

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи

Нестерук Галина Владимировна

**ГЕОХИМИЯ МАКРО-, МИКРОЭЛЕМЕНТОВ И МЕТАНА В
ЛАНДШАФТАХ БОЛОТ ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

СПЕЦИАЛЬНОСТЬ

25.00.23 – «Физическая география и биогеография,
география почв и геохимия ландшафтов»

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
доктор географических наук, профессор
Федоров Юрий Александрович

Пермь – 2019

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Обзор литературы и характеристика природных особенностей района исследования	12
1.1. Изученность ландшафтов, содержания микроэлементов в почвах и потоков метана в атмосферу	12
1.1.1. История освоения, изучения и охраны ландшафтов	12
1.1.2. Изученность почв	13
1.1.3. Проблема инвентаризации и обзор методов определения содержаний и потоков метана в ландшафтах болот	14
1.1.4. Изученность факторов метаногенеза	16
1.1.5. Обзор исследования биогеохимических связей между содержанием химических элементов и метана	19
1.2. Физико-географическая характеристика района исследования	22
1.2.1. Полистовский заповедник	23
1.2.2. Радиловский массив	42
2. Объекты, методы и материалы исследования	45
2.1. Объекты исследования	45
2.2. Методы исследования	47
2.3. Материалы исследования	51
2.3.1. Ландшафтные профили	51
2.3.2. Станции геохимического опробования компонентов ландшафтов	62
3. Ландшафтная структура территории и свойства почв	73
3.1. Результаты ландшафтных исследований	73
3.1.1. Полистовский заповедник	73
3.1.2. Радиловский массив	101
3.2. Состояние природных комплексов и их охрана	105
3.3. Морфологические и физико-химические свойства почв	107
3.3.1. Почвы Полистовского заповедника	108
3.3.2. Почвы Радиловского массива	120
4. Геохимия макро- и микроэлементов в ландшафтах болот Псковской области	127
4.1. Геохимия макро- и микроэлементов в поверхностном слое почв и донных отложений	127
4.1.1. Почвы	127
4.1.2. Донные отложения	130
4.2. Накопление микроэлементов багульником болотным	131
4.3. Содержание и распределение химических элементов в почвах	133
4.3.1. Валовое содержание элементов	133
4.3.2. Подвижные формы элементов	152
5. Содержания и потоки метана и их взаимосвязь с макро- и микроэлементами в компонентах ландшафтов	157
5.1. Содержание метана в компонентах исследуемых ландшафтов	157
5.2. Потоки метана в различных типах микроландшафтов	159
5.3. Суточные изменения потоков метана	162
5.4. Моделирование содержания и потоков метана в компонентах ландшафтов Полистовского заповедника	163
5.5. Геохимические закономерности связи содержания и распределения макро- и микроэлементов с содержанием метана в компонентах ландшафтов	166
Заключение	171
Приложение 1. Зависимость между содержанием химических элементов и метана в компонентах ландшафтов болот Псковской области	174
Список сокращений	184
Список литературы	185

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования. Важной проблемой фундаментальных научных исследований является изучение ландшафтов в целом и их отдельных компонентов. Почвы выполняют важные экологические функции: регуляция газового режима атмосферы, аккумуляция и разложение органического вещества, иммобилизация загрязняющих веществ, очищение воды от примесей. Несмотря на малое содержание, микроэлементы способны активно участвовать и существенно влиять на процессы почвообразования и мигрировать в водоемы [82]. Уровень безвредного содержания химических элементов авторами работы [69] предложено оценивать не в ПДК, а по его фоновым значениям и в зависимости от местных условий аккумуляции и миграции веществ в почвах и других компонентах ландшафта. Важными факторами выступают климатические, биоэнергетические, субстратные, литолого-геохимические условия формирования почв, а также условия геохимических и вещественных потоков [55]. Следует отметить, что этот подход несет рациональное зерно, поскольку знание фоновых концентраций необходимо для их сравнения с уровнями содержания элементов в районах подверженных загрязнению и его использования с целью оценки антропогенного воздействия на ландшафты. Поэтому, учитывая положение исследуемого района на пересечении воздушных масс, поступающих из стран Европы, а также агломераций гг. Санкт-Петербурга, Мурманска, Архангельска, Москвы, изучение содержания и распределения в ландшафтах ТМ, является актуальным. Полученные результаты важны при разработке мер по охране ландшафтов болот от загрязнения [174]. Что же касается использования фоновых концентраций ингредиентов взамен значений ПДК в почвах и иных средах, то к этой идее следует относиться с определенной долей осторожности. Это вытекает из определения и сущности ПДК: «...комплексный показатель безвредного для человека содержания химических веществ в почве», так как используемые при ее обосновании критерии отражают возможные пути воздействия загрязнителя на контактирующие среды, биологическую активность почвы и процессы ее самоочищения [98]. Обоснование ПДК химических веществ в почве базируется на

четырёх основных показателях вредности, устанавливаемых экспериментально: транслокационный характеризует переход вещества из почвы в растение, миграционный водный определяет способность перехода вещества из почвы в грунтовые воды и водоисточники, миграционный воздушный отражает переход вещества из почвы в атмосферный воздух, и общесанитарный показатель вредности характеризует влияние загрязняющего вещества на самоочищающую способность почвы и ее биологическую активность. При этом каждый из путей воздействия оценивается количественно с обоснованием допустимого уровня содержания вещества по каждому показателю вредности; наименьший из обоснованных уровней содержания является лимитирующим и принимается за ПДК» [98].

Болота играют двоякую роль в глобальном цикле углерода. С одной стороны, они являются мощным источником метана, а с другой – экосистемами стока углекислого газа. Как известно [136], метан в экосистемах верховых болот образуется биогеохимическим при деградации органического вещества метанобразующими бактериями. По данным [166], болота поставляют в атмосферу $175 \cdot 10^6$ т CH_4 в год (или 32% от глобальной природной эмиссии). Болота, занимающие 21,6% площади России [23] поставляют 25–50% от суммарного потока метана в атмосферу с площади страны [111]. Метан, второй по значимости парниковый газ, в 39 раз превышает углекислый газ по величине прямого потенциала глобального потепления [68]. Авторы работы [137] рассматривают глобальное изменение климата как отклик экосистемы Земли на аддитивное однонаправленное воздействие на неё природных и антропогенных факторов и процессов. На карте содержаний и потоков метана при хорошей изученности Западной Сибири, Европейская территория России (ЕТР) остается «белым пятном», что затрудняет региональную оценку потоков газа. Из 34 водно-болотных угодий международного значения в нашей стране, 7 находятся на Северо-Западе России [223]. Болота и заболоченные земли занимают 17,3% Псковской области, в частности торфяные болота – 13,8% региона, из них 61% – верховые [153]. Площадь торфяных болот Псковской области составляет 0,55% от

площади болот России и 0,16% от площади торфяных болот в мире, рассчитано по данным [22–23; 153; 212]. Поэтому наше внимание привлекла крупнейшая в Европе Полистово-Ловатская система верховых болот (на примере ее западной части, охраняемой Полистовским заповедником).

Оказывающее влияние на баланс CO_2 и CH_4 в атмосфере потепление климата, в гумидных регионах, как известно [196–197], способно усилить высвобождение и вынос основных катионов и металлов, биогенных фосфора и азота из-за повышения насыщения почв влагой, усиления процессов десорбции и выщелачивания элементов и разложения органических остатков в почвах. Эти эффекты отражают опосредованную связь между концентрацией метана и химических элементов. Экспериментальных данных, описывающих связь концентрации микроэлементов с содержанием метана и их воздействие на процесс метаногенеза, чрезвычайно мало. К сожалению, не всегда вполне корректны и убедительны теоретические разработки, направленные на объяснение всей палитры факторов и процессов, способных влиять на механизмы, контролирующие поведение микроэлементов и метана в воде, донных отложениях и почвах [140]. Так, в пробах ила из пресноводного оз. Мендота выявлено стимулирование метаногенеза сульфидом, содержащимся в количестве 0,28 ммоль [217]. Однако, не исключено, что при высоких концентрациях часть сероводорода, связываясь с ионами металлов, необходимых для роста метанобразующих бактерий, удаляет их, ингибируя таким образом образование CH_4 . При низких концентрациях свинец и ртуть активизируют деятельность микроорганизмов, при превышении определенного уровня служат ингибиторами. Большую роль в ингибировании жизнедеятельности микроорганизмов играет форма нахождения ртути: HgCl_2 используется нами для этих целей при пробоподготовке воды и донных отложений для определения содержания в них метана [140]. Ряд микроорганизмов, содержащихся в почвах и донных отложениях, способен метилировать соединения ТМ (Pb и Hg), с образованием $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ и $\text{Hg}(\text{CH}_3)_2$, CH_3HgCl . Эмиссия диметилртути и метилхлорида ртути отмечена в коллекторах по очистке сточных вод. Выделение описываемого

соединения наблюдалось у некоторых почвенных грибов. По сведениям [219], Mn, Fe и сульфаты усиливают процесс окисления CH_4 : при повышении парциального давления метана до 20 атмосфер и внесении 10 мМ сульфата железа количество окисленного метана достигает 90%. Роль собственно металлов в этом процессе не совсем ясна, поскольку большинство исследователей [167] связывают анаэробное окисление метана с процессом восстановления сульфатов. В работах на ограниченном материале [139-140] впервые показано, что между концентрациями Pb и CH_4 в воде и донных отложениях в натурных условиях не наблюдается такой тесной связи, как между содержанием Hg и CH_4 . Возможно, основной причиной является меньшая склонность Pb, в сравнении с Hg, к биометилированию в естественных условиях водотоков и водоемов. Например, биометилирование Pb^{2+} изучено только в лабораторных анаэробных условиях, что дало основание Дж. Муру и С. Рамамурти [99] предложить с осторожностью относиться к экстраполяции полученных данных на природные системы. Другая причина – отсутствие у Pb и его метилпроизводных способности к эмиссии в газовой фазе, как это имеет место быть для Hg^0 и $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$. Вышеизложенное, стимулировало наши исследования, направленные на изучение геохимической связи в ландшафтах верховых болот между концентрацией микроэлементов с одной стороны и содержанием метана с другой.

Нами проведено комплексное исследование структуры и состояния ландшафтов Полистовского заповедника и их компонентов. Проведена диагностика почв, дана геохимическая оценка содержания макро- и микроэлементов в почвах и донных отложениях водных объектов, а также в системе почва–растение, содержания метана в почве, донных отложениях и потоков метана в атмосферу. Оценен вклад в эмиссию метана за бесснежный период года Полистово-Ловатской болотной системы болот ($0,11 \cdot 10^6$ т) и Псковской области в целом ($0,34 \cdot 10^6$ т) [173], что сравнимо с потоком с болот Архангельской области. Полученные данные могут быть полезны как для экологического нормирования содержания ТМ (региональных фоновых

значений), так и для оценки вклада болотных экосистем Псковской области в потоки такого парникового газа как метан в масштабах региона и планеты.

Объекты исследования – компоненты ландшафтов болот Псковской области: почвы, донные отложения, биота (растение *Ledum palustre* L.).

Предмет исследования – уровни содержания, латеральное и вертикальное распределение в почвах и донных отложениях макро-, микроэлементов и метана, а также его потоки в системе «атмосфера – болотные почвы – гидросфера».

Район исследования. На территории Псковской области выбрано два участка. Охраняемая Полистовским заповедником Полистово-Ловатская болотная система и не находящийся под охраной Радиловский болотный массив.

Цель работы: изучить особенности накопления, распределения макро-, микроэлементов, метана и потоки метана в компонентах ландшафтов болот Псковской области.

В задачи исследования входило:

1. Изучение ландшафтной структуры Полистово-Ловатской болотной системы и Радиловского массива, определение классификационного положения и диагностика почв.
2. Определение содержаний и закономерностей распределения химических элементов по профилю почв и в поверхностных 0-15 см почв и донных отложений.
3. Оценка накопления химических элементов багульником болотным.
4. Расчет эмиссии метана болотами Полистово-Ловатской системы и Псковской области и построение регрессионных моделей, определение содержания метана в компонентах природных комплексов (ПК) болот и выявление связи этого показателя с содержанием химических элементов.

Научная новизна:

1. Впервые для территории Псковской области применена комплексная методика изучения верховых болот, ландшафтный и геохимический подход позволили описать ландшафтную структуру Полистовского заповедника и Радиловского болотного массива, выполнить диагностику ранее неисследованных почв и выявить местные особенности почвообразования, а также установить

закономерности поведения микроэлементов в зависимости от физико-химических свойств педосферы.

2. Определены содержания и закономерности распределения химических элементов по площади и разрезу почв и донных отложений ландшафтов болот Псковской области, которые обоснованы в качестве фоновых региональных значений, и выявлены особенности накопления микроэлементов багульником.

3. Впервые определено содержание метана и установлены закономерности его распределения по латерали и вертикали в различных компонентах болотных ландшафтов и выполнена оценка его потоков в системе «атмосфера – почвы – гидросфера» с учетом вклада отдельных микроландшафтов в общую эмиссию в атмосферу с поверхности Полистово-Ловатской системы и других верховых болот Псковской области.

4. Впервые рассчитаны регрессионные модели, адекватно описывающие связь концентраций и потоков метана в атмосферу и зависимость между содержанием метана и химических элементов в почвах, торфе и донных отложениях ландшафтов верховых болот.

Соответствие паспорту специальности. Тема диссертационной работы соответствует паспорту специальности 25.00.23 – «Физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов». Область исследования: 1. Структура, функционирование и динамика ландшафтов; 3. География и картография почв, происхождение и трансформация почвенного покрова; 4. Геохимия ландшафтов, изучение и моделирование ландшафтно-геохимических процессов; 9. Ландшафтно-геохимические условия миграции элементов в природной среде, специальное почвенно-геохимическое картографирование.

Основные защищаемые положения:

1. На охраняемой заповедником территории преобладают грядово-мочажинные комплексы (35,8% площади) и сфагновые переходные топи (32,0%), на участках, подвергшихся торфоразработкам или рекреационному воздействию представлены менее устойчивые в сукцессионном отношении сосняки и

березняки-зеленомошники, вершинные сосново-сфагновые и сосново-пушицево-сфагновые комплексы.

2. Литологический состав оказал определяющее влияние на уровни и распределение химических элементов в интразональных, зональных и азональных почвах болот Псковской области, которые не загрязнены тяжелыми металлами – содержание химических элементов в поверхностных 0-15 см данных почв можно использовать в качестве фоновых значений при проведении регионального почвенно-экологического мониторинга.

3. Содержание метана в воде, верхних горизонтах почв и донных отложений коррелируют с его потоками в атмосферу – их величины максимальны в микроландшафтах переходных топей, черных мочажинах грядово-мочажинного комплекса, озерах озерно-денудационного комплекса.

4. В почвах и донных отложениях валовые содержания макроэлементов Fe, Al и микроэлементов Mn, Ni, Cr, Cu, Zn проявляли значимую обратную связь с содержанием метана, соотношение содержания Pb, As с метаном носило сложный противоречивый характер, связь содержания Cd с CH_4 была незначимой.

Фактический материал и личный вклад автора. В основу диссертационной работы положен оригинальный фактический материал, полученный в результате ряда экспедиционных работ 2008-2016 гг., проводимых сотрудниками кафедры физической географии, экологии и охраны природы Института наук о Земле и кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Академии биологии и биотехнологии ЮФУ, в том числе автором. Диссертант принимала участие в полевых исследованиях, производила отбор и подготовку проб, лабораторный анализ почв, сбор, обобщение, камеральную и картографическую обработку материала. Приведены результаты анализов воды, донных отложений, почв на содержание макро- (Al, Fe, Ca, Mg, Ti, P, K) и микроэлементов (V, Sr, Cr, Zn, Ni, Cu, Co, Pb, As, Mn, Cd), органического углерода ($\text{C}_{\text{орг}}$), определены физико-химические свойства почв (pH, гранулометрический состав, содержание обменных оснований, емкость катионного обмена). Обобщено более 2000 данных, проведены определения: содержания и потоков метана – 620,

содержания химических элементов – 607, $C_{\text{орг}}$ – 600, физико-химических свойств почв – 600, 39 проб зеленой массы багульника. Заложено 42 ландшафтных профиля, 9 почвенных разрезов.

Практическая значимость работы. Результаты работы применимы для инвентаризации потоков метана болотами РФ, т.к. исследуемый район вносит весомый вклад в эмиссию метана от естественных источников ЕТР. Данные по содержанию микроэлементов в почвах и донных отложениях будут положены в основу разработки стратегии мониторинга состояния почвенного покрова и водных объектов Северо-Запада России и разработке мер по охране их от загрязнения. Основные результаты диссертационной работы используются в Институте наук о Земле при подготовке и чтении курсов лекций «Общая гидрология», «Современные проблемы экологии и природопользования», «Экологический мониторинг: теория и практика» по направлению бакалавриата «География», магистерской программе «Экологический мониторинг: теория и практика», «Региональная экология» и выполнении работ по тема № ВнГр-07/2017-24 и проекты РФФИ №16-05-00976, НШ-5658.2012.5, НШ-5548.2014.5 и Министерства образования и науки РФ № 5.948.2017/ПЧ.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы были представлены на международных конференциях: «Экологические проблемы. Взгляд в будущее» V, VI, VIII (2008, 2010, 2017); «Ломоносов» XVI, XVIII-XIX, XXII-XXIV (Москва, 2009, 2011–2012, 2015–2017); «Современное экологическое состояние черноземов» (Ростов-на-Дону, 2013); «Мониторинг и оценка состояния растительного мира» IV (Минск, 2013); «Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов» III (Минск, Беларусь, 2009); «Актуальні проблеми ботаніки та екології» (Березне, Украина, 2011); «Биология – наука XXI века» XIX (Пущино, 2015); «Экологический мониторинг, моделирование и проектирование в условиях природных, городских и агроэкосистем (MOSES-2015)» (Москва, 2015); «Физика бессвинцовых пьезоактивных и родственных материалов (LFPM)» IV-VI (Ростов-на-Дону – Туапсе, 2015-2017); Докучаевские чтения «Почва-зеркало ландшафта» XVIII (Санкт-Петербург, 2016); «Геохимия химических элементов и соединений в

природных средах» II–III (Тюмень, 2016, 2018); «Почва–удобрение–урожай» (Горки, Беларусь, 2017); «Современные проблемы состояния и эволюции таксонов биосферы» (Москва, 2017); на всероссийских конференциях с международным участием: «Болота и биосфера» VIII, IX (Томск, 2012, 2015); «Современные тенденции развития особо охраняемых природных территорий» (Полистовский заповедник, 2014); «Почвоведение – продовольственной и экологической безопасности страны» VII съезд Общества почвоведов им. В.В. Докучаева (Белгород, 2016). Результаты исследований по теме диссертационной работы вошли в Летопись природы Полистовского заповедника (2008, 2009, 2011, 2012).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 44 работы, в т.ч. статей и тезисов в базе РИНЦ – 21, статей в научных журналах, рекомендуемых ВАК РФ – 4, в изданиях, индексируемых в базах Scopus и Web of Science – 2.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка сокращений, списка литературы из 226 наименований. Общий объем текста составляет 196 страниц, включая 48 рисунков и 22 таблицы и 1 приложение.

Благодарности. Автор выражает глубокую благодарность своему научному руководителю, д.г.н., проф. Ю.А. Фёдорову за помощь, оказанную при выполнении диссертационной работы. Огромное спасибо за всестороннюю поддержку д.б.н., проф., Т.М. Минкиной. Автор признателен сотрудникам ЮФУ: д.б.н., проф. О.С. Безугловой, к.б.н., Л.Ю. Гончаровой (кафедра почвоведения и оценки земельных ресурсов), к.г.н., Д.Н. Гарькуше (кафедра физической географии, экологии и охраны природы). Автор благодарен к.г.н., доценту, с.н.с. Крыловского государственного научного центра Крыжевич М.И. и с.н.с. Гидрохимического института Росгидромета Н.С. Тамбиевой.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводилось на двух участках, расположенных на территории Псковской области, в 90 км друг от друга (рис. 1.1).

