |
| Глеевая | | | | | |
| O | 0-7 | 4,96 | 12,00 | -142,0 | 0,41 |
| АН | 7-20 | 4,47 | 21,00 | -369,6 | 0,21 |
| G | 20-25 | 2,47 | 1,61 | 35,0 | 1,54 |

Таблица 4. Сопоставление результатов прямого (C_{со2}) и косвенного (C_{ох}) определения углерода, степень окисления-восстановления органического вещества (d,%) и коэффициент конверсии (K_с) между содержанием углерода, полученным по методу Тюрина и прямому методу

В таблице 5 представлены данные о величинах отношения углерода к азоту. Данный показатель свидетельствует об обогащенности гумуса азотом. Большая часть почв относится к очень низкой (> 14) и низкой (11 - 14) степени обогащенности азотом. Молодые почвы дельты реки Лены, которые в меньшей степени подвержены зональным процессам почвообразования (стратоземы, серогумусовые и подбуры), более обогащены азотом, что, вероятно, связано с более богатыми азотом растительными остатками. Почвы, в которых активно протекают зональные процессы почвообразования (криогенез, торфообразование), обладают очень низкой и низкой степенью обогащенности азотом. Данные, полученные по методу Тюрина, в 3-4 раза выше данных, полученных при прямом определении содержания углерода, что предоставляет разную оценочную информацию в ходе применения разных методов.

| Горизонт | Глубина | C/N прямой метод | C/N косвенный метод |
|-----------|---------|------------------|---------------------|
| Стратозем | | | |
| AY | 0-7 | 8,81 | 20,49 |
| C | 7-12 | 12,74 | 18,78 |
| RY | 12-22 | 4,67 | 13,48 |
| C | 22-41 | 12,36 | 16,16 |

| | | | |
|---------------|-------|-------|--------|
| RY | 41-47 | 4,69 | 2,27 |
| C | 47-70 | 13,11 | 14,13 |
| Серогумусовая | | | |
| O | 0-7 | 13,97 | 13,5 |
| AY | 7-30 | 11,00 | 49,0 |
| Gox | 30-60 | 7,22 | 13,9 |
| Подбур | | | |
| AY | 0-15 | 8,81 | 20,5 |
| BHF | 15-28 | 12,74 | 18,8 |
| CRg | 28-60 | 4,67 | 22,1 |
| Криозем | | | |
| O | 0-7 | 17,7 | 138,08 |
| AY | 7-16 | 13,6 | 5,57 |
| CR | 16-27 | 12,6 | 34,56 |
| Cox | 27-35 | 17,1 | 21,58 |
| Торфяная | | | |
| O | 0-8 | 11,2 | 392,7 |
| Teg | 8-20 | 11,2 | 16,2 |
| Глеевая | | | |
| O | 0-7 | 22,2 | 53,8 |
| АН | 7-20 | 12,2 | 57,3 |
| G | 20-25 | 16,4 | 10,6 |

Таблица 5. Сопоставление значений отношения углерода к азоту (C/N), полученных по методу Тюрина и прямому методу

Исходя из результатов нашего исследования, можно отметить, что степень внутримолекулярной окисленности и восстановления органического вещества представляет собой очень обширный параметр гумуса. Данные, полученные при определении гумуса косвенным методом, дают приблизительные результаты для мониторинга. Рассчитанный показатель конверсии (Kc) может в дальнейшем привести к созданию таблиц для пересчета углерода, определенного по методу Тюрина, к показателям углерода, полученным прямым методом (Abakumov et al, 2005).

Обсуждение

Из данных литературных источников и данных, полученных в ходе лабораторных исследований, можно выявить прямую связь в формировании почв, приуроченных к дельтовым областям и областям распространения крупных рек. Они формируются под действием зональных факторов почвообразования и поемно-аллювиальных процессов. Почвы, образующиеся под действием речных процессов, связаны с формированием стратоземов, где происходит ежегодный привнос свежего аллювия и затопление территорий. К зональным процессам относится криогенез (криогенный массообмен, оглеение, перераспределение гумусовых веществ по профилю, термокаст, солифлюкция,

тиксотропия). Также данным почвам присуще торфообразование, торфонакопление, высокая биологическая активность, образование органоминеральных соединений, в состав которых входят подвижные формы железа и алюминия. Отмечается высокое влияние дельтовых почв на обменные процессы в системе океан-атмосфера, вследствие поступления большого количества гуминовых веществ из почвы в Северный Ледовитый океан. Наблюдается высокий уровень углерода в почвах, приуроченных к Арктической зоне. Почвы относятся к району залегания сплошных многолетнемерзлых пород, которые являются биогеохимическим барьером в почве и местом накопления органоминеральных соединений (Нечаева, 1999; Антонов, 1957; Пестерев, 2011; Cauwet et al, 1996; Lara et al, 1998).