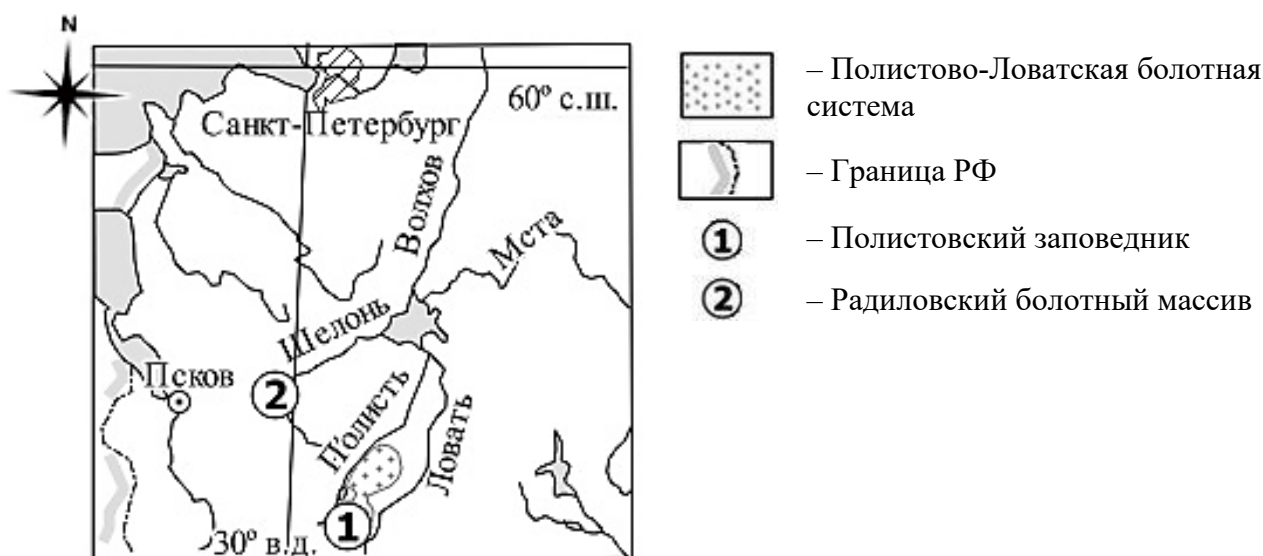


Рисунок 1.1. Положение участков исследования на картосхеме Северо-Запада ЕТР

1.1. Изученность ландшафтов, содержания микроэлементов в почвах и потоков метана в атмосферу

1.1.1. История изучения, освоения и охраны ландшафтов

В исследовании Полистово-Ловатской болотной системы можно выделить 3 периода. В дореволюционный период (в 1911–1914 гг.) флору и строение торфяной залежи Полистово-Ловатской системы изучали В.Н. Сукачев, С.М. Филатов, А.Р. Какс, Р.И. Аболин, в советский время (с 1928 г.) – З.Н. Смирнова (материалы утрачены), И.Д. Богдановская-Гиенэф (опубликована монография). В 1994 г., с момента образования Полистовского заповедника, территория стала охраняемой. Инвентаризация биологического разнообразия была проведена В.В. Дежкиным, В.М. Злобиным, списки флоры, фауны составлены В.Г. Сморкаловым, А.Л. Мищенко, О.М. Сухановой, В.В. Журавлёвой, В.А. Смагиным. Современные исследования (мониторинг) метеорологических, гидрологических параметров, растительности и популяций отдельных животных ведутся под руководством Т.А. Новиковой на постоянных пробных площадках. Результаты геоботанических

исследований опубликованы в работах Н.М. Решетниковой [120], Т.А. Новиковой, Н.В. Кузьмицкой [106], Н.Б. Истоминой, О.В. Лихачевой [66], Е.О. Корольковой и др. [79], палинологических – М.Б. Носовой и др. [108], орнитологических – О.А. Шемякиной, М.С. Яблокова [147], изучения почвенных беспозвоночных – А.А. Гончарова, А.В. Тиунова [46], картографирования болотных ПК – О.В. Галаниной [26]. Деятельность заповедника на современном этапе заключается в охране уникальных ПК, научных исследованиях, экологическом просвещении населения. Проводится работа с учреждениями образования и культуры, преподавателями, школьниками, студентами, экологические мероприятия, сотрудничество с населением деревень, прилегающих к заповеднику, развивается экотуризм, фотовыставки в местных музеях, экопросвещение населения (включая интернет-сообщества, взаимодействия со СМИ). Однако не вся охраняемая территория охвачена описаниями ландшафтной структуры и растительного покрова, работы по составлению геоботанической карты заповедника находятся на стадии проведения. Работы по Радиловскому болотному массиву единичны: известны орнитологические [153–154] и ландшафтные исследования [83].

1.1.2. Изученность почв

При наличии в литературе данных по зональным почвам Псковской области, информация по интразональным и аazonальным почвам (торфяно-глееземы, буроземы, ржавоземы, торфяные, дерновые остаточно-карбонатные почвы) немногочислена. В частности дерновые остаточно-карбонатные почвы ранее относили к рендзинам, а железисто-метаморфические (ржавоземы) – к бурым таежным дерновым почвам. Буроземы рассматривались учеными как подзолистые, затем как псевдоподзолистые, сезонно оподзоленные, лессивированные почвы. Позже исследователи пришли к выводу, что вышеперечисленные процессы являются сопутствующими, и суть буроземообразования не в перемещении частиц по профилю, а в оглинивании *in situ*. В современной литературе буроземам и дерново-буро-подзолистым почвам уделяли внимание [1, 8, 25, 122, 162, 164, 185–186, 213–214, 216], дерновые остаточно-карбонатные почвы и ржавоземы на песках исследовали авторы работ

[51, 53, 56, 58, 131, 146, 198, 218]. В недавней литературе есть работы по почвам молодых моренных равнин [25, 213]. Газовый режим исследуемых почв других регионов изучали [2, 184].

Почвенный покров Полистовского заповедника и Радиловского массива мало изучен: есть данные для двух локальных участков на территории заповедника по свойствам почв и содержанию в них ПАУ [35, 144]. Содержание химических элементов и метана в почвах исследуемой территории, а также потоки метана в атмосферу не были освещены.

1.1.3. Проблема инвентаризации и обзор методов определения содержаний и потоков метана в ландшафтах болот

В настоящее время по доступным базам данных «Arctic Boundary Layer Experiment (ABLE)», «Canadian Northern Wetlands Study (NOWES)» рассчитано, что в полосе своего сосредоточения (50-70° с.ш.) болота выпускают 25-65 ТгСН₄/год [157, 179, 191]. Эти оценки не точны, так как не учитывают доли российских болот и информации по болотам Финляндии, Швеции [181, 193, 195, 205]. Российская база данных по потокам парниковых газов Rus Flus Net еще на стадии формирования. Грубые усредненные оценки потоков метана с использованием математического моделирования (табл. 1.1) не учитывают микроландшафтной специфики территории.

В России территория Западной Сибири хорошо изучена на предмет содержания и потоков СН₄ от тундры [45, 190, 211] и лесотундры [190] до средней [42, 64, 72, 190, 199] южной тайги и подтайги [40–41, 124, 190, 201], подтайги и лесостепи [121]. Изучен Север Восточной Сибири [187]. На ЕТР проводились работы по инвентаризации потоков метана с болот подзоны северной тайги респ. Коми [100, 111] и Архангельской области [104, 136], южной тайги Ленинградской [67], подтайги в пределах Тверской области [44, 85, 125], осушенных болот зоны хвойно-широколиственных лесов Московской области [105, 125–126].

Работы по определению содержания метана в воде и донных отложениях пресноводных водоемов и водотоков немногочисленны. Водохранилищам, прудам, рекам, озёрам и морям уделено внимание в трудах [27–28, 36, 63, 90, 103, 128, 140,

175, 188]. Региональная оценка, прогноз содержания и потоков метана в водных объектах ЕТР даны в работе [29]. Впервые важность исследования метана как возможного индикатора антропогенного загрязнения отмечена в трудах Ю.А. Федорова с соавторами [135].

Таблица 1.1 – Эмиссия и поглощение метана почвами, МТ/год

Страна	Эмиссия	Поглощение	Источник
Бывший СССР	11,0*		
Россия	7,5*	–	[4]
Белоруссия и Украина	3,5*		
Россия	39,8**	–	[206]
	24,06	0,26±0,16	[220]
	16,5	–	[77]
	–	9,6±5,4	[161]
	–	3,0±1,9	[170]
	–	2,0±0,8	[171]
	16,6*	–	[221]

Примечание: * - только из болот, ** - чистая эмиссия из метан-генерирующих почв, без учета поглощения, 1Мт=10⁶т, – - нет данных

Математическое моделирование потоков метана проводили [39, 133], связь потока газа с температурой исследовали ученые [72, 133], эмиссия метана снежным покровом болот изучена в трудах авторов [127], сезонные изменения его содержания в компонентах водных экосистем освещены в работах [31, 40].

Среди методов исследования потоков CH₄ простые методы математического моделирования (МеПИ) обладают низкой точностью, т.к. предполагают постоянство потока во времени и пространстве. Современные математические модели (МеМаМ) более точны, но требуют детальной информации (о сумме осадков, температуре, аэрации, порозности почвы, площади вовлеченных в сельскохозяйственное использование земель). Метод накопительных (эмиссионных) камер позволяет получить надежные данные о потоках метана из почв, болот, донных отложений и с поверхности водных объектов [32, 133, 140], разработанный под руководством G. Inoue, метод начали применять и в нашей стране: с 1993 г. в Тверской области, а с 1997 г. в Западной Сибири. Из различных видов камер-ловушек (рис. 1.2), использование классических «воронок» доступно и наименее затратно. Несмотря на точечность измерений, достоинствами

камерного метода также являются его универсальность (для болотных, водных и наземных экосистем), распространенность, возможность сравнения с другими результатами и учета микроландшафтной специфики содержания и эмиссии метана.

Современный метод диффузионных потоков (Eddy Covariance) включает вышки для измерений потоков газов, анемометр, газоанализатор, генератор, блок питания. Существуют закрытые (closed-path) анализаторы: TGA-100A, RMT-200, G1301-f и открытые (open-path): LI-COR 7700 [202]. Closed-path анализатор требует постоянного генератора энергии, может весить до 200 кг, open-path легче и требует меньше энергии. Eddy Covariance применяют в Финляндии [205], Канаде, США, на Аляске [202]. В России этот метод был использован для получения данных по экосистемам тундры, зоны вечной мерзлоты Сибири и Чукотки; Центральной полосы России (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева). При больших площадях и частоте измерений, стоимость оборудования и его обслуживания высока, учитывается только общий поток, невозможность микроландшафтной дифференциации потока и работы на уклонах местности.

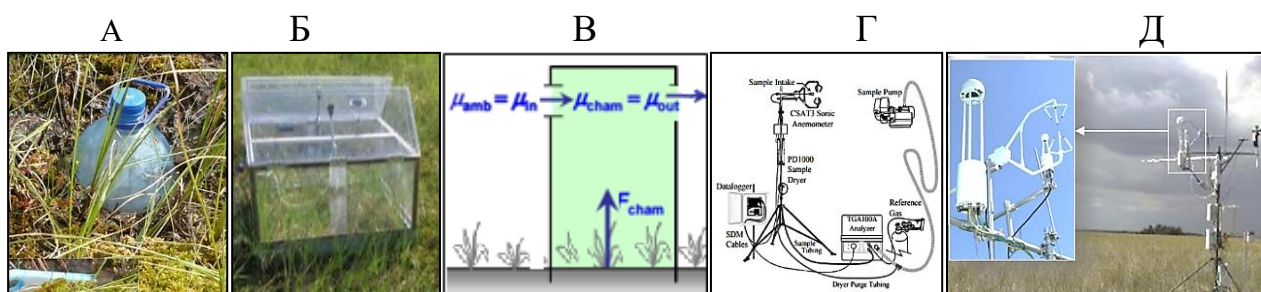


Рисунок 1.2. Оборудование для исследования потоков метана. Камеры: А – классические, Б – статистические, В – динамические; Вышки с газоанализатором: Г – TGA-100A, Д – LI-COR 7700

1.1.4. Изученность факторов метаногенеза

Метаногенез – микробиологический процесс, осуществлять который способны крайне специализированные прокариоты – археобактерии, или археи, родов *Methanobacterium*, *Methanococcus*, *Methanocorpusculum*, *Methanosarcina*, *Methanosaeta*, *Methanopyrus*, *Methanobrevibacteria* [192]. Систематика метаногенерирующих бактерий достаточно хорошо разработана. Метаногены делятся на три порядка (*Methanobacteriales*, *Methanococcales* и

Methanomicrobiales), каждый из которых подразделяется на семейства, далее – на роды, виды. Известно 6 семейств метаногенов (*Methanobacteriaceae*, *Methanotermoaceae*, *Methanococcaceae*, *Methanomicrobiaceae*, *Methanoplanaceae*, *Methanosarcinaceae*), около 20-ти родов и свыше 70-ти видов, выделенных в виде чистых культур. Морфологически метанообразующие бактерии бывают шарообразные (кокки), палочковидные (бациллы), спиральные (спириллы) и нитевидные, некоторые виды способны образовывать конгломераты из большого числа клеток. Таким образом, среди метаногенов распространены все основные типы морфологической организации бактерий [59–62]. Основной или единственный источник энергии метаногенов, метановое брожение, включает три стадии: гидролитическую (гидролиз полисахаридов в среде органического происхождения), ацидогенную (сбраживание образовавшихся в предыдущей стадии моносахаридов до спиртов и далее до короткоцепочечных летучих жирных кислот (ЛЖК): муравьиной, уксусной, пропионовой, масляной, молочной) и собственно метаногенную (ацетокластический метаногенез – расщепление ЛЖК до CH_4 и CO_2). Другой путь метаногенеза заключается в восстановлении одноуглеродных молекул (углекислый газ, муравьиная кислота, метанол) молекулярным водородом, также являющимся продуктом микробного метаболизма). Метаногенные археобактерии осуществляют только заключительную стадию процесса, гидролиз и ацидогенез производятся эубактериями, анаэробными грибами и простейшими [177, 182, 215]. Описаны также пути биосинтеза метана из длинноцепочечных жирных кислот животного жира и углеводов нефти [141, 176, 178]. В процессе метанового брожения участвуют коферменты птериновой природы и специфичные микроэлементы – Mo и V [168, 209]. По температурным условиям выделяют психрофильный метаногенез (низкотемпературный, $10\text{--}14^\circ\text{C}$), мезофильный (среднетемпературный, $35\text{--}37^\circ\text{C}$) и термофильный (высокотемпературный, $50\text{--}55^\circ\text{C}$). Ряд исследователей [156, 189, 207–208, 222] полагает, что при температуре ниже 6°C метаногенез подавляется полностью; авторы работы [163] отметили хорошую сохранность метаногенов при 4°C , но уменьшение микробной

активности при замораживании -20°C . При высыхании метаногены образуют споры, легко выделяемые из атмосферы [172]. При наиболее благоприятных для метаногенеза значениях pH (6–8), близких к нейтральным, на его ацидогенной стадии происходит подкисление среды [96]. При pH 4,3 метановое брожение останавливается в результате отравления микрофлоры токсичными недиссоциированными ЛЖК. Этим объясняется высокая сохранность органических отложений на торфяных болотах [160, 163, 169, 203]. Другие исследователи считают, что бактерии-метаногены более толерантны к кислотно-щелочным условиям: метаногенез может протекать как в кислых болотах с pH до 3, так и в содовых озёрах с pH до 10 [165]. Из литературных источников [19] известно, что все профили болотных почв обогащены метаном, причем активность метаногенных популяций *in situ*, содержание CH_4 в болотных почвах и его поток в атмосферу увеличиваются с нарастанием гидроморфизма. В находящихся ниже уровня залегания воды органогенных горизонтах происходит интенсивный бактериальный метаногенез [19]. Как будет показано ниже, мы изучали болотные почвы до глубины 15 см. Жизнеспособные метаногены выявлены практически во всех горизонтах талого слоя почв, до мерзлых толщ на основных субстратах; максимальные их численности (до 10^3 кл/г почвы) обнаружены в верхних, более прогретых горизонтах. Уровни содержания метана совпадают с интенсивностью его генерации, достигающей $27 \text{ мкг } \text{CH}_4/\text{дм}^3$ в сутки в оттаивших мерзлых почвах, причем, 85–99% CH_4 образуется из $\text{H}_2 + \text{CO}_2$ и 1–15% из ацетата [19]. Средний поток метана из мерзлотных гидроморфных почв равен $53 \text{ мг}/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$ [19]. На поток метана существенно влияет характер растительного покрова. Согласно [19] среднее значение потока CH_4 для всех почв с моховым покровом ($24,9 \text{ мг } \text{CH}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$) в 3–3,5 раза ниже по сравнению с почвами под сообществами сосудистых растений ($80,1 \text{ мг } \text{CH}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$). Сосудистые растения транспортируют метан в атмосферу из почвы сквозь зону активного окисления. Не обладающие развитыми везикулярными структурами мхи не участвуют в транспорте метана, сдерживая его внутри почвы; они служат биологическим фильтром для проникновения почвенного метана в атмосферу и экологической

нишей для метанотрофных сообществ. Бактериальное окисление метана наиболее интенсивно на границе раздела вода–воздух в переувлажненных горизонтах почв, хорошо разложившихся мхов, поверхностных слоях воды.

Исследователи образования и окисления метана в почвах, болотах и озерах Западной Сибири [28] и почвах Заполярной тундры РФ [10] подтвердили, что биогенный метан является продуктом деятельности метанобразующих архей. При этом авторы работы [28] установили, что основным предшественником новообразованного метана является ацетат, а интенсивность автотрофного метаногенеза на 1–3 порядка ниже ацетокаластического. Ими была отмечена эмиссия метана в атмосферу 30–205 мг $\text{CH}_4/\text{м}^2 \cdot \text{сут}$. Аэробное метанотрофное сообщество окисляет образующийся метан. Разница между приходной и расходной частями баланса метана соответствует величине его эмиссии в атмосферу [59]. Авторы монографии [65] установили, что эмиссия метана с болот Горного Алтая варьирует от 0,5 до 28,9 мг $\text{CH}_4/\text{м}^2 \cdot \text{час}$; её величина прямо пропорциональна увеличению уровня болотных вод и температуры.

Итак, при достаточной изученности микробиологических процессов генерации и окисления метана, сообществ микроорганизмов-метаногенов, исследование связи между генерацией метана и содержанием макро- и микроэлементов в почвах до сих пор остается открытым вопросом. Наш интерес привлекла попытка установления данной связи с помощью геохимических методов, статистики и математического моделирования.

1.1.5. Обзор исследования биогеохимических связей между содержанием химических элементов и метана

Поступление в атмосферу метана, образующегося в болотных почвах, регулируется деятельностью так называемого «метанового фильтра». Авторы работы [81] на основе полевых опытов пришли к выводу, что внесение азотных соединений в почвы верховых болот, приводит к образованию продуктов микробного метаболизма, которые ингибируют активность метанооксиляющего сообщества.

Автор работы [7] называет микроэлементы или элементы, содержание которых в растениях меньше 0,1% (1000 мг/кг сухого веса или ppm) «следовыми» элементами. В физиологии принято разделять элементы на существенные и (эссенциальные) и несущественные. Среди последних, выделяются токсичные элементы, однако это выделение весьма условно. Еще в XVI веке Парацельс выдвинул положение: «Есть ли что-либо не ядовито? Все есть яд, и только доза определяет ядовито это или нет». По степени важности для организмов элементы разделены эссенциальные (Fe, Zn, Mn и Cu) и полезные (Ni, Cr, As и даже Cd) [7]. При этом приведены пороги содержания этих элементов в растворах, при превышении которых они проявляют токсичность. Такие элементы как Pb, Hg, Al не вошли в этот список и, следовательно, отнесены к несущественным и более того к токсичным. Все они заслуживают внимания, но требуют более убедительных доказательств.