На наш взгляд, с образованием стратоземов связано количество наносимого аллювия, размер привносимых частиц и длительность поемности. Подобные закономерности были выявлены в работах Г.В. Добровольского, П.А. Лозовика (Добровольский, 2005, 2011; Лозовик 2007). На формирование почв влияют речные и морские воды, несущие в себе определенные признаки: засоление с поверхности, импультверизация. Образование органо-аккумулятивных почв также связано, по большому счету, с деятельностью реки, поскольку данный тип почв недавно вышел из зоны влияния поемно-аллювиальных процессов и был описан в работах Г.В. Добровольского (Добровольский, 2005, 2011; Осокин и др., 2008; Переверзев и др., 2010; Таргульян и др., 1983; Mannetal, 1986). Он выделял три типа почв в пойменной зоне: дерновые, луговые и болотные. Во многих исследованиях отмечены процессы оглеения, которые обусловлены застойным типом водного режима и близким залеганием ММП, что предполагает образование глеевых почв в тундровой зоне (Добровольский, 2005, 2011; Пипко, 2011; Нечаева, 1999; Антонов, 1957; Пестерев, 2011; Еловская и др., 1979). Отдел альфегумусовых почв характеризуется образованием органоминеральных соединений в комплексе с железом и надмерзлотным накоплением солей. Помимо железа здесь способны накапливаться и другие металлы (Переверзев и др., 2012; Тигеев, 2014; Дюкарев, 2005; Моторин и др., 2012). Криоземам свойственны активные процессы криогенеза (Макеев, 1981; Зольников, 1954; Лупачев, 2008). Данным почвам присущ криогенный массообмен, тиксотропия, солифлюкция и др. (Лупачев и др., 2012; Губин и др., 2008). Отдел торфяных почв представлен процессами торфообразования, торфонакопления и накопления грубых органических остатков в ММП (Гормогенова и др., 2007; Десяткин и др., 2012).

В условиях Арктической зоны встает вопрос о влиянии почв на глобальные климатические изменения, так как почвы связаны с потоками углекислого газа и метана.

Нами были обработаны данные о почвенном дыхании, эмиссии углекислого газа, которые находят связь с отечественными и зарубежными учеными (Bischoff et al, 2013; Kutzbach et al, 2004; Knoblauch et al, 2013; Preuss et al, 2013; Wagner et al, 2007; Евграфова и др., 2010).

Также большое количество работ было направлено на изучение запаса и содержания органического углерода в почвах Арктики. Полученные нами результаты полностью коррелируют с данными других исследователей: почвы характеризуются высоким показателем углерода до 34% и высоким запасом гумуса от 14 до 45 кг/м² (Zubrzycki et al, 2013; Zubrzycki et al, 2014; Савич и др., 2015).

По типу гумусового режима почвы относятся к гуматно-фульватным и фульватно-гуматным, что также было отмечено в работах Г.В. Добровольского (Добровольский, 2011; Оконешникова, 2016; Десяткин и др., 2010; Таргульян, 1971; Шишкин и др., 2001; Дымов и др., 2013; Водяницкий, 2008).

В связи с возможным глобальным потеплением климата, Арктическая зона находится под угрозой деградации почв и, как следствие, включения органических остатков, которые были захаронены в составе ММП, в глобальный круговорот азота и углерода. Нами был исследован показатель запаса и содержания азота в почве: почвы дельты реки Лены отличаются низким и очень низким содержанием азота, его запас колеблется от 0,3 до 1,4 кг/м². Данные находят подтверждение в работах Zubrzycki, который также утверждает, что запас азота в составе ММП всей криолитозоны может составлять до $28 \cdot 10^{13}$ кг (Zubrzycki et al, 2013; Zubrzycki et al, 2014).

В ходе нашего исследования было проведено сопоставление данных, полученных при определении органического углерода и азота прямым и косвенным методами. Разница в определении варьирует от 2 до 4 раз. Косвенный метод дает ложные значения при определении органического углерода. Этот процесс связан с тем, что на окисление галогенов, Fe²⁺, и окисление водорода в молекулах тратится дополнительное количество бихромата калия (Abakumov et al, 2005).

Выводы

1. Почвы дельты реки Лены относятся к 3 стволам (постлитогенные, органогенные и синлитогенные), включающие в себя 6 отделов (органо-аккумулятивные, альфегумусовые, криотурбированные, торфяные, глеевые и стратоземы). На местах, ежегодно затапливаемых полыми водами, развиваются стратоземы серогумусовые, которые относятся к стволу синлитогенных почв и характеризуются речным накоплением материала. Следующие отделы принадлежат стволам постлитогенных и органогенных почв, образующихся на уже сформировавшихся почвообразующих породах без вноса свежего речного материала. К отделу органо-аккумулятивных почв приурочено два типа - серогумусовые и светлосерогумусовые. Почвы данного отдела недавно вышли из режима поемности и диагностируются одним гумусовым горизонтом. Срединный горизонт как самостоятельное генетическое образование не выражен. Следующий отдел почв, развивающихся в дельте реки Лены, связан с накоплением соединений железа и алюминия на контакте с многолетнемерзлыми породами, и ему в окислительных условиях присуща охристая окраска. Альфегумусовый отдел почв развивается на породах легкого гранулометрического состава. Он включает в себя два типа - подбур и дерново-подбур, которые несут признаки оглеения. Отдел криотурбированных почв представлен криоземами. Развиваются эти почвы на хорошо дренированных территориях, но и здесь присутствуют признаки оглеения на контакте с ММП. Они имеют серовато-бурый цвет, их гранулометрический состав представлен легким суглинком и имеет комковатую структуру, в них присутствуют рыжие пятна, и эти почвы на контакте с ММП образуют геохимический барьер, который служит местом аккумуляции органо-минеральных соединений. Отдел торфяные почвы в дельте реки Лены связан с типами эутрофно-торфяных и торфяно-олиготрофных почв. Они развиваются на дренированных позициях, характеризуются наличием поверхностного торфяного горизонта различного состава, сменяющегося органогенной породой. В данном типе почвы происходят процессы торфообразования и торфонакопления. Отдел глеевых почв здесь состоит из одного типа, торфяно-глееземы, которые развиваются в условиях избыточного увлажнения, занимая локальные мезо- и микропонижения. Им свойственно наличие торфяного горизонта, подстилаемого глеевым горизонтом.

2. Почвы дельты реки Лены в зависимости от ландшафтной обстановки характеризуются той или иной реакцией среды. Так, для почв, формирующихся в районе первой затапливаемой террасы, присущ приток соленых вод из моря и подщелачивание; почвы, которые уже не участвуют в поемно-аллювиальном процессе, отличаются кислой

средой внутри профиля и небольшим подщелачиванием с поверхности в результате процесса имульверизации.

Микробиологическая активность тесно связана с обводненностью исходного участка, его микроклиматом, а также с типом органических остатков, которые аккумулируются в почве. На территориях, сопряженных с участками, где происходят процессы торфообразования и торфонакопления, сформировалась благоприятная среда для микробной биомассы, вследствие чего отмечен высокий показатель эмиссии углекислоты. На участках, принадлежащих к районам затопления, наблюдалась пониженная активность, указывающая на то, что явление поемности оказывает негативное влияние на жизнедеятельность микроорганизмов.

Исходя из полученных результатов, по содержанию органического углерода ствол синлитогенного почвообразования связан со стратификацией гумуса по профилю и его низким содержанием в профиле, что говорит о низкой биологической активности почв. Для стволов постлитогенного и органогенного почвообразования характерно ложное завышение показателей содержания органического углерода по методу Тюрина. Это связано с тем, что в почве содержатся галогены, двухвалентное железо и повышенное содержание водорода в молекулах. В целом, почвы обусловлены низким содержанием органического углерода в минеральной части и средним в гумусоаккумулятивной части профиля.