По мнению ряда ученых, самыми сильными по токсическому воздействию на микроорганизмы, участвующие в биохимическом окислении, являются металлы, особенно тяжелые. Токсическое действие металлов проявляется, только если они находятся в растворенной форме. В болотных почвах, где существуют низкие значения pH, нельзя исключить ингибирование метаногенеза ТМ даже при их содержаниях ниже ПДК, а тем более воздействия таких макроэлементов как Fe и Al. Помимо токсического воздействия больших концентраций тяжелых металлов, невысокие их содержания могут служить катализаторами метаболизма бактерий и микроорганизмов (например, ионы Fe^{2+} , Cu^{2+}) или выступать в качестве необходимых для них микроэлементов (Ni, Co, Mo). Связывание растворенных ионов металлов и подавление их активности, осуществляется сульфидными анионами, которые образуются при разложении органических веществ. В работах С.И. Колесникова и др. [74–76], на примере черноземов, показано негативное влияние высоких концентраций ТМ на биологическую активность почвенной микробиоты. Имеется сообщение о том, что метаногенные бактерии чувствительны к содержанию в среде солей тяжелых металлов (Zn, Ni, Cu, Pb, Cd, Cr), поэтому даже разрабатываются обладающие очень низким

порогом обнаружения микробиологические тесты на присутствие ТМ в почве и воде [180].

Экспериментальных данных, подтверждающих связь концентрации тяжелых металлов (ТМ) с содержанием метана и их воздействие на процесс метаногенеза, мало. К сожалению, не всегда вполне корректны и убедительны теоретические разработки, направленные на объяснение всей палитры факторов и процессов, способных влиять на механизмы, контролирующие поведение ТМ и метана в воде, донных отложениях и почвах [140]. Так, в пробах ила из пресноводного оз. Мендота выявлено стимулирование метаногенеза сульфидом, содержащимся в количестве 0,28 ммоль [217]. Однако, не исключено, что при высоких концентрациях часть сероводорода, связываясь с ионами металлов, необходимых для роста метанобразующих бактерий, удаляет их, ингибируя таким образом образование CH_4 . При низких концентрациях Рb и Hg активизируют деятельность микроорганизмов, при превышении определенного уровня служат ингибиторами. Большую роль в ингибировании жизнедеятельности микроорганизмов играет форма нахождения ртути: HgCl_2 используется нами для этих целей при пробоподготовке воды и донных отложений для определения содержания в них метана [140]. Ряд микроорганизмов, содержащихся в почвах и донных отложениях, способен метилировать соединения ТМ (Рb и Hg), с образованием $\text{Pb}(\text{CH}_3)_4$ и $\text{Hg}(\text{CH}_2)_2$, CH_3HgCl . Эмиссия диметилртути и метилхлорида ртути отмечена в коллекторах по очистке сточных вод. Выделение описываемого соединения наблюдалось у некоторых почвенных грибов. По сведениям [219], Mn, Fe и сульфаты усиливают процесс окисления CH_4 . При повышении парциального давления до 20 атмосфер и внесении 10 мМ сульфата железа до 90% метана окисляется [219]. Роль собственно металлов в этом процессе не совсем ясна, поскольку большинство исследователей [167] связывают анаэробное окисление метана с процессом восстановления сульфатов. В работах авторов [140–141] впервые показано, что между концентрациями Рb и CH_4 в воде и донных отложениях в натурных условиях не наблюдается такой тесной связи, как между содержанием Hg и CH_4 . Возможно, основной причиной является меньшая

склонность Pb, в сравнении с Hg, к биометилированию в естественных условиях водотоков и водоемов. Например, биометилирование Pb^{2+} изучено только в лабораторных анаэробных условиях, что дало основание Дж. Муру и С. Рамамурти [99] предложить с осторожностью относиться к экстраполяции полученных данных на природные системы. Другая причина – отсутствие у Pb и его метилпроизводных способности к эмиссии в газовой фазе, как это имеет место быть для Hg^0 и $(CH_3)_2Hg$. Кроме ионов тяжелых металлов, сульфида (продукта восстановления сульфатов), к ингибиторам причисляют аммиак, цианид, хлорсодержащие углеводороды.

Исходя из вышеприведенного анализа литературы можно сделать вывод о том, что в болотных почвах главными факторами, контролирующими метаногенез, является содержание органического вещества и его разложенность, гидроморфизм почв, температура и физико-химические характеристики растворов, глубина генерации метана, а также наличие целого пула микроорганизмов. Мы не исследовали воздействие *in vitro* или *in situ* химических элементов на активность метаногенной или иной микрофлоры. Но из литературных источников известно, что влияние содержания макро- и микроэлементов на активность бактериального сообщества и процесс метаногенеза противоречиво.

1.2. Физико-географическая характеристика района исследования

В пределах Псковской области, на границе подзон южной тайги и смешанных и широколиственных лесов выбрано два схожих по генезису и ландшафтной структуре участка (рис. 2.20-2.21). Участки приурочены к доледниковым депрессиям, отличаются высокой заболоченностью с преобладанием в ландшафтной структуре верховых болот. Наибольшая заболоченность характерна для Полистово-Ловатской системы, имеющей ровную пониженную поверхность и водоупор в виде глинистых отложений. Радиловский болотный массив не находится под охраной, Полистово-Ловатская система охраняется Полистовским и Рдейским заповедниками. Эти болота возникли при

заторфовывании понижений и слиянии заболоченных массивов, произошедших от мелководных озер, образованных талыми ледниковыми водами после отступления Валдайского ледника.

Район относится к Ладожско-Ильменско-Западнодвинской провинции олиготрофных грядово-мочажинных болот зоны выпуклых олиготрофных торфяников [70], Восточно-Прибалтийской провинции зоны выпуклых грядово-мочажинных болот [12] или Прибалтийской провинции дерново-подзолистых слабогумусированных почв [71]. В ландшафтном отношении участки исследования представляют собой массивы верховых болот, гидрологическое и экологическое значение которых – регулирование на местном уровне климатических условий, водного баланса и биоразнообразия – трудно переоценить. Болота являются резервуарами пресной воды, регуляторами стока, стабилизаторами уровня грунтовых вод, температуры и осадков, рефугиумами для редких видов растений и животных. Болота фиксируют загрязняющие вещества органическим веществом торфа, служат фильтрами для поступающей в озеро Ильмень, р. Неву и Финский залив воды, стоками CO_2 и источниками CH_4 .

1.2.1. Полистовский заповедник

Полистовский заповедник имеет площадь 379,8, охранный зона – 173,0 км². Это часть Полистово-Ловатской болотной системы площадь которой оценивают от 1345 [13] до 2000 км² [224]. Заповедник был создан с целью изучения природных процессов и явлений и сохранения растительного и животного мира уникальных экосистем.

История формирования. Район испытывал окское, днепровское, московское, валдайское оледенения. Водно-ледниковые и ледниковые отложения сформировались в поздневалдайское время, в течение четырех фаз оледенения, разделенных короткими межстадиями: вепсовской, крестецкой, лужской и невской [37]. Переход в верховую стадию у торфяников произошел в бореальное время [11]. Полистово-Ловатская болотная система образовалась во время трансгрессии Литоринового моря. После отступления Валдайского ледника,

застойные озера спадали и заторфовывались. Из остатков древнего послеледникового озера образовались 15 олиготрофных болотных массивов, путем слияния которых образовалась Полистово-Ловатская система (рис. 1.3).

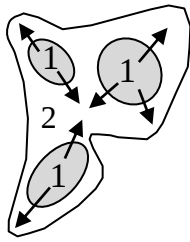


Рисунок 1.3. Схема образования болотной системы (2) из болотных массивов (1). Построено по [11]

Геологическое строение. Район относится к раннепротерозойской нерасчлененной области Русской платформы, перекрытой осадочным чехлом [94]. Материнские осадочные породы почти повсеместно перекрыты четвертичными отложениями. Почвообразующие породы – ледниковые, флювиогляциальные, лимногляциальные отложения, а также аллювий и отложения современных озер [94].

Отложения включают девонские пески и песчаники с прослоями известняков, доломитов и мергелей (мощностью до 75 м), пермские песчано-глинистые породы с прослоями доломитов и мергелей, известняки и доломиты, глины и мергели с прослоями песчано-алевритовых пород (25–50 м, рис. 1.4).

Преобладающие почвообразующие породы – красновато-бурые моренные суглинки (физической глины (ФГ) – 26,0-37,0%), на некоторых участках перекрытые покровными супесчаными и песчаными отложениями [15, 52]. Красновато-бурая морена не отсортирована, зачастую очень тонкая. Палеозойские коренные породы, которые почти все карбонатны, при выходе на поверхность определяют характер почвообразования.

Большие площади занимают современные органогенные отложения в виде торфа, которые, как известно [38], обладают высокой потенциальной способностью к аккумуляции элементов. На территории исследования присутствуют торфяники озерного происхождения и возникшие на минеральных грунтах. Степень разложения торфа в основном от 10–15% в верхних горизонтах залежи до 50–60% – в нижних. Средняя мощность верховых торфов 3,5–5 м, максимальная – в районе северных озер (6–8 м), под вершиной западной ложбины (4–5 м). Верховой торф подстилается 2–2,5 м низинного, в западной ложбине – 2–4 м сапропеля. На дне имеется тонкий слой сапропеля и водных торфов

(скорпидиум, тростниковый торф). Торфы могут быть низинными (лесной, осоково-лесной, осоковый), переходными (осоковый, шейхцериевый), верховыми (магелланикум, магелланикум-лесной, магелланикум-фускум, магелланикум-шейхцериевый, комплексно-фускум-шейхцериевый, фускум, куспидата, верховой лесной). Отложения торфа под разными биогеоценозами отличаются по составу (табл. 1.2). Среди торфов преобладает магелланикум-торф, из переходных видов обычен шейхцериевый торф литоринового возраста [11]. Торф пушицево-шейхцериевых мочажин отличается от торфа сильно обводненных пушицевых и образовавшихся после деградации гряд. Торф мочажин второго типа жидкий (влажность 96,0–98,5%) и имеет мощность менее 1,75 м. Грядовый торф может иметь прослой более жидкого мочажинного [11].

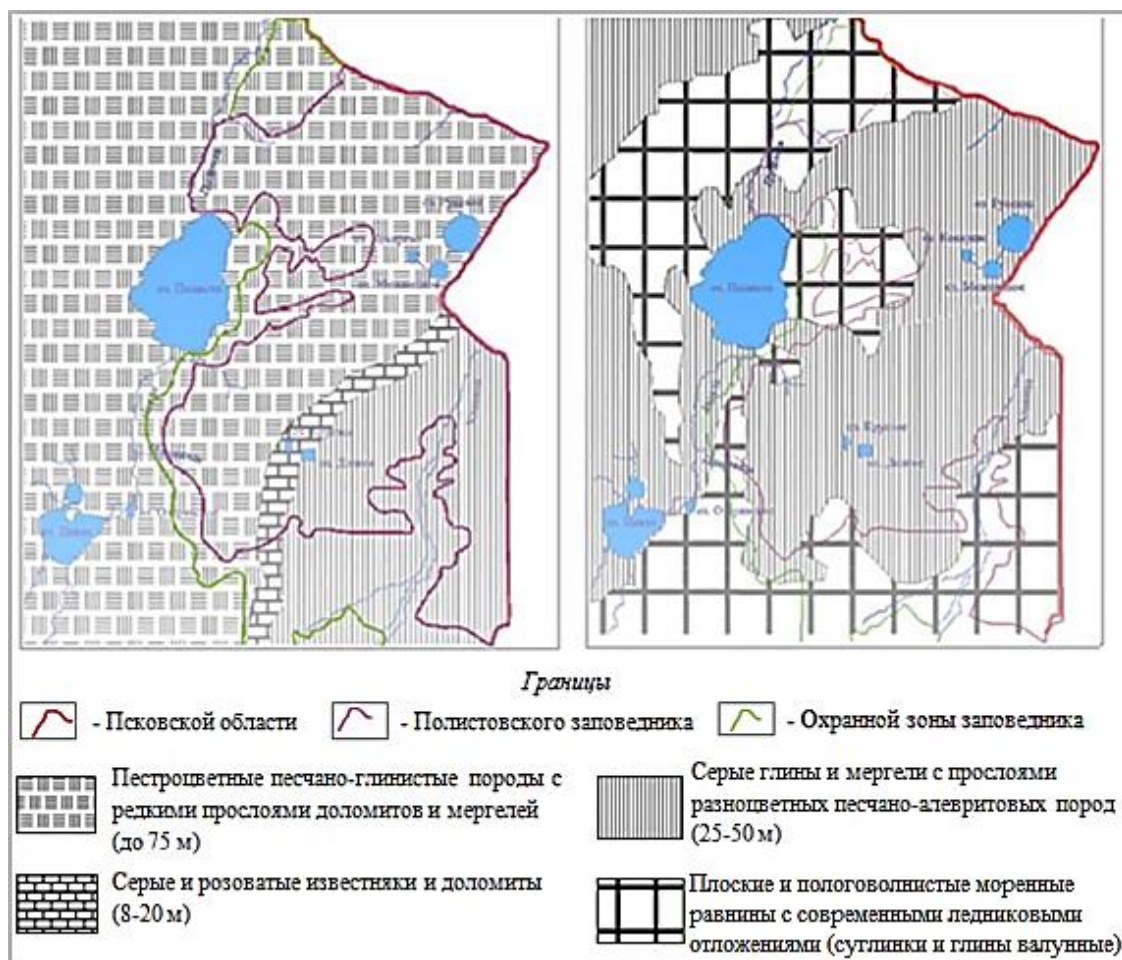


Рисунок 1.4. Геологическое строение и рельеф территории [5, с дополнениями автора]

В южной части Полистовского заповедника узкой лентой протягиваются серые и розоватые известняки и доломиты (8–20 м, рис. 1.4). Распространены

озерно-ледниковые отложения: холмы и гряды, в основном песчаного и супесчаного состава (особенно в Радиловском болотном массиве).

Стратиграфия озерных отложений различна (табл. 1.2). Сапропель из органических остатков образует ложное дно, под ним – слой тонкодетритового сапропеля (0,25–0,6 м толщины), ниже – глинистый сапропель (мощностью 0,2–0,7 м; в Русском озере он отсутствует).

Таблица 1.2 – Стратиграфия и состав торфа под различными растительными сообществами (составлено автором по данным [11])

ПК	Компоненты ПК	Мощность торфа, м	Название слоев – мощность торфа, м
Грядово-мочажинные	Пушицево-шейхцериевые мочажины	Средняя – 1,8	Куспудатум – не более 0,5 Балтикум+ангустифолиум+магелланикум – 0,5-1,3 Магелланикум (+балтикум, ангустифолиум) Сосново-пушицевый
	Пушицевые мочажины		Куспудатум (+dusenii) – 1 Куспудатум+балтикум+апикулатум Шейхцериевый лесной
	Вторичные мочажины		Магелланикум+мочажинные элементы – 0,5-1 Шейхцериевый верховой – 1 Лесной
	Гряды 1 типа	1,5 и более	Фускум – тонкий Магелланикум
	Гряды 2 типа		Магелланикум+фускум – тонкий Магелланикум
	Гряды 3 типа		Фускум – 2,5 Магелланикум
Вершинные сосново-сфагновые		4–5	Фускум. Тонкий Магелланикум. 2–3 Лесной
Озерно-денудационные		Более 5,5	Куспудатум+балтикум+фускум – 1 Фускум+куспудатум+балтикум – 2 Шейхцериевый – 1-2,5 Лесной (сосново-пушицевый, черноольховый, березово-осоковый)

Геоморфология. Район находится в центре Приильменской низменности (98,0–100,7 м н.у.м.), в доледниковых депрессиях, среди девонской низины [224]. Плоские слабовыпуклые болотные равнины (Полистово-Ловатская) имеют уклон к северо-северо-востоку, отличается многовершинностью. Максимальная вершина расположена на юго-востоке от озера Межницкого (100,7 м). Для региона характерна хорошая сохранность форм рельефа, созданных Валдайским оледенением, и относительная молодость ландшафтов [94]. Внутри болотных массивов множество локальных возвышенностей, «курганобразных песчаных

холмов, разбросанных поодиночке среди равнины» [11]. Это минеральные острова – не погребенные под слоем торфа выступы минерального дна болота, сложенные послеледниковыми моренными отложениями (рис. 1.5). Вне болотных массивов находится «минеральное побережье», не перекрытое болотными отложениями.



Рисунок 1.5. Схема геоморфологического строения Полистово-Ловатской болотной системы. 1 – минеральный берег, 2 – минеральный остров, 3 – внутриболотное озеро, 4 – донная морена, 5 – коренная порода [225]

Климат района умеренно-континентальный, близкий к морскому, формируется под воздействием атлантических, арктических, континентальных воздушных масс в условиях повышенной циклональной деятельности. Выражена сезонность температуры и недостаток тепла с избытком влаги. Характерны микроклиматические болотные особенности: высокая влажность воздуха и перегревание летом. Приведены данные метеостанции Сущево [226]: среднегодовая температура воздуха $+4,9^{\circ}\text{C}$, средняя температура января $-8,1^{\circ}\text{C}$ (абсолютный минимум $-41,0^{\circ}\text{C}$), июля $+17,2^{\circ}\text{C}$ (абсолютный максимум $+35,0^{\circ}\text{C}$); в среднем в году 184 дня с осадками; годовое количество осадков – 685–700 мм. Более 50% их приходится на позднюю весну и раннее лето (рис. 1.6). Летом дожди кратковременные, в месяц 12–17 дней с дождями, 10 ясных, 5–8 – с туманами [224]. Осенью пасмурная погода с продолжительными туманами (12–14 дней в месяц) и осадками в виде затяжных морозящих дождей, в ноябре часто в виде мокрого снега. Зимой преобладает пасмурная погода (10–28 дней в месяц) с частыми (5–7 дней) оттепелями и гололедом, метелью (5–10 дней), туманом (5–15 дней), первые заморозки – 18 сентября, последние – 18 мая.

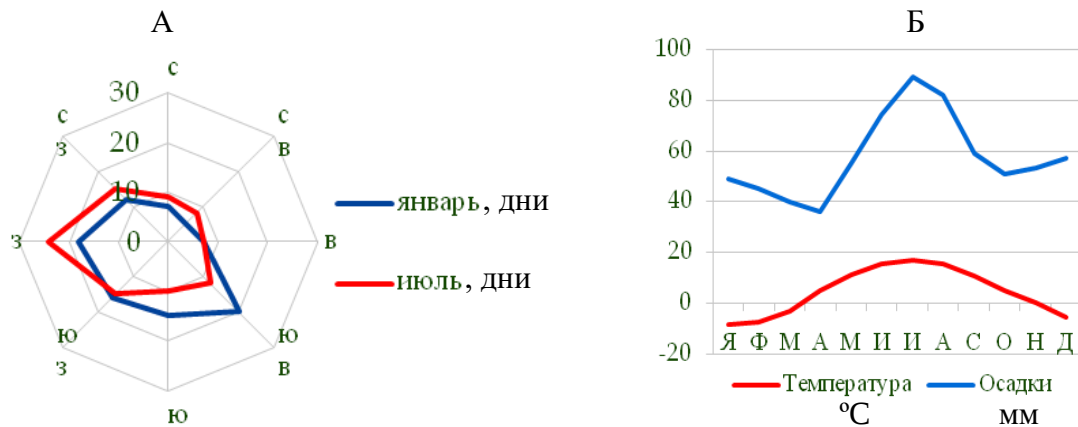


Рисунок 1.6. Повторяемость направлений ветра в январе, июле, метеостанция Сущево (А).
Годовой ход температуры и осадков (Б). Построено по [226]

Безморозный период – 143 дня. За 175 дней вегетационного периода (с 16 апреля по 8 октября) выпадает 400–430 мм осадков (60% годовой нормы). Устойчивый снежный покров (20–25 см) обычно устанавливается 14 декабря (реже – 11 ноября) и сохраняется 110–120 дней. Его разрушение длится с марта по 25 апреля. Почвы промерзают максимум на 50 см. Реки замерзают в начале декабря, вскрываются в начале апреля. Штиль не превышает 5 дней в году, остальные дни – ветреные [88]. Преобладают слабые и умеренные ветры (максимум 4–4,5 м/с), сильные – редко. Ветры зимой в основном юго-восточные и западные, а летом – западные и юго-западные (рис. 1.6) со скоростью 2–6 м/с. Среди нечастых опасных климатических явлений сильный ветер скоростью до 16–20 м/с возникает в среднем 1 раз в год, до 19–23 м/с – 1 раз в 5 лет. Гроза средней продолжительностью 1,7 часа – 23 дня в году; град в среднем 1,9 дней в году, до 6 дней в году [88].