3. Нами были оценены водно-физические свойства почв дельты реки Лены. Пойменные луга представлены стратифицированной почвой с различными гидрофизическими свойствами. Здесь происходит чередование горизонтов с гранулометрическим составом суглинистого песка и пылеватого суглинка, и представлено отличное друг от друга количество почвенного органического углерода в горизонтах АУ. В них содержание углерода составляет $> 2,5\%$. В связи с этим меняются воднофизические условия, хорошо аэрированные органические горизонты абсорбируют и удерживают в себе влаги больше, чем горизонты со структурой опесчаненый суглинок, в которых показатель органического углерода ниже. В почвах, которые вышли из режима сезонной поемности, не наблюдается существенных отличий, почвы дренированных позиций и почвы в понижениях имеют практически одинаковые показатели влажности. В почвах дренированных позиций выше показатель ГВ, МГВ, ПВ и НВ, что обусловлено образованием мощных горизонтов АУ с высокой водоудерживающей способностью. Нижележащие горизонты также представлены суглинистым песком с низким показателем органического углерода.

Высокая аэрация и легкий гранулометрический состав препятствуют процессам заболачивания, в результате чего формируются хорошо дренируемые позиции, на которых происходит образование почв. Это, в первую очередь, связано с тем, что острова формировались в короткие сроки, ведь оседание крупных песчаных частиц происходит в быстром потоке воды, а мелких илистых и пылевых частиц - при низкой скорости потока.

4. В работе был произведен анализ одной из важнейших экологических функций почв арктической зоны - депонирующей способности почв по отношению к углероду и азоту. Также были рассчитаны показатели запаса углерода и азота во всех отделах почв, представленных в дельте реки Лены. Почвы, образующиеся в зоне ежегодного влияния поемности, отличаются наибольшим показателем запаса органических веществ, до 20 кг/м². Это обусловлено тем, что вместе с паводковыми водами в почву попадает большое количество органических веществ, которые в условиях низкой биологической активности способны аккумулироваться и захараниваться в почве. Ствол постлитогенных почв, развивающийся в дельте, отмечается меньшим запасом углерода, от 13 до 17 кг/м². Запас азота в почве варьируется от 0,3 до 1,4 кг/м². Высокие показатели запаса азота наблюдаются в самых молодых почвах дельты реки Лены (стратоземы) и обусловлены высоким содержанием азота в растительном опаде. По отношению C/N почвы характеризуются низкой и очень низкой обогащенностью гумуса азотом.

Заключение

Почвы пойм являются одними из самых слабоизученных в связи с изменением природных условий в долинах рек, обусловленным хозяйственной деятельностью. Как следствие, на сегодняшний день этот вопрос остается недостаточно изученным, и отсутствует необходимое количество материалов по режиму биологических, химических и физико-химических условий, протекающих в долинах рек.

Поймы рек - одни из самых молодых и динамичных участков земной суши, они представляют совершенно уникальный тип ландшафта, подверженный очень сильному воздействию геологических и биологических факторов, а также находящийся в состоянии ярко выраженного развития и преобразования. Почвенный покров речных пойм отличается большим разнообразием в пространстве и динамичностью во времени. Почвы пойм представлены как самыми молодыми, недавно образованными участками (прибрежные отмели, заросшие водоемы), едва затронутыми почвообразовательным процессом, так и участками относительно большего возраста, уже вышедшими из сферы ежегодной поемности и покрытыми вполне развитыми почвами с выраженными признаками зональных черт почвообразования.

Дельтовое почвообразование представлено группой факторов: поемно-аллювиальные и зональные. Поемно-аллювиальные процессы определяют выраженность гидроморфизма, гранулометрический, петрографический и биолитный состав почв. Более того, состав речного материала влияет на кислотность и гумусное состояние почв. Зональные процессы представлены почвенным криогенезом. Особенности криогенных почв проявляются и во времени и пространстве. Это связано с сезонными промерзаниями и оттаиваниями почвы, вследствие чего наблюдается ритмичность биологических процессов.

Арктическая зона характеризуется высоким запасом органического углерода в педосфере: в составе торфяной подстилки, гумусоаккумулятивных горизонтов и многолетнемерзлых пород. Угроза глобального потепления климата может привести к тому, что углерод и азот, запасенные в составе ММП, могут включиться в глобальный круговорот углерода и азота, и при их дальнейшей минерализации и гумификации внести дополнительный вклад метана и углекислого газа в атмосферу, тем самым, увеличивая содержание парниковых газов в атмосфере.