Гидрография. Район расположен в междуречье рр. Полисть и Ловать, впадающих в оз. Ильмень, которые занимают центральное место в регуляции гидрологического режима Северо-Запада РФ. Основная территория Полистовского заповедника занята верховым болотом с множеством озер и малых рек. Питание болота происходит за счет атмосферных осадков, со стороны минеральных грунтов водное питание невелико, в отдельных частях торфяника оно значительно. Главный фактор высокой заболоченности (29,8%) в условиях присутствия глинистого водоупора подстилающих пород – грунтовые воды [11]. Дренирующая роль рек незначительна (вследствие равнинного рельефа и

невыраженных русел). По режиму реки восточно-европейского типа с преимущественно снеговым питанием, весенним половодьем (март-апрель). Осенью начинается медленный подъем уровня воды от дождей. Высота осеннего паводка (до первых льдов на реке) ниже весеннего половодья. На сильно заболоченных реках Полистовского заповедника (Редья, Полисть) летне-осенний сток обычно высокий и составляет 30-39% годового стока.

Естественные водоемы и водотоки на территории Полистовского заповедника занимают около 2% территории. Характерно также наличие мелких озер и рек, берущих начало на болоте, берега большинства из них заболочены и покрыты осоками. Полистово-Ловатская болотная система участвует в питании рек, среди которых наиболее крупные Полисть, Ловать, Редья, Порусья, Цевла (рис. 1.7), менее протяженные – Хлавица, Плавница, Страдница, Осьянка. Густота речной сети – 0,84 км/км². Реки заповедника имеют невысокие берега и извилистые русла. Реки бывают открытые (остаточные), погребенные и подмоховые; озёра – первичные (остаточные) и вторичные. Река Порусья вытекает из Русского озера открытым руслом шириной 1,5 и глубиной 0,8 м. Через 0,8 км открытое русло прерывается, поглощенная «окнищем» вода течет 6 км во внутризалежном русле.



Рисунок 1.7. Река Цевла (А). Выходы вод на шейхцериево-сфагновой топи близ истока р. Плавница (Б). Фото: Экспедиция, 2009

Водным объектам болотных ландшафтов характерны две важные особенности: 1) заметное подкисление воды в направлении вода озер и открытых

русел рек → вода мочажин, западин и топей; 2) в этом же направлении происходит снижение содержания молекулярного кислорода и повышение величины перманганатной окисляемости [87, 145].

В Полистово-Ловатской системе 20 озер [145], среди которых преобладают первичные (остатки прежних озёр или водотоков с лимническими торфяными отложениями), есть вторичные (образовались в процессе развития торфяника) и переходные (остатки речек, протекавших по торфяному дну). Грунтовые воды расположены в толще торфа: это погребённые водоёмы, водные интрузии, водные жилы и прослойки.

Озера дренируют прилегающую территорию, питаются грунтовыми водами торфяника, уровень воды в них постоянен в течение года. Параллельно берегам некоторых озёр имеются озерки или мочажины-озерки (глубиной до 3 м).

Крупные внутриболотные озера немногочислены и приурочены в основном к остаточным котловинам в понижениях озерно-ледниковых равнин, имеют округлую форму с средней глубиной 2–3 м (до 5 м) и низкие, часто заболоченные берега, плоские, заполненные толщей ила, нередко торфянистого. Северная группа озер состоит из трёх озёр: Русского (390 га), Межницкого, Кокоревского, когда-то бывших единым целым [86]. У озёр южной группы (Круглое и Долгое), наряду с размыванием берегов, наблюдается зарастание мелководных заливов, особенно с западной стороны (рдестом, кубышкой желтой).

У крупных окраинных озер дно сложено песком или опесчаненным илом. Озера Полисто и Цевло образовались на месте древнего озерно-ледникового водоема [86]. Озеро Полисто проточное, в него впадает р. Цевла, вытекающая из одноименного водоема. Озеро Полисто, р. Цевла и прибрежные территории образуют прилегающий к заповеднику памятник природы площадью 8206,1 тыс. км². Лишь северная часть озера входит в территорию заповедника.

Все водоёмы и водотоки Полистовского заповедника полигумозные, мягководные, с кислой реакцией среды [145]. Они относятся к группе параолиготрофных водоёмов: вода богата гуминовыми веществами, придающими ей коричневый оттенок (рис. 1.7). В водоемах с высокими значениями индексов

цветности ($CI > 100^\circ Pt$), как известно [196], процесс оглеения сопровождается выщелачиванием Fe, Mn, Al и обогащением вод множеством микроэлементов, включая их лабильные фракции. Согласно данным табл. 1.3, вода озерков, мочажин и внутриболотных речек отличается минимальными значениями pH, общей жесткости, растворенного кислорода. Особенно сильно от значений pH зависит миграционная активность таких элементов, как Cr, Al, Fe [196], подвижность которых в кислой среде возрастает.

Таблица 1.3 – Гидрохимическая характеристика водоемов и водотоков Полистово-Ловатской болотной системы [87, 145]

Название водного объекта	pH	Общая жесткость, мг-экв./л	Содержание растворенного кислорода, мг O ₂	Перманганатная окисляемость, мг O/л
Оз. Полисто	6,8	0,63	9,8	45,0
Оз. Русское	5,5	0,22	9,8	58,9
Оз. Межницкое	4,9	0,23	8,8	57,9
Оз. Островисто	5,2	0,22	12,1	66,5
Оз. Домшинское	4,8	0,21	12	62,5
Оз. Корниловка	5,5	0,25	9	65,0
Оз. Круглое	5,3	0,28	9,7	58,9
Оз. Долгое	5,3	0,26	6,9	55,8
Р. Хлавица («окна» между подмоховыми участками)	5,2	0,2	1,0	69,8
Р. Хлавица (открытое русло)	5,4	0,2	2,2	63,4
Озерко Хлавицкая пронница	4,2	0,18	5,6	69,8
Мочажины грядово-мочажинных комплексов	4,0	0,08	5,9	70,0
Обводненные участки переходной топи	4,5	0,2	9,6	128,5
Западины в черноольшаннике	4,5	0,3	0,5	142,5

Вода окраинных озер имеет более высокие значения pH и общей жёсткости. Гидрохимические показатели воды оз. Полисто различаются по сезонам года. В летний период температура, прозрачность воды, процент насыщения кислородом и содержание гуминовых кислот выше, чем осенью. Перепроизводство органического вещества, высокая перманганатная окисляемость и содержание гуминовых кислот при относительно малой концентрации кислорода в воде и кислой реакции среды, зимой может вызвать гумификацию органики и разложение солей продуктами этого процесса. Это приводит к уменьшению общей минерализации воды и служит показателем процесса дистрофикации.

Малое количество ионов фосфатов и нитратов – следствие использования их зелеными и сине-зелеными водорослями в питании. В связи с осенним и зимним замедлением фотосинтеза, преобладанием процессов окисления органики, снижается содержание кислорода, идет накопление углекислоты подо льдом, что может приводить к заморам рыб. Для уменьшения данного процесса необходима организация в ледяном покрове «окон».

Болотные экосистемы интересны формированием **почвенного покрова** интразонального и аazonального характера. Согласно данным [57], типы торфяных почв относятся к автохтонному органогенно-аккумулятивному тренду, бурые лесные – к автохтонному тренду почвообразования.

В **почвенном покрове** Полистовского заповедника преобладают торфяные олиготрофные почвы, распространены торфяно-глеевые почвы, торфяно-глееземы, встречаются болотные торфяные эутрофные. На хорошо дренированных моренных возвышенностях формируются автоморфные буроземы, ржавоземы, дерновые остаточные-карбонатные. В зоне распространения низинных и переходных болот (северная прибрежная часть оз. Полисто) почвы болотные торфяные с постоянным избыточным увлажнением, смешанными и жесткими почвенно-грунтовыми водами. В лесных массивах – дерново-подзолистые, по долинам рек – аллювиальные почвы. Торфяные почвы по классификации почв 2004 года [152] относятся органогенному (торфяные олиготрофные) и постлитогенному (торфяно-глееземы) стволам. Преобладающие торфяные олиготрофные почвы формируются при постоянном избыточном увлажнении на верховых болотах с мощностью торфа 0,5–2,0 м и более. Почвы имеют очень кислую реакцию среды ($pH=2,8-3,8$), их профиль состоит из органических горизонтов. Бедность данных почв элементами минерального питания связана с малым поступлением насыщенных элементами вод в центральные части торфяников, отсутствием восходящих токов и замедленным разложением остатков. Торфяно-глееземы Т–Г–СГ (отдел глеевые почвы) сочетаются с наиболее распространенными торфяными олиготрофными почвами и формируются на понижениях водоразделов, где глинистый водоупор создает

препятствие для оттока влаги. Эти почвы имеют мощный (30-50 см) торфянистый слой из слабо- и полуразложившихся остатков болотных растений, ниже которого находится прокрашенный потечным гумусом минеральный глеевый горизонт. Формируются на суглинках, подтип потечно-гумусовые – на песчаных отложениях. Главные элементарные почвенные процессы (ЭПП): торфообразование, глееобразование. Накапливающееся органическое вещество фульватного типа служит энергетическим материалом для анаэробной микрофлоры (железо-редуцирующие, денитрифицирующие, десульфуризирующие микроорганизмы).

Полноценное почвообразование проходит под еловыми сложными лесами (с лещиной, липой, кленом и дубо-травяным покровом) или осиновыми и березовыми дубравно-травяными лесами, производными от сложных ельников. Уникальность минеральных островов состоит в том, что на этих изолированных образованиях, под лесами из ели, березы и сосны, реже дуба и липы, формируются нетипичные для данной местности типы автоморфных почв: бурозем типичный, ржавозем типичный, дерново-буро-подзолистая типичная и дерновая остаточно-карбонатная почвы. Автоморфные буроземы, ржавоземы, дерновые почвы формируются при хорошем дренаже, высоких значениях гидротермического коэффициента ($ГТК > 1$) и не имеют в своем профиле признаков оподзоливания, элювиальные процессы, такие как кислотный гидролиз и оглеение, данным почвам не свойственны. Дерново-буро-подзолистые почвы отличаются слабым проявлением подзолистого процесса и текстурной дифференциации профиля.

Буроземы АУ-ВМ-С (отдел структурно-метаморфические почвы) отличаются наличием рыхлого гумусового горизонта, который сменяется бурым структурно-метаморфическим горизонтом, отсутствием иллювиирования глины или слабым его проявлением. ЭПП, характерные для буроземов: 1) накопление гумуса фульватного типа (с преобладанием форм, связанных с Ca, Al, Fe); 2) выщелачивание карбонатов и легкорастворимых солей; 3) оглинение (сиаллитизация) *in situ* по гидрослюдно-иллитовому типу: внутрипочвенное

выветривание первичных алюмосиликатов с образованием глины сиаллитного состава, накопление глинистых частиц в метаморфическом горизонте ВМ.

Ржавоземы АУ–BFM–С (отдел железисто-метаморфические почвы) характеризуются залеганием под гумусовым горизонтом железисто-метаморфического горизонта BFM с непрочной структурой, сформированного за счет стадийных преобразований минеральной основы (выветривания на месте богатых железом первичных минералов) и ожелезнения (накопления красящих гидроксидов железа) *in situ*. Формируются под хвойно-широколиственными и широколиственными лесами на щебнистом элюво-делювии массивно-кристаллических пород и полиминеральных песках, что обеспечивает свободный внутрипочвенный дренаж и преобладание окислительной обстановки. По классификации почв 1977 года [152] соответствуют подтипам бурых лесных почв (буроземов). Характерные ЭПП: накопление грубого гумуса, железистый метаморфизм. Железистый метаморфизм – выветривание *in situ* богатых железом первичных минералов, накопление красящих гидроксидов железа.

Дерново-буро-подзолистые почвы АУ–BEL–BT–С (отдел текстурно-дифференцированные) отличаются наличием элювиально-метаморфического горизонта BEL, залегающего между серогумусовым и текстурным горизонтами. Формируются данные почвы под широколиственными и смешанными лесами на суглинистом элюво-делювии плотных пород. В них преобладают бурые тона за счет повышения количества красящих оксалаторастворимых форм оксидов железа [152], горизонт BT плотный темно-бурый ореховато-призматический, реакция среды кислая и слабокислая. По гранулометрическому и валовому химическому составу профиль дифференцирован по элювиально-иллювиальному типу. Возможно слабое оглеение, вызванное сезонным переувлажнением. По классификации 1977 соответствуют подзолисто-бурым лесным почвам (подтип – бурые лесные лессивированные), по зарубежной классификации – Luvisols [183]. ЭПП: гумусообразование, выщелачивание, лессивирование, оглинение (сиаллитизация) по гидрослюдно-иллитовому типу, накопление аморфных и окристаллизованных форм Fe и Al в горизонте АУ, псевдоподзоливание [9].

Данным почвам свойственно лессивирование (передвижение по профилю ила без его разрушения с формированием оптически ориентированной глины по трещинам и граням структурных отдельностей). При слабом проявлении подзолистого процесса данная почва является фаціальным подтипом буроземов.

Дерновые (серогумусовые) АУ–С (отдел органо-аккумулятивные) почвы характеризуются органогенным горизонтом, постепенно сменяющимся малоизмененной почвообразующей породой [152]. Формируются при участии травянистой растительности (под лугами или разреженными лесами с травянистым покровом) на рыхлых отложениях, элювии или делювии плотных пород любого минералогического и химического состава, как карбонатных (исследуемая почва разреза 5), так и бескарбонатных. Дерновые почвы на карбонатных породах по Классификации почв СССР 1977 года [54] соответствуют дерново-карбонатным почвам (или рендзинам). Для рендзин характерен малый абсолютный геологический возраст (последлениковский период формирования), хорошая дренированность территории. ЭПП: гумусообразование, постепенное выщелачивание легкорастворимых солей и карбонатов [9].

Растительность. По геоботаническому районированию район относится к Заполье-Поддорскому (Полистовскому) району зоны широколиственно-хвойных лесов, к Полистовскому болотному округу.

На охраняемой территории заповедника зарегистрировано 594 вида и гибрида сосудистых растений [120]. Среди редких и охраняемых в Псковской области – 20 видов растений (пальчатокоренник балтийский *Dactylorhiza baltica*, шпажник черепитчатый *Gladiolus imbricatu*, ирис сибирский *Iris sibirica*, мхи *Sphagnum lindbergii* и *Helodium blandowii*) и 1 вид грибов (ежевик коралловидный *Hericium coralloides*), которые занесены или готовятся к занесению в Красную книгу РФ. Список сосудистых растений включает в себя семейства злаковых *Sacrificia*, астровых *Asteraceae* и осоковых *Carex*. Бриофлора Полистовского заповедника состоит из сфагновых мхов *Sphagnum* (более 20 видов). На поверхности сфагнума встречаются слизистые массы сине-зеленых водорослей, из лишайников доминируют виды семейств *Cladoniaceae*, *Parmeliaceae*, *Usneaceae*.

Преобладающие растительные сообщества или микроландшафты водно-болотных ПК (сфагновые переходные топи, грядово-мочажинные, сосново-пушицево-сфагновые, вершинные сосново-сфагновые, озёрно-денудационные комплексы) описаны согласно Богдановской-Гиенэф (1969).

Сфагновые переходные топи встречаются крупными участками либо узкими полосами вдоль минерального побережья болота, островов и извилистые полосы с тростником *Phragmites australis* или осокой топяной *Carex limosa* с разреженным сфагновым покровом. Формируются при обильном потоке воды и застаивании осадков в условиях плохого дренажа. Растительность: мхи *Sphagnum magellanicum* и *Sph. angustifolium*, кассандра *Chamaedaphne*, подбел *Andrómeda*, кукушкин лён *Polytrichum strictum*. Распространенные растительные ассоциации: *Carex limosa* + *Menianthes trifoliata* – *Sph. obtusum*, *Scheuchzeria* – *Sph. majus* + *Sph. jensenii*. Топям характерна ровная поверхность, встречаются единичные кочки и берёзки *Betula pendula*. Среди газов, выделяемых отмершими остатками шейхцерии, преобладает метан [11].

Грядово-мочажинные комплексы (ГМК) как известно [11], формируются при уклоне 0,001–0,002 до 0,008. Растительность гряд: пушица *Eriophorum vaginatum*, сосна *Pinus sylvestris*, карликовая берёзка *Betula nana*, морошка *Rubus chamaemorus*, вереск *Calluna vulgaris*, кассандра, подбел; мочажин: пушица, шейхцерия, очеретник (*Rhynchospora alba*), подбел, осоки, росянки, мхи *Sph. balticum*, *Sph. cuspidatum*, *Sph. majus*. Часто в центре мочажин растительность деградирована, выходящий на поверхность торф покрыт налетом печеночников или сине-зелёными водорослями. Условиями формирования данных комплексов исследователи считают гидрологический, газовый режим, литологические или орографические особенности местности. Одной из гипотез возникновения ГМК как системы ориентированных преимущественно вдоль склона разломов является выход на поверхность болота газов и внутризалежных вод [143]. Развитие и конфигурация ГМК по разным мнениям, определяют особенности рельефа предболотной стадии развития, солифлюкционные процессы, неравномерное

распределение снежного покрова, сезонное промерзание и протаивание, изменение степени обводнения или иссушения торфа – ссылки даны в работе [17].

Сосново-пушицево-сфагновые биогеоценозы формируются при отмирании соснового леса вследствие возрастания увлажнения. Приурочены к хорошо дренированным участкам маломощной (глубиной до 2–3 м) торфяной залежи [11]. Преобладающая растительность: сосна форм *Litwinowii* и *Willkommii*, пушица, кассандра, подбел, мхи *Sphagnum magellanicum*, *Sph. angustifolium*, реже *Sph. fuscum*.

Вершинные сосново-сфагновые комплексы развиваются на вершинах болота и склонах со значительным уклоном. Сосна (в основном *Pinus litwinowii*); мхи *Sph. magellanicum*, иногда *Sph. fuscum*, *Sph. angustifolium*; пушица, морошка, кассандра, багульник *Ledum palustre*, подбел. Иногда покрытие голубики *Vaccinium uliginosum*, брусники *Vaccinium vitis-idaea* или морошки *Rubus chamaemorus* достигает 40–70%, пятен лишайников – 25% поверхности. Преобладающие ассоциации: *Pinus sylvestris* – *Calluna vulgaris* – *Sph. fuscum*, *Pinus sylvestris* – *Chamaedaphne calyculata* – *Sph. magellanicum* – *Sph. fuscum*. Зачатки мочажин с ассоциацией *Eriophorum vaginatum* – *Sph. angustifolium* + *Sph. balticum*.

Озёрно-денудационные комплексы (ОДК) приурочены к ровным участкам с ослабленным стоком и характеризуются большим содержанием газов в верхней части толщи залежи. На грядах мхи *Sph. rubellum* и *Sph. fuscum*, вереск, пушица, кассандра, пятна лишайников, редкая сосна высотой меньше 1 м (формы *willkommii* и *pumila*), единичные берёзы *Betula pendula* высотой до 2,5 м. Мочажин 4 типа: сфагновые (шейхцерия *Scheuchzeria*, осока топяная *Carex limosa*, *Sph. cuspidatum*); черные или юнгерманиевые (с печеночниками *Gymnocolea inflata* и *Cephalozia fluitans*, иногда с отсутствием сфагнового покрова); денудированные пятна торфа черного цвета; мочажины с нетипичной растительностью (заросли шейхцерии, вахта и пушица узколистная (*Eriophorum angustifolium*)). Летом, в жаркие дни поверхность денудированных пятен, как и чёрных мочажин, покрывается крупными волдырями (10-13 см в диаметре и 2,5 см высоты), при прорывании которых выходит газ [11]. ОДК – временный регрессивный этап в

развитии болотных ПК, отличающийся массовой деградацией сфагнов. Сдувание снега зимой и промерзание болота, обеднение минерального питания повышений микрорельефа и долговременное весеннее оттаивание торфа, наличие жил с медленно текущей водой являются факторами регрессивных явлений. Из-за ухудшения стока, обусловленного эволюцией самого болотного массива, и повышения влажности, к конечной стадии ОДК формируется разложившаяся торфяная прослойка (степень разложения 25-30%). Прослойка, улучшая условия азотно-минерального питания растений, способствует восстановлению сфагнового покрова.