Список использованных источников

1. Абакумов Е.В., Гагарина Э.И., Саксонов С.В. Аккумуляция органического вещества и депонирование атмосферной углекислоты лесными почвами Самарской Луки // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2010. - Т. 19, №3. - С. 75-90.
2. Антонов В.С. Распространение речных вод в арктических морях // Тр. ААНИИ. 1957. Т. 208. № 2. С. 25-52.
3. Балабко П.Н. Микроморфология, диагностика и рациональное использование пойменных почв Восточно-Европейской и Западно-Сибирской равнин. Автореферат дис. ... докт. биол. наук. М.: МГУ, 1991. -35 с.
4. Барашкова Н.В. Агротехнологические основы луговодства на сенокосах и пастбищах Центральной Якутии: автореф. дис. ... д.с.-х.н. – М., 2003. – 46 с.
5. Большианов Д.Ю., Макаров А.С., Шнайдер В., Штоф Г. Происхождение и развитие дельты реки Лены. СПб.: ААНИИ, 2013. 268 с.
6. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. М., 2008. 165 с.
7. Востокова Л.Б., Шишкина Н.Г., Балабко П.Н. Почвы пойменных лесов нечерноземья // Лесной вестник. 2003. № 5, С. 25-33.
8. Галабала Р.О. Новые данные о строении дельты Лены // Четвертичный период Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВО АН СССР, 1987. С. 125-171.
9. Герасимова И.П. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343с.
10. Гормогенова А.Ю., Десяткин Р.В. Особенности почвообразования луговых почв пойм и аласов Центральной Якутии // Наука и образование. 2007. № 3. С. 93-97.
11. ГОСТ 26423-85. Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки. Введ.-2011.06.03. - М.:Изд-во стандартов, 2002.-7 с.
12. Губин С.В., Лупачев А.В. Подходы к выделению и изучению погребенных почв в мерзлых толщах отложений ледового комплекса // Криосфера Земли. 2012. Т. 16. № 2. С. 79-84.
13. Губин С.В., Лупачев А.В. Почвообразование и подстилаящая мерзлота // Почвоведение. 2008. № 6.С. 655–667.
14. Данилова А.А., Барашкова Н.В., Аржакова А.П., Дьячковская В. Д. Взаимозависимость динамики органического вещества и биологических свойств

мерзлотных пойменных почв (Центральная Якутия) // Наука и образование. 2012. № 3. С. 38-44.

15. Десяткин А.Р., Такакай Ф., Федоров П.П., Николаева М.Х., Николаев А.Н., Хатано Р., Десяткин Р.В. Эмиссия метана в таежно-аласных экосистемах Центральной Якутии // Наука и образование. 2009. № 3. С. 72-76.

16. Десяткин Р.В., Десяткин А.Р., Федоров П.П. Температурный режим мерзлотно-таежных почв Центральной Якутии // Криосфера Земли. 2012. Т. 14. № 2. С. 70-78.

17. Десяткин Р.В., Лесовая С.Н., Оконешникова М.В., Зайцева Т.С. Палевые почвы Центральной Якутии: генетические особенности, свойства, классификация // Почвоведение. 2011. № 12. С. 1425-1435.

18. Десяткин Р.В., Оконешникова М.В., Десяткин А.Р. Почвы Якутии. – Якутск : Бичик, 2009. – 64 с., ил.

19. Днепровская В.П., Брыксина Н.А., Полищук Ю.М. Изучение изменений термокарста в зоне прерывистого распространения вечной мерзлоты западной сибирей на основе космических снимков // Исследование земли из космоса, 2009, № 4, с. 88–96.

20. Добровольский В.В. Основные черты геохимии арктического почвообразования // Почвоведение. 1994. № 6. С. 85–93.

21. Добровольский Г.В. Почвы речных пойм центра Русской равнины. 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГУ, 2005. - 293 с.

22. Добровольский Г.В., Балабко П.Н., Стасюк Н.В., Быкова Е.П. Аллювиальные почвы речных пойм и дельт и их зональные отличия // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. №3(48), С. 5-13.

23. Добровольский С.Г. Проблема глобального потепления и изменение стока российских рек // Водные ресурсы. 2007. Т. 34. № 6. С. 643–655.

24. Долгополова Е.Н., Котляков А.В. Многолетнемерзлые породы в устьевых областях арктических рек России // Лед и снег. 2011. № 1. С. 81-92.

25. Дымов А.А., Каверин Д.А., Габов Д.Н. Свойства почв и почвоподобных тел г. Воркута // Почвоведение. 2013. № 2. С. 240-248.

26. Дымов А.А., Жангуров Е.В., Старцев В.В. Почвы северной части приполярного Урала: морфология, физико-химические свойства, запасы углерода и азота // Почвоведение. 2013. №5. С.507-516.

27. Дюкарев А.Г. Ландшафтно-динамические аспекты таежного почвообразования в Западной Сибири. Томск: Изд-во НТЛ, 2005. 284 с.

28. Евграфова С.Ю., Гродницкая И.Д., Криницын Ю.О., Сырцов С.Н., Масягина О.В. Эмиссия метана с поверхности почвы в Тундровых и лесных экосистемах Сибири // Вестник КрасГАУ. 2010. № 12. С. 80-86.
29. Еловская Л.Г., Петрова Е.И., Тетерина Л.В. Почвы северной Якутии. - Новосибирск: Наука, 1979. -304 с.
30. Жигарев Л.А., Земчихин В.Е. Криолитозона Карского моря и ее динамика при антропогенном воздействии // Прогноз изменения природных условий Западной Сибири. М.: Изд-во МГУ, 1988. С. 140–155.
31. Звягинцев Д.Г. Почва и микроорганизмы. М.: Изд-во МГУ, 1987. 256 с.
32. Зольников В.Г. Почвы восточной половины Центральной Якутии и их использование // Материалы о природных условиях и сельском хозяйстве Центральной Якутии. М.:АН СССР, 1954. С. 55–221.
33. Иванов В.В. Сток и течения основных протоков дельты р. Лены // Тр. ААНИИ. 1963. Т. 234. Вып. 5. Гидрология рек Советской Арктики. С. 76-86.
34. Иванов В.В., Святский А.З. Численное моделирование вторжения морских вод в устья рек в сезонном временном масштабе // Водные ресурсы. 1987. № 5. С. 116– 22.
35. Иванова Т.И., Кузьмина Н.П., Саввинова Д.Д. Микробоценозы мерзлотных почв долины Туймаада Центральной Якутии // Известия РАН. Серия биологическая. 2014. №6. С. 573-585.
36. Ильина Л.Л., Грахов А.К. Реки Севера. Л.: Гидрометеиздат, 1987. -128 с.
37. Киселева И.В., Пуртова Л.Н., Костенков Н.М. Состав и запасы гумуса в природных и агрогенных почвах полуострова Камчатка // Почвоведение. 2016. № 6. С. 671-678.
38. Криогенные почвы и их рациональное использование /[О.В. Макеев, А.С. Керженцев, Е.И. Несмелова и др.; Отв. ред. д-р геол.-минерал. наук О.В. Макеев] АН СССР, Ин-т агрохимии и почвоведения. - Москва : Наука, 1977. - 272 с., 3 л. ил. ; 21 см. - Список лит.: с. 262-270
39. Кулакова Н.Ю. Распределение запасов углерода и азота в лугово-каштановых почвах Северного Прикаспия в естественных степных растительных сообществах и в лесных насаждениях// Вестник ВГУ, серия: география. Геоэкология. 2014. № 1. С. 47-56.
40. Лозовик П.А. Кислотно - основное равновесие поверхностных вод гумидной зоны// Геохимия. 2007. № 10. С. 1139–1144.
41. Лупачев А.В., Губин С.В. Органогенные надмерзлотные - аккумулятивные горизонты криоземов тундр Севера Якутии // Почвоведение. 2012. № 1. С.57-68.