Пространственная и временная изменчивость растительного покрова, рельефа поверхности болота может быть унаследована от изменения рельефа, почв и растительности предболотной стадии развития территории (ссылки на первоисточники приведены в работе С.В. Васильева [17]).

Минеральные острова и окраины болота заняты лесами. Соотношение основных лесообразующих пород облесенных участков показаны на рис. 1.8. Изолированность минеральных островов, не подверженность растительных сообществ флуктуационным изменениям позволяют изучать естественное развитие лесов. Эдификаторным в данных сообществах является древесный ярус (ельники, березняки, сосняки, реже дубравы), в окружающих болотных биогеоценозах – сфагновые мхи.

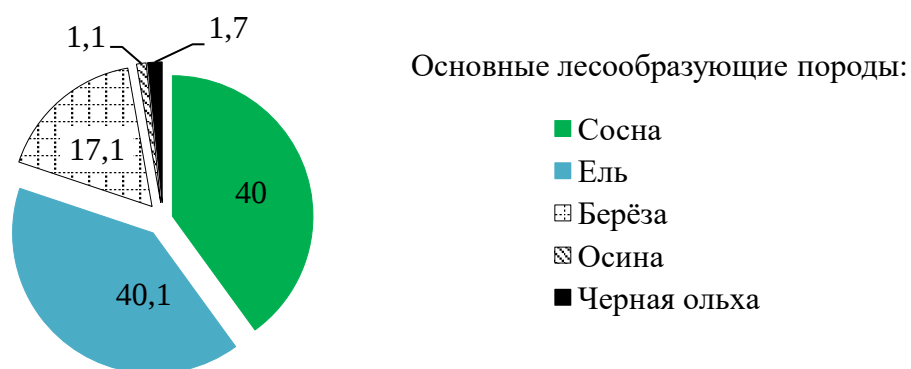


Рисунок 1.8. Соотношение (%) основных лесообразующих пород по [224]

Фауна Полистовского заповедника принадлежит к Европейско-обской подобласти Европейско-сибирской области подцарства Палеарктика

Голарктического (бореального) царства [3]. В приболотных лесах обычны волк, медведь, рысь, косуля, кабан, лось, бородатая неясыть, глухарь, ореховка, поползень, зелёная пересмешка, щегол и др. Полистовский заповедник относится к ключевым орнитологическим территориям. Здесь обитает самая большая в Европе популяция большого кроншнепа (более 1,5 тыс. гнездящихся пар), занесенная в Красную книгу РФ.

Орнитофауна болотного массива подвергалась антропогенному воздействию в меньшей степени благодаря труднопроходимости болота и слабой населенности приболотных земель. Поэтому здесь сохранились на гнездовье редкие виды птиц, исчезнувшие из большинства других районов Псковской области: беркут, дербник, скопа, большой и малый подорлик, чернозобая гагара, черный аист, серый журавль, белая куропатка, большой кроншнеп, золотистая ржанка, серый сорокопут, среднерусская белая куропатка. Почти все эти птицы занесены или готовятся к занесению в Красную книгу РФ.

Орнитофауна Полистовского заповедника и окружающих его территорий в 2012 г. насчитывала 200 видов из 17 отрядов [147]. Среди птиц доминируют отряды воробьинообразных, ржанкообразных соколообразных. В заповеднике и охранной зоне 36 видов млекопитающих, из которых редкие: рыжая вечерница и летяга и европейская норка [224]. В фауне широко представлены лесные виды животных: глухарь, рябчик, длиннохвостая и бородатая неясыть, вяхирь, желна и трёхпалый дятел, кедровка европейская, желтоголовый королек, лесная завирушка, весничка, дрозд белобровик, пухляк, снегирь, заяц-беляк, волк, лисица, бурый медведь, рысь, горностай, лось, бурозубки, белка. Виды широколиственных лесов: поползень, зяблик, пеночка-трещотка, зелёная пересмешка, певчий дрозд, черноголовая и садовая славки, хохлатая синица, щегол; дальневосточных хвойно-широколиственных лесов: седой дятел, иволга, малая мухоловка и зелёная пеночка. Среди наземных позвоночных: лесная мышь, рыжая полёвка, крот, обыкновенный ёж, лесная куница, чёрный хорь, кабан и европейская косуля, из земноводных – травяная лягушка [88].

Вторичные мелколиственные леса обеспечивают хорошую кормовую базу хищникам: волку, лисице, енотовидной собаке, встречаются чёрный коршун, канюк, большой подорлик, зяблик, весничка и трещотка, большая синица и др. Первичные мелколиственные леса (черноольшанники) интересны в орнитофаунистическом отношении: кулик-черныш, белоспинный дятел и черноголовая гаичка, водяная полёвка, кутора и американская норка. Еловые леса населены представителями бореальной фауны: трёхпалый дятел, желтоголовый королёк, завирушка лесная, снегирь, ястреб-перепелятник, рябчик, вальдшнеп, кукушка обыкновенная, зяблик, зарянка и трещотка. Ельник с примесью широколиственных пород и с подлеском из лещины населяет ореховка. В елово-мелколиственных лесах обнаружена синица московка.

На минеральных островах 43 вида птиц (беркут, чеглок, дербник, вальдшнеп, черныш, бекас, чирок-свистунок, белоспинный и большой пестрый дятлы, иволга, скворец, рябинник, пеночка-трещотка, лесной конек). Из млекопитающих: красная полевка, средняя бурозубка. Фауна водоёмов и водотоков не богата по видовому составу (из-за низкой минерализации, повышенной кислотности и содержания гуминовых веществ). В оз. Полисто, кроме щуки, окуня, судака, леща и плотвы, обитают чехонь, синец, ерш, язь, налим. В южных притоках оз. Ильмень (рр. Полисть, Ловать и др.) ихтиофауна носит озерно-речной характер (более 20 видов рыб), в системе озеро–болото обитают плотва, окунь, щука, налим, елец, язь, гольян, укляя, вьюн, девятииглая и трехиглая колюшка, ерш. В системе река–озеро – снеток, пескарь, лещ. Редки для всей системы обыкновенный подкаменщик (Красная книга России), речная минога, европейская ряпушка, голавль, чехонь, речной угорь, пестроногий подкаменщик. В озёрах обитают окунь и щука (устойчивые к кислотным воздействиям). Зоопланктон озёр и рек состоит из коловраток, ракообразных. В оз. Круглом: стрекозы, ручейники, хирономиды, жесткокрылые, плавунец широчайший (*Dytiscus laticimus*) вид хирономид (*Endochironomus donatoris*), поденка *Leptophlebia vespertina* [224]. Орнитофауна однообразна: кряква, чирок-свистунок, хохлатая чернеть, чернозобая гагара, перевозчик, фифи, на пролёте

отмечаются лебедь-кликун, свиязь, изредка чомга и большой крохаль, скопа. В водоёмах отмечены тритон обыкновенный, травяная, остромордая и прудовая лягушки. Серая жаба достаточно многочисленна, чесночница встречается редко. Обычными видами териофауны являются европейский речной бобр, речная выдра и американская норка. Из акклиматизированных видов встречается ондатра, в прибрежной полосе часто охотится енотовидная собака [204].

Птицы, встречающиеся на верховых болотах Полистовского заповедника, входят в состав трёх групп: регулярно гнездящиеся на верховых болотах (белая куропатка, золотистая ржанка, средний кроншнеп и серый сорокопут, чибис, большой кроншнеп, полевой жаворонок, жёлтая и белая трясогузки, луговой чекан и большой веретенник, тетерев, дербник, беркут, козодой, чёрный стриж, серая ворона, лесной конёк, сорокопут-жулан и пеночка-весничка), на переходных и низинных болотах (серый журавль, большой улит, фифи и луговой конёк), регулярно гнездящиеся на верховых болотах (перевозчик, гаршнеп, бекас, болотная сова, глухарь, чеглок, кобчик, черныш, ушастая сова, иволга, скворец, большая и хохлатая синицы, пухляк и зяблик, кликун, белолобый и серый гуси, большой крохаль), добывающие на болоте корм в гнездовое время (болотный и луговой луни, серебристая чайка, большой пёстрый дятлы, деревенская ласточка). В пролётное время встречаются чомга, кликун, белолобый и серый гуси, большой крохаль, в зимний период – тетерев, рябчик, большой пестрый и седой дятлы, сойка, лазоревка, большая и хохлатая синицы, пухляк и чечётка. Из крупных млекопитающих на болотах Полистовского заповедника регулярно встречаются лось, кабан, бурый медведь, пересекающие болотные массивы в поисках корма. Суходольные луга населяют серая славка, лесной конёк, жёлтая трясогузка, речной сверчок, болотная камышевка, камышевка-барсучок, соловей, чечевица; редкие: пустельга, коростель, бекас, полевой жаворонок, обыкновенный сверчок, садовая славка, теньковка, белобровик. На заливных лугах – чибис, большой и средний кроншнепы, бекас, дупель, травник, поручейник, большой веретенник, а также канюк, болотный лунь, желтоголовая трясогузка, серая ворона, речной сверчок, желтая трясогузка, болотная камышевка и серая славка, тетеревиный,

перепелятник, зимняк, серый сорокопут, сорока, обыкновенная овсянка, белые куропатки. Обычны гадюка, живородящая ящерица; лось, косуля, кабан, заяц-беляк, американская норка и енотовидная собака, полевая мышь, желтогорлая мышь, полёвка, пашенная (тёмная) полёвка, подземная полёвка.

По сравнению с окружающими ландшафтами фауна болотного массива Полистовского заповедника подверглась антропогенному воздействию в меньшей степени, чему способствовали слабая населенность приболотных земель, труднопроходимость болота и его малая привлекательность для людей.

1.2.2. Радиловский массив

Радиловский болотный массив (68,8 км²) расположен в Порховском районе Псковской области.

Геологическое строение. Территория сложена пермскими отложениями – известняками, доломитами, мергелями, песчаниками, распространены озерно-ледниковые отложения. Выделяются отложения вепсовско-крестовской и лужской стадий. По низменностям 1–2, реже 3 моренных горизонта.

Геоморфология. В геоморфологическом отношении район относится к моренным озерно-ледниковым равнинам. Участок приурочен к Хиловской низине с отрогами Лужской возвышенности с преобладающими высотами 0-100 м и имеет обилие моренных гряд и холмов в основном песчаного и супесчаного состава [83]. Отроги Лужской возвышенности сочетаются с ландшафтами Хиловской низины с преобладающими высотами 0-100 м.

Климат. Среднемесячная температура воздуха +3,8°C января – -8,3°, июля +16,9; абсолютный минимум –41,0°C, максимум +35,0°C (станция Струги Красные). Количество осадков (700 мм) несколько большее, чем для окрестностей. Умеренно холодная зима, умеренно теплый вегетационный период, минимум солнечной радиации приходится на декабрь, максимум – июнь. Минимум температуры приходится на январь, максимум – июль. В году дней с устойчивым снежным покровом 120-130 (на 10 дней больше по сравнению с территорией Полистовского заповедника).

Гидрография. Реки относятся к бассейну р. Шелони, впадающей в оз. Ильмень. Наиболее крупные реки – Коломенка, Шелонь, Удоха. Речная сеть молодая, у рек отсутствует либо слабо выражена пойма, обилие мелких притоков, не выше 3-4 порядка. Густота речной сети – 0,96 км/км². Иногда реки протекают в унаследованных долинах, развиваются не в своих аллювиальных отложениях, а текут по поверхностям болотного происхождения. Малые реки имеют малые скорости размывов – сантиметры в год и менее, что не характерно для других малых рек. Питание рек Радиловского массива и Полистовского заповедника смешанное, преимущественно снеговое. Талые снеговые – 45-50%, дождевые и подземные – 23-25%. Русла рек загрязнены иловыми заносами, песком, берега активно зарастают. Крупное Радиловское озеро со средней глубиной 1,5 м и максимальной – 4 м [87] – проточное, из него вытекает р. Удоха. Подобно водоемам Полистовского заповедника, озеро Радиловское часто испытывает процессы дистрофикации в летнее время [83].

Растительность болот соседствует с лесной растительностью, обычны заболоченные леса и леса со сфагновым и лишайниковым покровом. По лесорастительным условиям территория относится к Стругокрасненскому сосново-еловому песчано-суглинистому району холмисто-котловинных камовых комплексов [116]. Для растительности болот характерно доминирование западных видов: *Andromeda*, *Myrica gale*, частая встречаемость видов с юго-западным акцентом распределения: *Sphagnum tellenum*, *Sphagnum cuspidatum*. Многие восточные виды теряют свое значение или выпадают (*Sphagnum balticum*, *Cassandra*), наблюдается инверсия экологии некоторых видов [70].

Преобладающие **гидроморфные почвы** торфяные олиготрофные и торфяно-глеевые и торфяно-глееземы. **Торфяно-глеезёмы** в комплексе с торфяными почвами доминируют на Радиловском массиве. Они формируются в понижениях водоразделов, где глинистый водоупор создает препятствие для оттока влаги. Торфяные почвы формируются на песчаных отложениях, прокрашенных в своей верхней части в коричневый цвет затеками органического вещества из верхних горизонтов. Среди **полугидроморфных** почв на легких по

гранулометрическому составу породах преобладают дерново-подзолистые, подзолы. *Дерново-подзолистые* почвы распространены как зональный тип почв в южной тайге. Однако в пределах интразональных болотных ПК они имеют меньшее распространение – в комплексе с интразональными типами почв. В исследуемых дерново-подзолистых почвах подзолообразовательный процесс слабо выражен. С одной стороны, моренные возвышенности (озовые холмы и гряды высотой 2 м и более) и легкий гранулометрический состав почвенной толщи дренируют почвенный профиль. С другой стороны, водоупор в виде подстилающих глинистых отложений способствуют развитию оглеения и подзолообразования. Основные ЭПП: гумусообразование, оподзоливание, лессивирование, оглеение нижней части профиля, оглинивание по сиаллитному типу [9]. *Подзолы* формируются на небольших по высоте возвышенностях при подтоплении грунтовыми водами нижних горизонтов (ВС, С) и развитии глеевых процессов, выражающихся в переходе железа из окисных в закисные формы, что диагностируется по появлению сизоватого оттенка.

2. ОБЪЕКТЫ, МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Объекты исследования

Объектами исследования являются отдельные компоненты ПК (рис. 2.1), в частности почвы (рис. 2.2). Помимо общепринятых классификаций [54, 152], положенных в основу диагностики почв, ландшафтно-геохимические исследования опирались на адаптированную схему ранжирования почв района по ряду признаков (рис. 2.2). На рис. 2.1 исследуемые подзолы и торфяно-глеёземы отнесены к органогенным почвам, так как они имеют довольно мощные (от 8 до 30-45 см) верхние органогенные горизонты, состоящие из растительного опада или не полностью разложившейся растительности. При полевых исследованиях установлено сильное влияние этих горизонтов на почвообразовательные процессы и химический состав горизонтов и особенности миграции элементов на протяжении всего почвенного профиля.

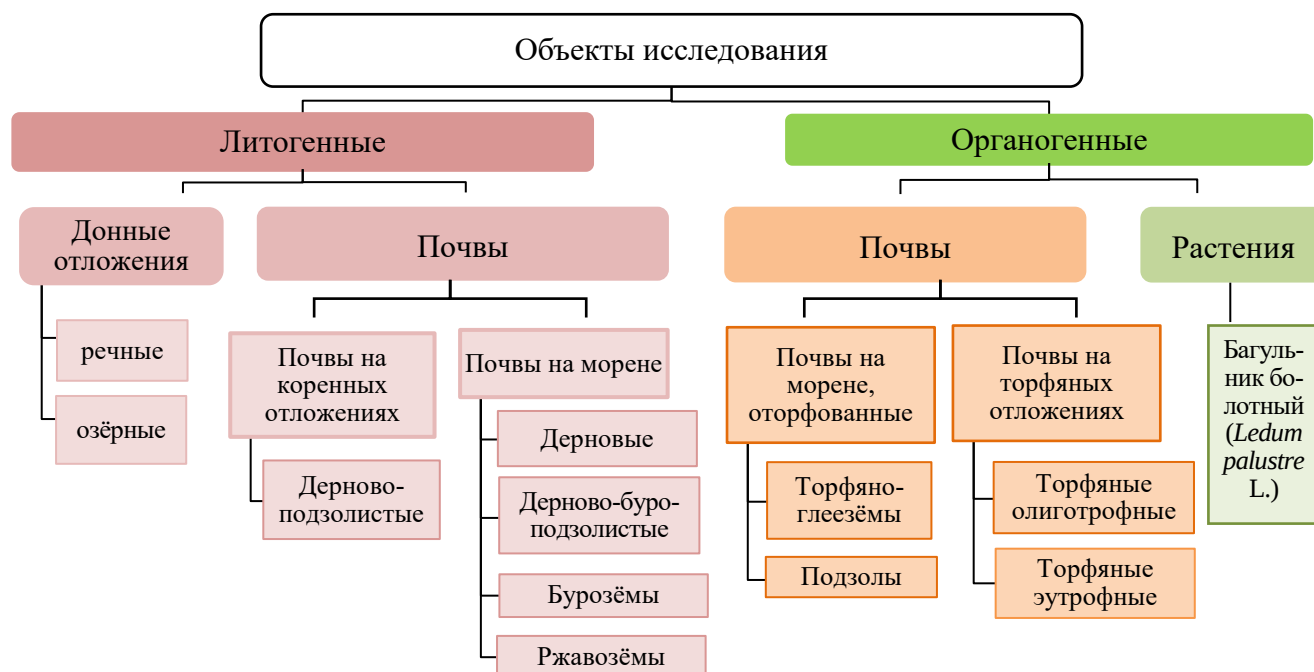


Рисунок 2.1. Классификация объектов исследования по генезису

При опробовании верхних 0-15 см учитывался состав материала, слагающего верхние горизонты почв. В связи с этим почвы разделены на торфяные и минеральные (рис. 2.2). По наличию или отсутствию трансформации пожарами торфяные почвы бывают естественные (не затронутые пожарами) и пирогенные (рис. 2.3).



Рисунок 2.2. Классификация исследуемых почв



Рисунок 2.3. Классификация торфяных почв по наличию трансформации пожарами

Классификация природных комплексов и ландшафтов в целом приведена на рис. 2.4.