42. Лупачев А.В., Губин С.В. Участие почвообразования в формировании и организации переходного слоя многолетнемерзлых пород // Криосфера Земли, 2008, Т. 12, № 2, с. 75–83.
43. Макеев О.В. Фации почвенного криогенеза и особенности организации в них почвенных профилей. М.: Наука, 1981. 88 с.
44. Мишустин Е.Н., Петрова А.Н. Определение биологической активности почвы // Микробиология. – 1963. – Т.32, вып.3. – С.478–483.
45. Моторин А.С., Букин А.В. Содержание кадмия и свинца в аллювиальных почвах Северного Зауралья // Аграрный вестник Урала. 2012. № 9 (101). С. 63-67.
46. Нестерова Л.Б., Брыкина И.Г. Запасы гумуса и азота в почве // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2004. № 4. С. 73-75.
47. Нечаева Е.Г. Ландшафтно - геохимическое районирование Якутии // География и природные ресурсы. 1999. № 4. С. 104–112.
48. Оконешникова М.В. Гумусное состояние мерзлотных пойменных почв долины средней Лены // Наука и образование. 2015. № 3. С. 94-97.
49. Оконешникова М.В. Оценка запасов гумуса мерзлотных почв земельных хозяйств Центральной Якутии // Почвоведение. 2004. № 8. С. 14-15.
50. Оконешникова М.В. Почвы Хараулахского хребта на самой северной границе леса // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 5. С. 306-313.
51. Оконешникова М.В. Современное состояние и прогноз изменений почв долины Средней Лены (Центральная Якутия) // Вестник Томского государственного университета. 2013. № 3(23). С. 7-18.
52. Орлов Д.С. Химия почв: Учебник. М.:МГУ. 1985. -376 с. ил.
53. Осокин Н.И., Сосновский А.В. Влияние климатических изменений на термический режим многолетнемерзлых пород на архипелаге Шпицберген // Природа шельфа и архипелагов европейской Арктики. Материалы межд. научн. конф. М.: ГЕОС, 2008. Вып. 8. С. 280–284.
54. Переверзев В.Н., Литвинова Т.И. Почвы на аллювиальных и пролювиальных отложениях в долине реки Грэндалсэлта (остров Западный Шпицберген) // Почвоведение. 2012. № 5. С. 547-554.
55. Переверзев В.Н., Литвинова Т.И. Почвыморских террас и коренных склонов на побережьях фьордов острова Западный Шпицберген // Почвоведение. 2010. № 3. С. 259–269.
56. Пестерев А.П. Почвенный покров Западной Якутии // Вестник СВФУ. 2013. Т. 10. № 3. С. 10-17.

57. Пестерев А.П. Структура почвенного покрова бассейна р. Анабар // Наука и образование. 2011. № 4. С. 51-54.
58. Пипко И.И., Пугач С.П., Дударев О.В., Чаркин А.Н., Семилетов И.П. Карбонатные параметры вод реки Лены: характеристики и распределение // Геохимия. 2010. № 11. С. 1206-1213.
59. Рожков В.А., Бондарев А.Г., Кузнецова И.В., Рахматуллоев Х.Р. Физические и водно-физические свойства почв: Учебно-методическое пособие для студентов специальностей 2604.00 и 2605 - М.:МГУЛ, 2002. -73 с.
60. Савич В.И., Скрябина Д.С., Норовсурэн Ж. Влияние криогенеза на генезис и плодородие мерзлотных и мерзлотно-таежных почв // Известия ТСХА. 2015. № 2. С. 5-14.
61. Соколов А.А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1952. -280 с.
62. Сумерин М.В. Зональные особенности почв поймы реки Оби. Автореферат дис. ... докт. биол. наук. М.: МГУ. 1987. -27 с.
63. Таргульян В.О. Почвообразование и выветривание в холодных гумидных областях. -М. : Наука, 1971. – 268 с.
64. Таргульян В.О., Куликов А.В. Основные черты почв острова Западный Шпицберген // Биологические проблемы Севера. Тез.докл. X Всесоюзного симпозиума. Магадан, 1983. Ч. 1. С. 272–273.
65. Тигеев А.А. Особенности почвенного покрова бассейна реки Хыльмигъяха (Надым-Пуровское междуречье) // Вестник Тюменского государственного университета. 2014. № 4. С. 39-48.
66. Федоров К.Н. Генезис, эволюция и диагностическая микроморфология почв водно-аккумулятивных равнин аридной зоны. Автореферат дис. ... докт. биол. наук. М.:МГУ, 1993. -40 с.
67. Федорова Н.Н. Методические указания к курсу «Биологические методы исследования почв» СПб., 2004. 8 с.
68. Шишкин Н.Г., Востокова Л.Б., Балабко П.Н., Лукьянова Н.Н. Почвы речных долин и пойм лесной зоны нечерноземья // Лестной весник. 2001. № 1. С. 108-113.
69. Abakumov E.V., Popov A.I. Determination of the Carbon and Nitrogen Contents and Oxidizability of Organic Matter and the Carbon of Carbonates Content in One Soil Sample // Eurasian soil science. 2005. Vol.38. № 2. P. 165-172.
70. Antcibor I., Eschenbach A., Zubrzycki S., Kutzbach L., Bolshiyarov D., and Pfeiffer E.-M. Trace metal distribution in pristine permafrost-affected soils of the Lena River delta and its hinterland, northern Siberia, Russia // Biogeosciences. 2014. № 11. P. 1-15.

71. Bischoff J., Mangelsdorf K., Gattinger A., Schloter M., Kurchatova A.N., Herzsuh U., and Wagner D. Response of methanogenic archaea to Late Pleistocene and Holocene climate changes in the Siberian Arctic // *Global biogeochemical cycles*. 2013. Vol. 27, P. 305-317.
72. Boike J., Kattenstroth B. et al. Baseline characteristics of climate, permafrost and land cover from new permafrost observatory in the Lena River Delta, Siberia (1998–2011) // *Biogeosciences*. 2013. № 10. P. 2105-2128.
73. Cauwet G., Sidorov I. The biogeochemistry of Lena River: organic carbon and nutrients distribution // *Marine Chemistry*. 1996. 53. P. 211–227.
74. Höfle, S., Rethemeyer, J., Mueller, C. W., and John, S.: Organic matter composition and stabilization in a polygonal tundra soil of the Lena Delta// *Biogeosciences*. 2013. № 10. P. 3145–3158.
75. Knoblauch C., Beer C., Sosnin A., Wagner D. and Pfeiffer E.-M. Predicting long-term carbon mineralization and trace gas production from thawing permafrost of Northeast Siberia // *Global Change Biology*. 2013. № 19. P. 1160–1172.
76. Kutzbach L., Wagner D. and Pfeiffer E.-M. Effect of microrelief and vegetation on methane emission from wet polygonal tundra, Lena Delta, Northern Siberia // *Biogeochemistry*. 2004. № 69. P. 341-362.
77. Kutzbach, L., Wagner, D., and Pfeiffer, E. M.: Effect of microrelief and vegetation on methane emission from wet polygonal tundra, Lena Delta, Northern Siberia, *Biogeochemistry*. 2004. № 69. P. 341–362.
78. Lara R.J., Rachold V., Kattner G., Hubberten H.W., Guggenbergen G., Skoog A., Thomas D.N. Dissolved organic matter and nutrients in the Lena River, Siberian Arctic: Characteristics and distribution // *Marine Chemistry*. 1998. V. 59. P. 301–309.
79. Mann D.H., Sletten R.S., Ugolini F.C. Soil development at Kongsfjord, Spitsbergen // *Polar Res*. 1986. V. 4. №1. P. 1–16.
80. Preuss I., Knoblauch C., Gebert J., Pfeiffer and E.-M. Improved quantification of microbial CH₄ oxidation efficiency in arctic wetland soils using carbon isotope fractionation // *Biogeosciences*. 2013. № 10. P. 2539–2552.
81. Reza S.K., Nayak D.C., Chattopadhyay T., Mukhopadhyay S., Singh & R S.K. Spatial distribution of soil physical properties of alluvial soils: a geostatistical approach // *Archives of agronomy and soil science*. 2016. Vol. 62. № 7. P. 972–981.
82. Schneider, J., Grosse, G., and Wagner, D.: Land cover classification of tundra environments in the Arctic Lena Delta based on Landsat 7 ETM+ data and its application for upscaling of methane emissions, *Remote Sens. Environ*. 2009. № 113. P.380-391.

83. Wagner, D., Gattinger, A., Embacher, A., Pfeiffer, E.-M., Schloter, M., and Lipski, A. Methanogenic activity and biomass in Holocene permafrost deposits of the Lena Delta, Siberian Arctic and its implication for the global methane budget // *Glob. Change. Biol.* 2007. № 13. P. 1089–1099.

84. Zubrzycki S., Kutzbach L., and Pfeiffer E.-M. Permafrost-affected soils and their carbon pools with a focus on the Russian Arctic. *Solid Earth*. 2014. № 5. P. 595–609.

85. Zubrzycki, S., Kutzbach, L., Grosse, G., Desyatkin, A., and Pfeiffer, E.-M.: Organic carbon and total nitrogen stocks in soils of the Lena River Delta // *Biogeosciences*. 2013. № 10. P. 3507–3524.