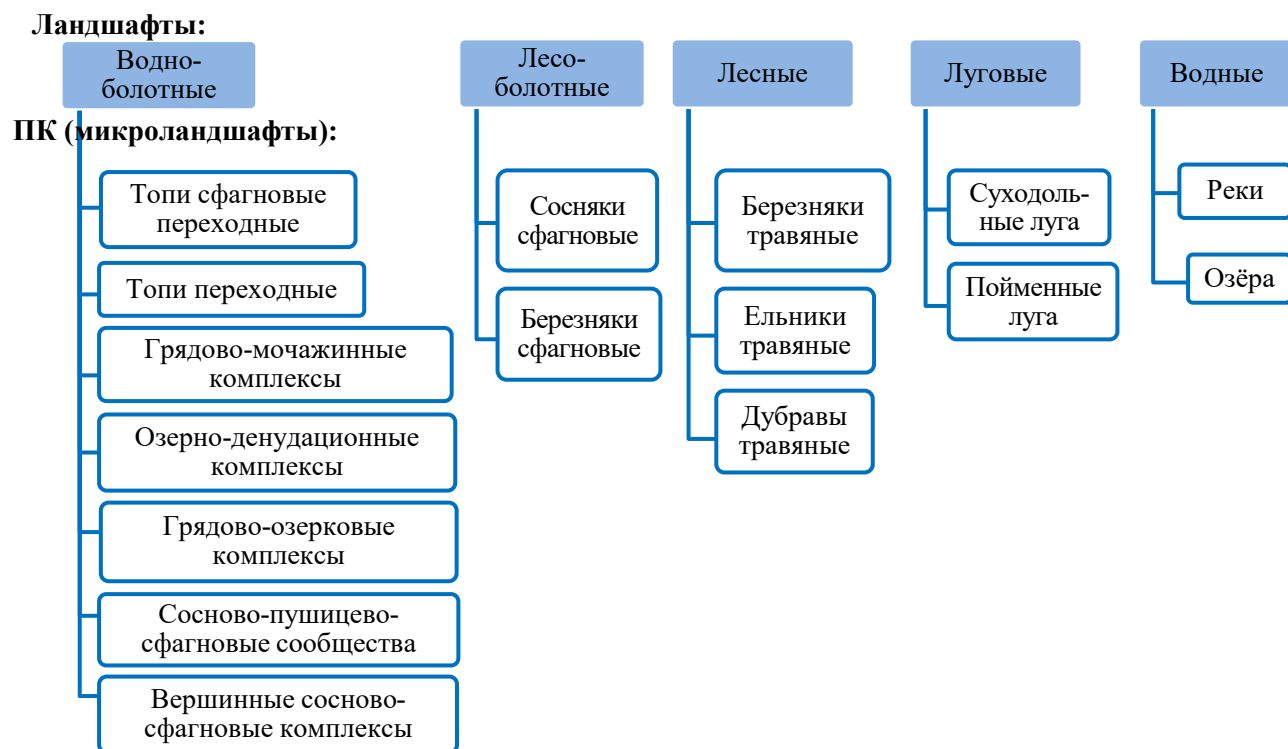


Рисунок 2.4. Классификация исследуемых ландшафтов

2.2. Методы исследования

Ландшафтные исследования проводились по классической методике через неровности рельефа. Уклоны измеряли глазомерно с помощью полевого нивелира. Нивелировка уточнялась данными геопозиционирования, полученными при помощи GPS-навигатора Garmin. Ландшафтные профили построены в программе Corel Draw. Серия физико-географических профилей с ключевыми участками (КУ) заложена с целью характеристики ландшафтной структуры и экологического состояния ПК. Размеры КУ 10 м², их количество определялось сменой ПК. На КУ описана растительность, жизненное состояние древостоя. Индексы жизненного состояния (Ls) рассчитаны по формуле [89]: $Ls = (1S_0 + 2S_1 + 3S_2 + 4S_3 + 5S_{4-5}) / N$, где N – общее число деревьев на КУ, S₀₋₅ – классы жизненного состояния древостоя. В связи со значениями Ls, древостой ранжируются: здоровый (Ls = 1–1,5), ослабленный (1,6–2,5), сильно ослабленный (2,6–3,5), усыхающий (3,6–4,5), сухостой ($\geq 4,6$).

На профилях фиксировались смена растительных сообществ (фаций), характер склона, подтипы почв, подурочища (тип растительности в зависимости от рельефа), урочища (растительность определенных почв на конкретном элементе рельефа) и местность в целом. На основе выделения индивидуальных ландшафтов (А.А. Григорьев, Н.А. Солнцев, А.Г. Исаченко) и сходств между ними, проведено их объединение в типологические группы (Н.А. Гвоздецкий, В.А. Дементьев). Обработка цифрового материала, построение ландшафтной карты проведены с помощью программ GoogleEarth, ArcGIS QuantumGIS.

Для геохимических исследований использован комплекс методов (табл. 2.1). Применены полевые (профильные, генетические) и лабораторные (аналитические, геохимические) методы. Для диагностики почв отобраны пробы по почвенным горизонтам. Содержания элементов определялись в пробах, отобранных по глубинам 0–2,5, 2,5–5, 5–10, 10–15 см из почвенных прикопков и колонок донных отложений с помощью трубки ГОИНа ТГ-1. Исследуемая глубина была выбрана с целью оценки привноса тяжелых металлов с атмосферными осадками и поверхностным стоком. В почвах, донных отложениях и пробах зеленой массы

багульника болотного *Ledum palustre* определены содержания восемнадцати химических элементов. Шесть элементов (Ni, Cu, Pb, Zn, Cd, As) при увеличении концентраций являются приоритетными загрязняющими веществами [150]. Fe, Al – природные маркеры, геохимические циклы которых сопряжены во времени и пространстве с циклами ТМ; Mn, Fe – типоморфные элементы в почвах гумидных ландшафтов, которые входят в состав гидроксидов, сорбирующих элементы-сидерофилы [21].

Таблица 2.1 – Методы геохимических исследований

Вид работы:	вода	торф и почвы	донные отложения	багульник
<u>Отбор проб на анализ</u>				
а) физико-химических свойств	–	[48-50]	[47]	[95]
б) содержания метана	119	118	[47]	–
в) потока метана в атмосферу	Камерный метод [140]		–	–
<u>Анализ</u>				
а) содержания метана	Парофазный газохроматографический метод [118-119]			–
в) содержания макро- и микроэлементов	–	РФА; для торфа – экстракцией 1 н. ацетатно-аммонийным буферным раствором pH 4,8 и ААС	РФА	Кислотное ($H_2SO_4+HNO_3$) разложение и ААС [109]

Примечание: РФА – рентген-флуоресцентный анализ; ААС – атомно-адсорбционная спектроскопия; – (прочерк) – не проводилось

Для исследования потоков веществ в системе почва-растение были определены содержания микроэлементов в типичном для ландшафтов болот Псковской области багульнике методом разложения смесью кислот $H_2SO_4+HNO_3$ с последующим анализом полученных экстрактов на атомно-абсорбционном спектрометре «NOVAA300». Содержание Cu, Zn, Fe, и Mn в багульнике определялось в учебно-научной лаборатории геоэкологического мониторинга Санкт-Петербургского университета [92]. Накопления элементов растениями оценивали по коэффициентам накопления (Кн) и биологического опоглощения (КБП). Коэффициент биологического поглощения (КБП) – отношение содержания элемента в золе растения к его валовому содержанию в почве [73, 112]. Кн – разница между концентрацией элемента в сухой массе растения и содержанием

его подвижных форм в почве¹ [14]. Биогеохимическая активность вида (БХА) подсчитана как сумма значений КБП микроэлементов.

Для почвенной диагностики определены свойства почв: содержание $C_{орг}$ (по И.В. Тюрину), pH (потенциометрическим методом на pH-ионметре «Эксперт-001»), карбонаты (по С.А. Кудрину), ёмкость катионного обмена (ЕКО, по Бобко-Аскинази), гранулометрический состав (по Н.А. Качинскому, модификация С.И. Долгова и А.И. Личмановой). Корреляционный и дисперсионный анализ проводили в «Microsoft Excel 2010», Statistica 6.0, диагностику почв – по Классификации почв России [152], проводя соотношение с классификацией 1977 года [54] и WRB [183].

Валовое содержание элементов в образцах почв исследовали методом рентген-флуоресцентного анализа (РФА) на спектроскане «МАКС-GV»². Подвижные формы элементов экстрагировали 1 н. ацетатно-аммонийным буферным раствором с pH 4,8 [95] и далее определяли на атомно-абсорбционном спектрометре (ААС) «МГА-915»³.

Для оценки интенсивности оглинивания, способности почв к оструктурированию, профильной миграции элементов рассчитаны *коэффициенты*:
оглинивания по И.А. Крупенникову – $K_o = (a_r : b_r) / (a_n : b_n)$;
структурности по А.Ф. Вадюниной – $K_c = I \cdot 100\% / (MP + SP + KP)$;
выноса-накопления по Ковде – $K = (SiO_2 : R_2O_3 \text{ порода}) / (SiO_2 : R_2O_3 \text{ горизонт})$;
миграции – $K_m = (CaO + MgO) : Al_2O_3 \text{ горизонт} / (CaO + MgO) : Al_2O_3 \text{ порода}$;
индекс химического изменения – $CIA = Al_2O_3 \cdot 100\% / (Al_2O_3 + CaO^* + Na_2O + K_2O)$;
 отношения TiO_2 / Al_2O_3 ; $(CaO + MgO) / Al_2O_3$; $(Fe_2O_3 + MnO) / Al_2O_3$; SiO_2 / R_2O_3 ;
 отношение содержания элементов в верхнем и в нижнем горизонте: TOP/BOT.
 Расчет коэффициентов и ссылки на первоисточники приведены в работах [16, 130, 200, 204].

Определены кларки концентрации ($KK = C_i / K$) и рассеяния ($KP = K / C_i$) элементов, по их значениям построены геохимические спектры [18].

¹ Выбрана глубина проникновения основной части корней в месте отбора проб: 0–15(20) см

² Спектроскан «МАКС-GV» - производитель: ООО «НПО Спектрон», Санкт-Петербург

³ ААС с электротермической атомизацией «МГА-915», НПФ ГК «Люмэкс», Санкт-Петербург

На площадках мониторинга проведены натурные эксперименты с целью определения содержания и потоков **метана** с поверхности различных типов микроландшафтов и содержания метана в их компонентах: воде, почвах, донных отложениях. Отбор, подготовка, хранение и транспортировка проб в лабораторию осуществлялись по методике, изложенной в работе [140]. Пробы воды на содержание метана отбирались в поверхностном горизонте (10 см) в подготовленные для парофазного анализа стандартные стеклянные флаконы полной вместимостью 42 мл [119] и консервировались сулемой. Срок хранения таких проб – 20 дней при 4°C и 15 дней при температуре не выше 25°C. Хранение и транспортирование флаконов с пробами осуществляется в перевернутом положении [119]. Для отбора проб почв и торфа закладывались шурфы, в стенках которых с различных горизонтов мерником извлекали по 3 мл пробы. Донные отложения отбирали в прибрежной зоне с глубинами до 0,5 м с помощью трубки длиной 400 мм и диаметром 45 мм из прозрачного оргстекла с остро заточенными краями и фторопластовым поршнем (ТГ-1). Далее с различных слоев керна мерником извлекали по 1,5 мл донных отложений [47]. Отобранные пробы торфа, почв, донных отложений помещали в стандартные стеклянные флаконы, заполненные дистиллированной водой с консервантом – насыщенным раствором сулемы (HgCl_2). Поток метана измеряли с помощью накопительных камер-ловушек. При работе на водных объектах к камерам прикрепляли удерживающие их на плаву поплавки. Результаты измерений довольно точные, однако в режиме длительного накопления точность оценки потоков метана снижается, из-за изменения градиента концентраций [139]. При исследовании неглубоких участков водоемов и водотоков этот метод вполне применим.

Газохроматографическое определение метана выполнено в лаборатории Гидрохимического института в соответствии с требованиями [118–119], методом фазово-равновесной дегазации на хроматографе «Цвет-100» с пламенно-ионизационным детектором и устройством для парофазного анализа с пневматическим способом дозирования. Нижний предел обнаружения метана в

воде составляет 0,1 мкл/л, в почвах и донных отложениях – 0,01 мг/кг влажной пробы, суммарная погрешность – 5–10 %.

2.3. Материалы исследования

В основу работы положен фактический материал, собранный в летне-осенний период (конец июня – начало сентября) 2008–2015 гг. Ландшафтно-геохимические исследования летне-осеннего периода (конец июня – начало сентября) 2008–2015 гг., включали: 1) ландшафтное профилирование с ключевыми участками (КУ); 2) геоботанические описания (состава, состояния и динамики растительности и экологических параметров древостоя на ПК); 3) почвенные исследования; 4) геохимические исследования (содержания химических элементов в почвах, донных отложениях, багульнике); 5) определение содержания и потоков CH_4 .

2.3.1. Ландшафтные профили

Всего заложено 42 ландшафтных профиля через различные типы ПК Полистовского заповедника (табл. 2.2). Приведена схема профилей 2012 г. на территории Полистовского заповедника, к северу от оз. Русского (рис. 2.5).

Таблица 2.2 – Количество профилей в пределах различных типов ландшафтов на участках: Полистовского заповедника (1), прилегающей территории (1а) и Радиловского массива (2)

Год	2008		2009		2010		2011		2012		Итого, %
Участок	1	1а	1	1а	1	1а	1	1а	1	2	
<u>Ландшафты:</u>											
Лесные и луговые	1	2	2	-	1	1	-	-	1	1	21,5
Лесоболотные	1	1	-	2	-	1	1	1	5	1	31
Водно-болотные	2	-	4	-	3	-	3	-	7	1	47,5

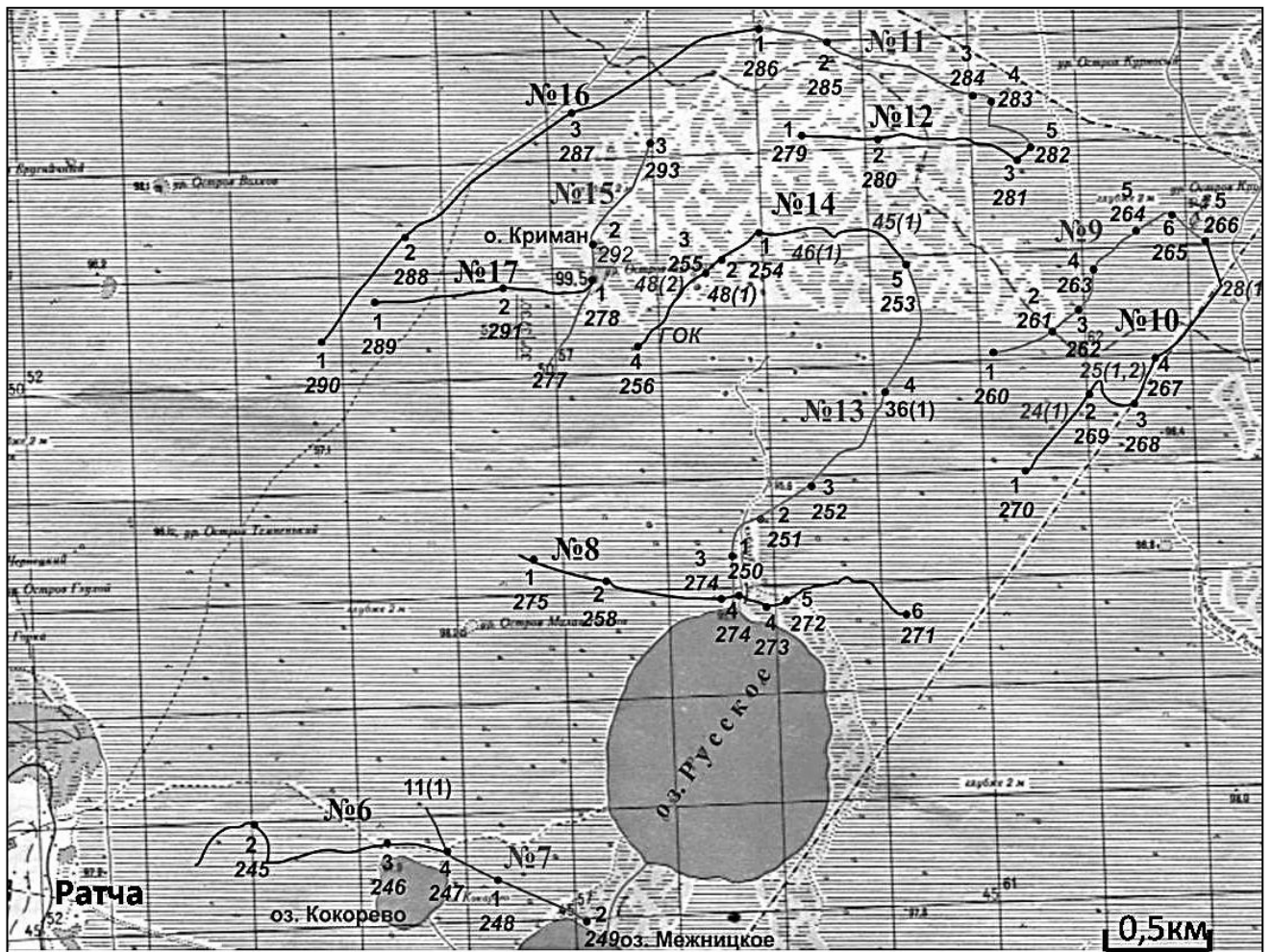
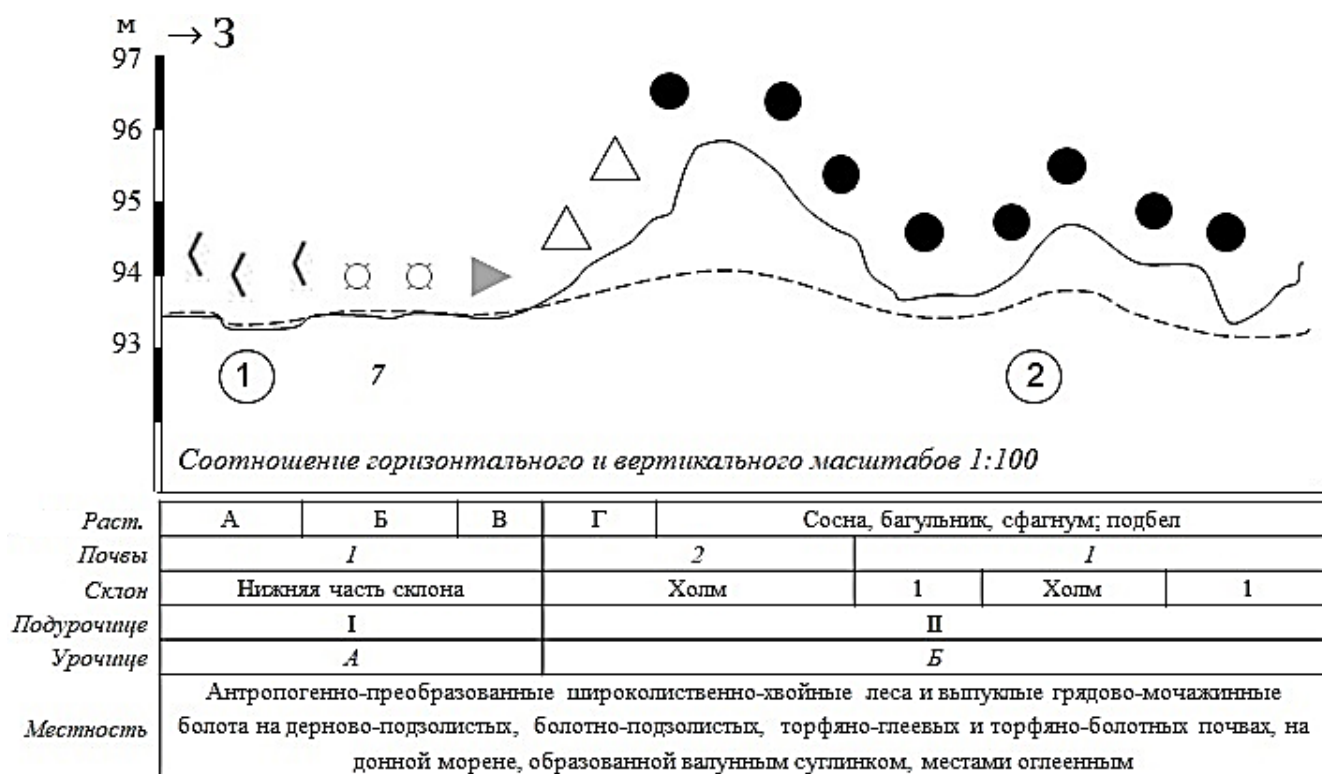


Рисунок 2.5. Система ландшафтных профилей к северу от оз. Русского. Полистовский заповедник, 2012 год

На территории Полистовского заповедника проложен 31 профиль (из них 3 в охранной зоне заповедника), на прилегающих к нему участках – 8, на территории Радиловского массива – 3 профиля. Далее приведены некоторые из них (рис. 2.6-2.20).

Ландшафтные профили №№2, 4–22 и 24–30 проходят через ПК, находящиеся в естественном состоянии. При этом №№ 15, 20, 21 захватывают частично преобразованные человеком минеральные острова, где степень воздействия человека имела низкую интенсивность и характеризовалась кратковременностью, поэтому ПК на минеральных островах характеризуются состоянием, близким к естественному. ПК профилей №1 и 3 частично нарушены пожарами природного, а №№23 и 31–34 – антропогенного характера. Профиль №27 проходит через бывшие сельхоз угодья.



Условные знаки:

<- топь шейхцериево-сфагновая, ☒ - ГМК, ► - кустарничково-сфагновое сообщество,
 △ - березняк кустарничково-сфагновый, ● - сосняк кустарничково-сфагновый,
 7 - станция геохимического опробования, ① - ключевые участки, [] - уровень вод

Растительность:

А – Сфагнум, клюква, шейхцерия; пушица многоколосковая (ареалами), подбел; береза, подрост сосны (ед.)

Б – Сфагнум, клюква, пушица, подбел, мирт, карликовая березка.

В – Сфагнум, клюква, подбел, мирт, карликовая березка, тростник.

Г – Береза, багульник, пушица, сфагнум, карликовая березка, подбел

Подурочище:

I – Травяно-сфагновая и кустарничково-сфагновая растительность нижней части склона

II – Древесно-кустарничковая растительность холма

Урочище:

А – Травяно-сфагновая и кустарничково-сфагновая растительность на торфяных почвах в нижней части склона восточной экспозиции

Б – Травяно-древесно-кустарничковая растительность на торфяных олиготрофных почвах с участием торфяно-глеезёмов в пределах холма

Почвы:

1 – Торфяные олиготрофные

2 – Торфяные олиготрофные с участием торфяно-глеезёмов

Склон:

1 – локальное понижение

Рисунок 2.6. Ландшафтный профиль №1



Растительность: А – Береза, осина; осоки, встречается сфагнум Б – Ольха черная; белокрыльник, ед. сфагнум, кукушкин лён; *Склон*: 1) – Локальное понижение *Подурочище*: I – Травяно-древесная растительность верхней на подзолисты и дерново-подзолистых почвах части склона

Рисунок 2.7. Ландшафтный профиль №2



Рисунок 2.8. КУ 3 (А) и КУ 4 (Б) ландшафтного профиля №2

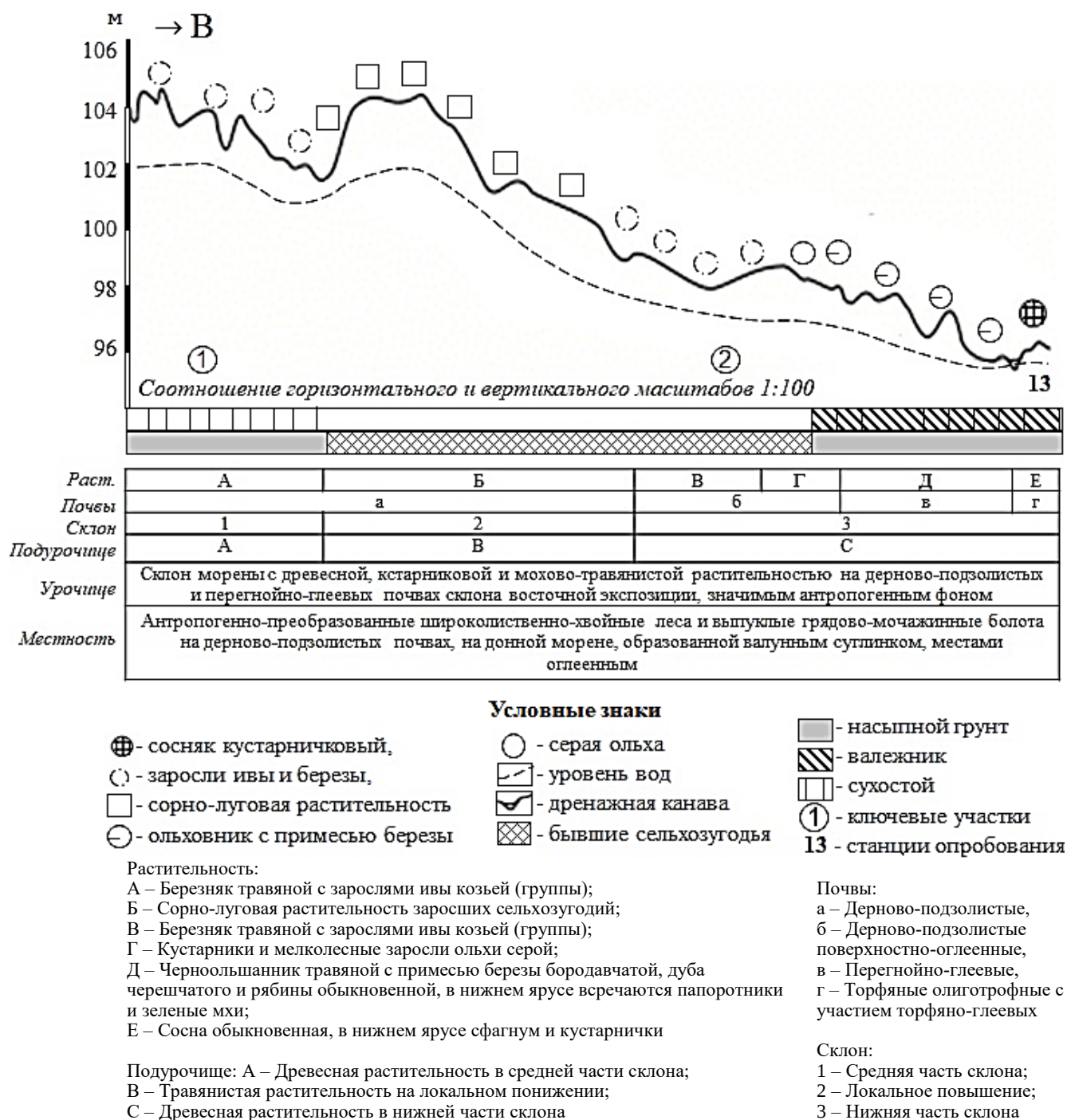
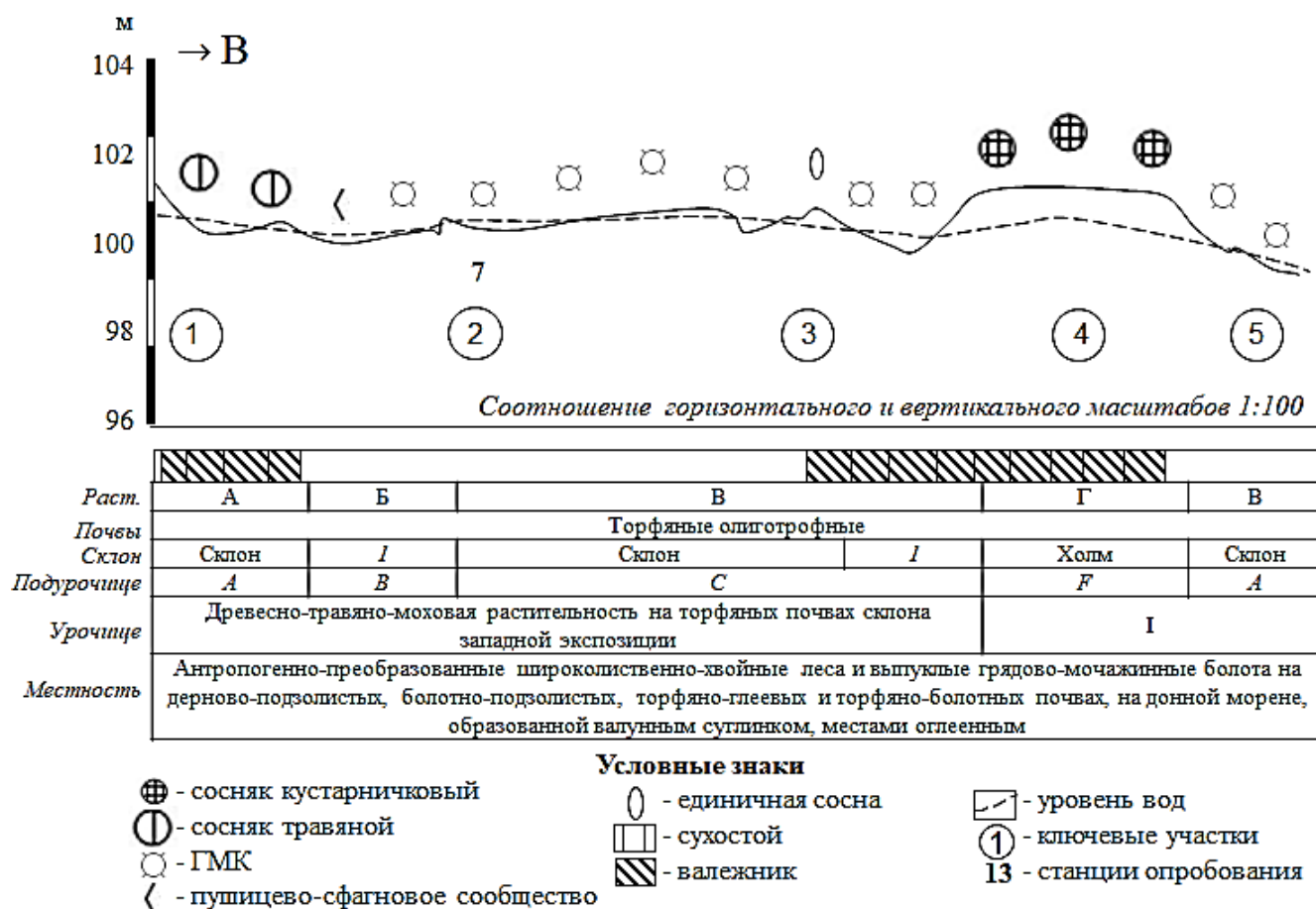


Рисунок 2.9. Ландшафтный профиль №4



Растительность: А – Сосна, пушица, багульник, подбел, вереск, хамедафна, клюква, сфагнум
 Б – Пушица, багульник, подбел, вереск, клюква, ед. осоки, сфагнум
 В – Очеретник, подбел, хамедафна, багульник (ед), шейхцерия, росянка, клюква, вереск, подбел, морошка, сфагнум, осока топяная(ед.), сосна (ед.), сфагнум
 Г – Сосна, пушица, водяника, вереск, подбел, клюква мелкоплодная; росянка круглолистная, хамедафна, сфагнум

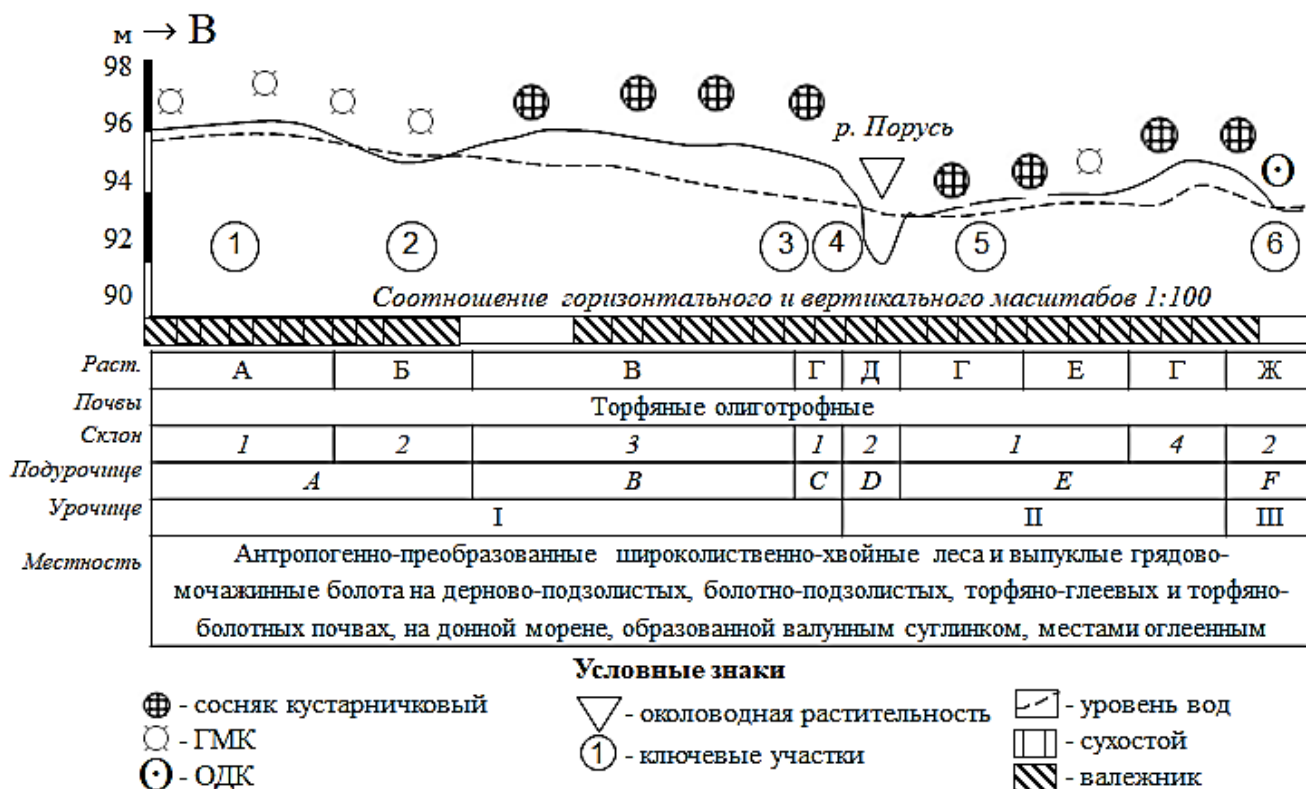
Подурочище:

А – Древесно-травянистая растительность склона
 В – Травяно-моховая растительность понижения
 С – Древесно-травянистая растительность склона
 F – Древесно-кустарничковая растительность холма

Урочище:

I - Древесно-кустарничковая растительность на торфяных почвах холма
 Склон: I – Понижение

Рисунок 2.10. Ландшафтный профиль №6

**Растительность:**

А – Сосна, пушица, очеретник, вереск, багульник, подбел, встречается клюква, росянка
 Б – Пушица, очеретник, вереск, багульник, подбел, росянки; единичны клюква, крушина ломкая; редкая сосна
 В – Вереск, багульник, хамедафна, подбел, клюква, морошка, шейхцерия, пушица, росянки
 Г – Сосна, пушица, хамедафна, багульник, вереск, подбел
 Д – Осоки, кувшинки, сфагнум, кустарники, сосна (сухостой)
 Е – Шейхцерия, очеретник, сфагнум, подбел, росянки, хамедафна, вереск, багульник, клюква, сосна
 Ж – Сфагнум, пушица, очеретник, багульник, вереск, клюква, морошка, шейхцерия, росянка, осоки, подбел, ед. сосна

Подурочище:

А – Древесно-травянистая растительность склона
 В – Древесно-кустарничковая растительность верхней части склона
 С – Древесно-кустарничковая растительность склона
 Д – Травянистая растительность локального понижения
 Е – Древесно-кустарничковая растительность склона
 F – Травяно-моховая растительность понижения

Склон:

1 – Склон
 2 – Понижение
 3 – Верхняя часть склона
 4 – Холм

Урочище:

I – Древесно-травяно-кустарничковая растительность на торфяных олиготрофных почвах склона восточной экспозиции
 II – Древесно-кустарничковая растительность на торфяных олиготрофных почвах склона западой экспозиции

Рисунок 2.11. Ландшафтный профиль №8



Рисунок 2.12. КУ1 (А) и КУ2 (Б) ландшафтного профиля №8



Растительность:

А – Сосна, лишайники, зеленый мох, сфагнум, морошка, подбел, клюква, багульник, росянка, очеретник, пушица, шейхцерия

Б – Сосна, сфагнум, пушица, хамедафна, морошка, подбел, клюква, багульник, росянка

В – Дуб, липа, береза, осина

Г – Сосна, сфагнум, политрихум, хамедафна, багульник, пушица, морошка, подбел, клюква, росянка (бугры), сфагнум, шейхцерия, очеретник, пушица, подбел, хамедафна, осока, клюква (ковры)

Д – Сфагнум, зеленый мох, хамедафна, вереск, подбел, морошка, клюква, очеретник, шейхцерия, росянка

Почвы:

1 – торфяные олиготрофные

2 – торфяно-глеевые

3 – буроземы типичные

Подурочище:

А – Древесно-кустарничково-сфагновая растительность склона

Б – Древесно-травянистая растительность холма

В – Травяно-кустарничково-древесная растительность склона

Г – Древесно-кустарничковая растительность понижения

Урочище:

І – Древесно-кустарничково-сфагновая растительность на торфяных с участием торфяно-глеевых почвах склона ЮЮЗ экспозиции

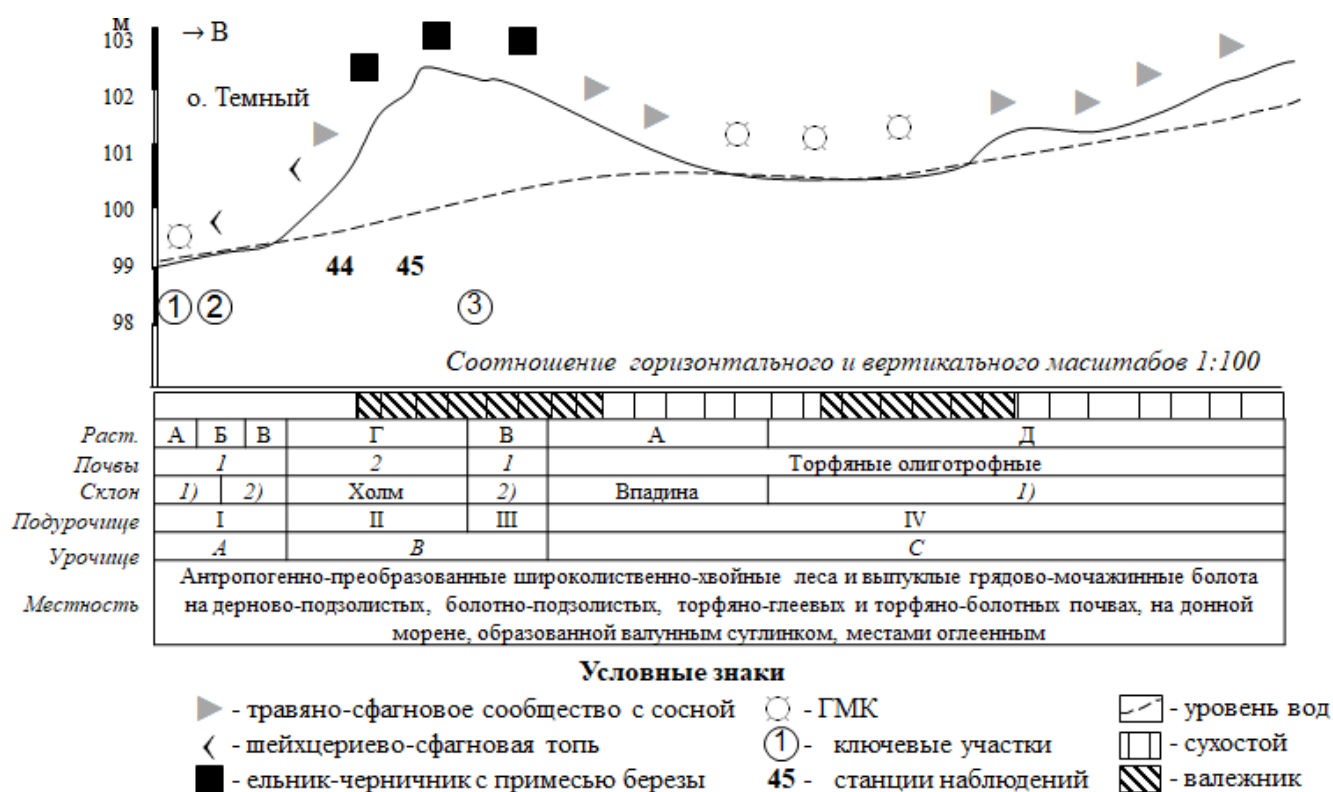
ІІ – Древесно-травянистая растительность на буроземах моренного холма

ІІІ – Древесно-кустарничковая растительность на торфяных с участием торфяно-глеевых почвах понижения

Рисунок 2.13. Ландшафтный профиль №15



Рисунок 2.14. КУ1 (А) и КУ2 (Б) ландшафтного профиля №15



Растительность: А – осока вздутая, вахта трехлистная, мирт, подбел, очеретник, росянка круглая, клюква, пушица, сфагнум, зеленый мох, подрост березы и сосны (ковры); зеленый мох (кочки)
 Б – сфагнум, зеленый мох, шейхцерия, осока топяная, пушица, клюква, подбел, росянка круглая, вахта трехлистная; подбел, мирт (ед.)
 В – Вахта, тростник, сфагнум, мирт, подбел, клюква, шейхцерия, ед. пушица, подрост сосны
 Г – Ель, береза; можжевельник, рябина, подрост дуба, березы; черника, хвощ, брусника, сфагнум
 Д – Пушица, сфагнум, сосна, подрост сосны мирт, подбел, встречается клюква, вороника

Подурочище:

I – Травяно-сфагновая растительность склона западной экспозиции
 II – Травяно-древесная растительность холма
 III – Травяно-сфагновая растительность склона восточной экспозиции
 IV – Древесно-травяно-сфагновая растительность склона западной экспозиции

Урочище:

А – Травяно-сфагновая растительность торфяных почв склона западной экспозиции
 В – Травяно-древесная растительность дерново-буро-подзолистых почв моренного холма
 С – Древесно-травяно-сфагновая растительность торфяных почв понижения

Рисунок 2.15. Ландшафтный профиль №25

Профили №№35–39 заложены к юго-востоку от Полистовского заповедника на нарушенных торфоразработками 1980-х пирогенных участках (рис. 2.16).

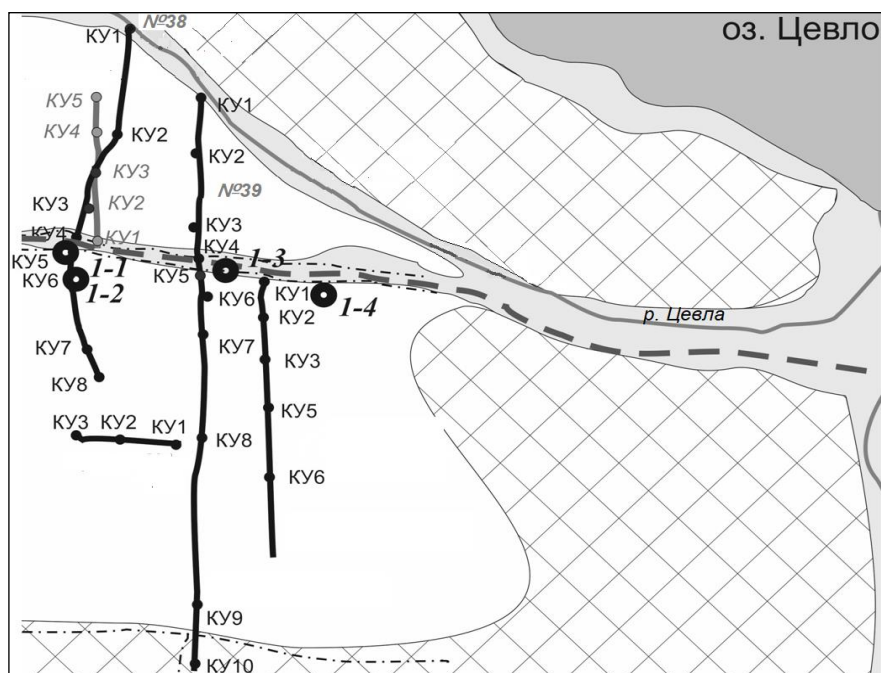


Рисунок 2.16. Участок исследования, нарушенный торфоразработками 1980-х гг

На территории Радиловского болотного массива заложено 3 ландшафтных профиля (№№40–42, рис. 2.17–2.18). Антропогенный след проявляется в наличии лесных дорог от автотранспорта туристов и рекреационной деятельности местного населения и следы экскаватора на локальных участках.

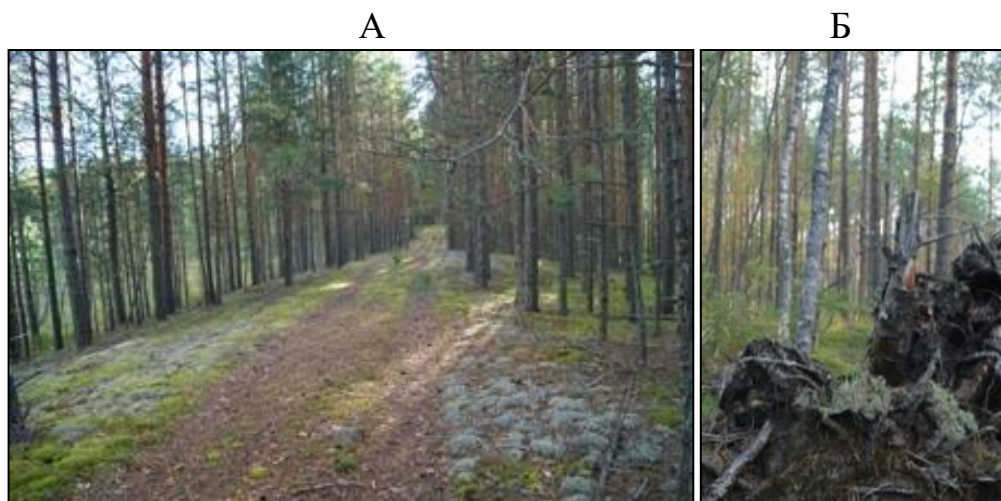
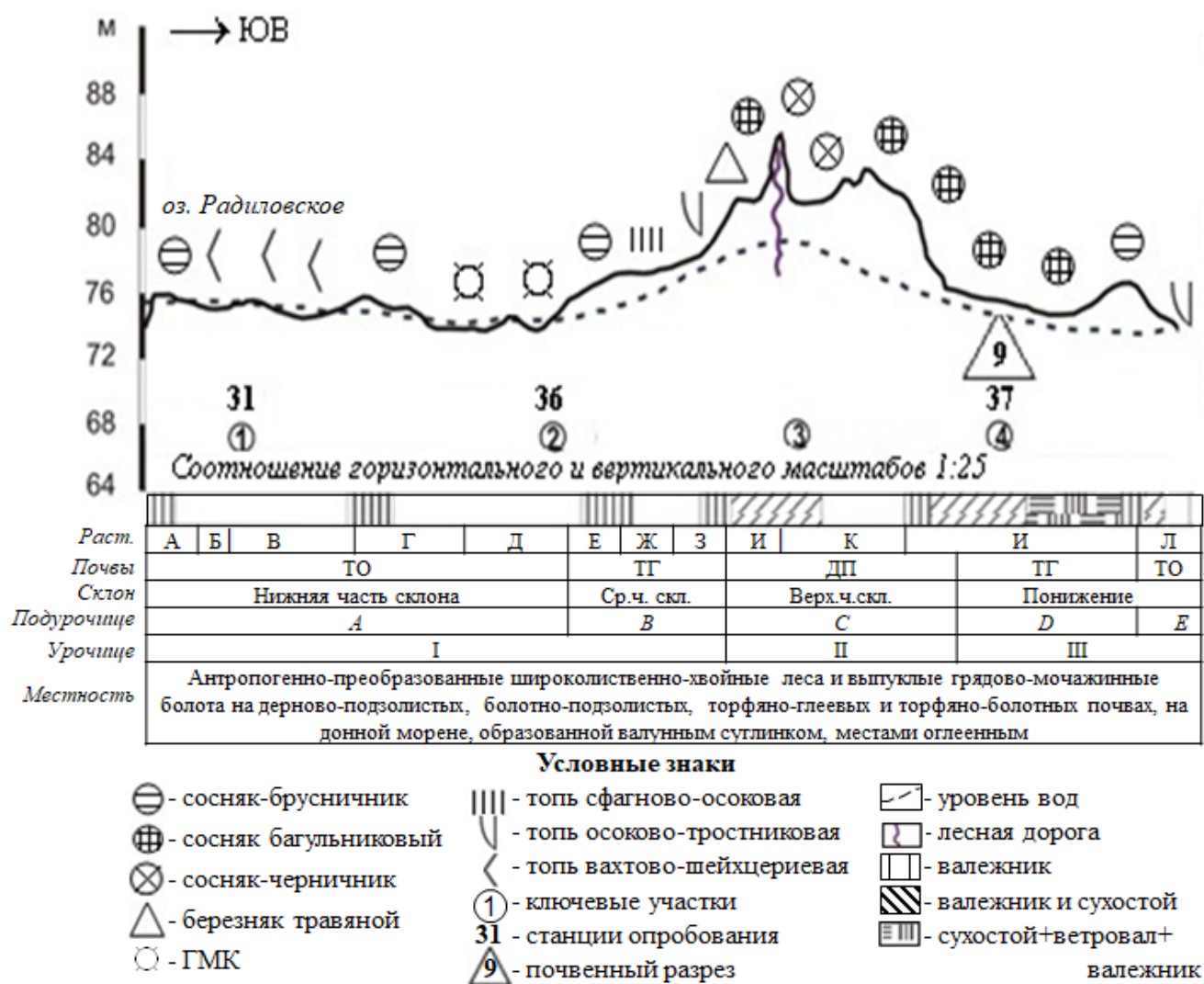


Рисунок 2.17. КУ3 (А) и КУ4 (Б) ландшафтного профиля №41



Растительность: А – сосна, береза, осока, пушица, подрост сосны, сабельник, сфагнум, ед. ива
 Б – пушица, осоки, шейхцерия, вахта, сфагнум, встречается сосна и ее подрост, береза
 В – шейхцерия, вахта, подбел, клюква, сфагнум, ед. сосна, осоки, роснянка, на кочках – водяника, клюква, морошка, подбел, багульник, сфагнум
 Г – сосна, пушица, шейхцерия, подбел, клюква, хамедафна, сфагнум, ед. береза
 Д – гряды: сосна, подрост, хамедафна, подбел, сфагнум, клюква; мочажины: очеретник, шейхцерия, подбел, ед. пушица, сфагнум, папоротник, осоки
 Е – ед. сосна, багульник, пушица, подбел, хамедафна, ед. клюква, морошка, вороника, сфагнум
 Ж – пушица, подбел, сфагнум, ед. хамедафна, клюква, вороника
 З – береза, сосна, осока, сабельник, тростник, вахта, мирт, ива
 И – сосна, береза, багульник, черника, сфагнум, голубика
 К – сосна, брусника, вороника, ягель, сфагнум
 Л – сосна, береза, ель, тростник, папоротник, осоки, зеленый мох, сфагнум

Склон:

- 1 – вершина оза
- 2 – нижняя часть склона
- 3 – локальная депрессия

Подурочище:

- А – Травянистая и древесно-травянистая растительность нижней части склона
- В – Травянистая и древесно-травянистая растительность средней части склона
- С – Древесно-кустарничковая растительность верхней части склона
- Д – Древесно-кустарничковая растительность понижения
- Е – Древесно-травянистая растительность понижения

Урочище:

- I – Травянистая и древесно-травянистая растительность на торфяных почвах средней и нижней части склона
- II – Древесно-кустарничковая растительность на дерново-подзолистых почвах верхней части склона
- III – Древесно-кустарничковая растительность на торфяных почвах понижения

Рисунок 2.18. Ландшафтный профиль №41 [83]

2.3.2. Станции геохимического опробования компонентов ландшафтов

На ландшафтных профилях заложены станции геохимического опробования (рис. 2.19) почв, торфа, донных отложений, воды, растения багульника болотного. Водно-болотные ландшафты исследованы на станциях №№1–4, 6–12, 28, 38–42, 43.

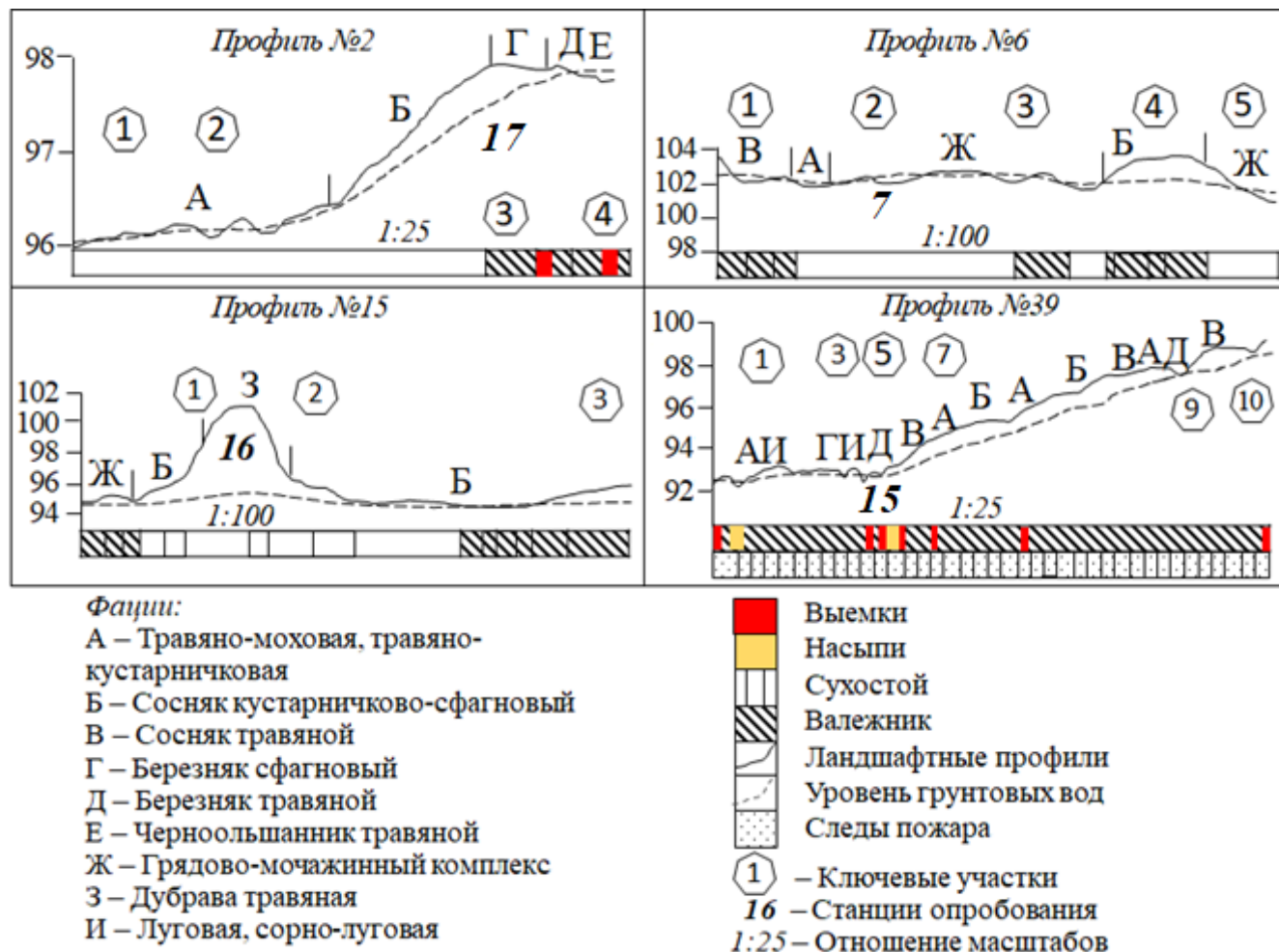


Рисунок 2.19. Положение некоторых станций опробования и почвенных разрезов на ландшафтных профилях

Работы по отбору проб на метан и элементный состав велись в разных типах ландшафтов. Среди водно-болотных – на *топях* (сфагновых, осоковых, шейхцерицево-очеретниковых), грядово-мочажинных и озерно-денудационных комплексах (ГМК и ОДК), грядово-озерковых комплексах (ГОК), сосново-пушицево-сфагновых сообществах, вершинных сосново-сфагновых комплексах.

Изучены лесоболотные ландшафты: *сфагновые сосновые и сфагновые березовые леса* (пушицево-сфагновый, черничник, брусничник, багульниковый). Среди лесных природных комплексов охвачены ельники кустарничковые, вторичные и мелколиственные леса (березняк и травяная липняковая дубрава).

ГМК с относительно высокими грядами (0,5–1,0 м) и сильно обводненными мочажинами. **Станция 1** (зимник от д. Ручьи) – пирогенное сообщество. Первые 0,8 см – дерновый слой, 0,8–8 – темно-коричневый, глубже 8 см – светло-коричневый торф. На торфяно-глеезёме пирогенном наблюдается бурное развитие сосны семенного происхождения. ГМК сменяется кустарничково-сфагновым сообществом.

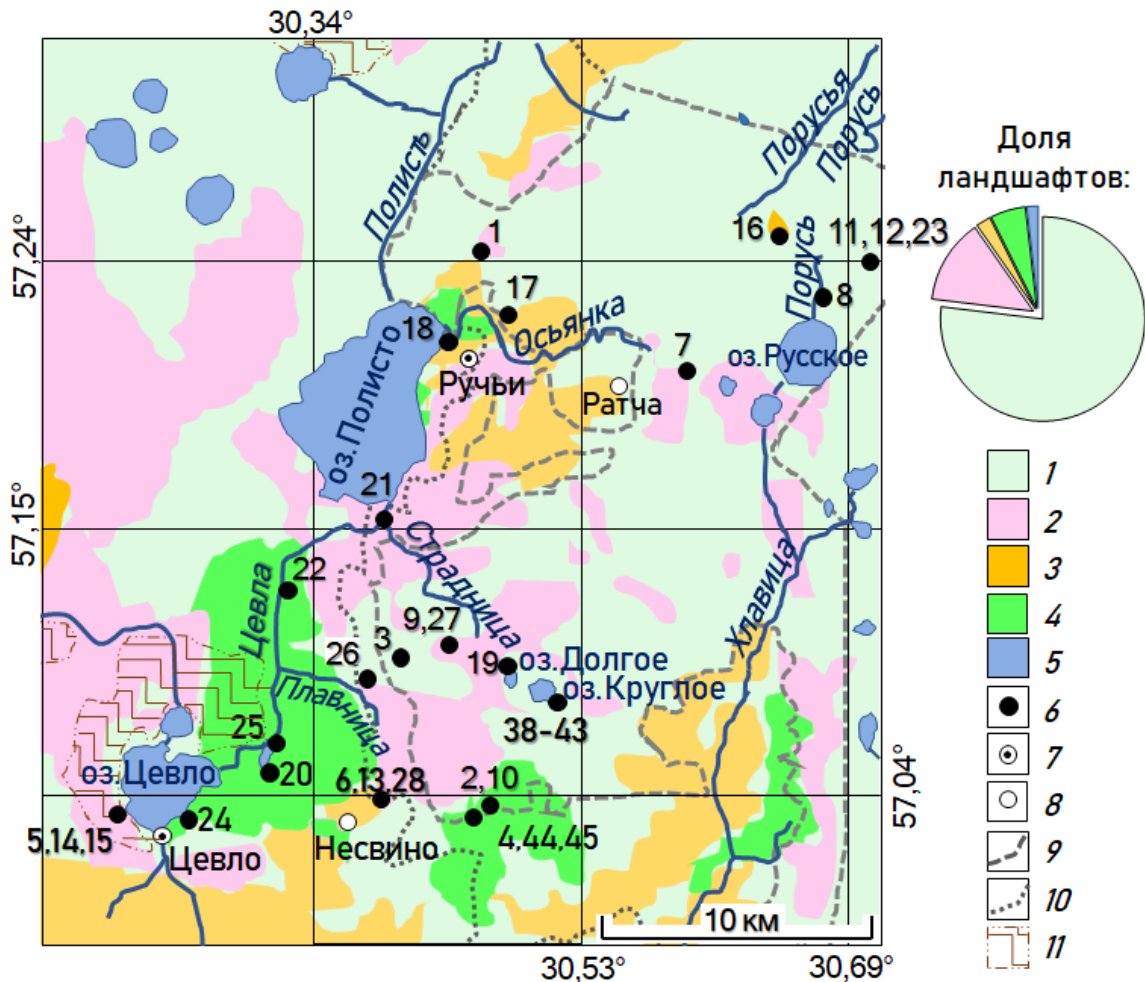


Рисунок 2.20. Положение станций геохимического опробования в пределах различных типов ландшафтов Полостово-Ловатской болотной системы. *Ландшафты*: 1 – болотные, 2 – лесоболотные, 3 – лесные, 4 – луговые, 5 – водные; 6 – станции опробования, *деревни*: 7 – жилые, 8 – нежилые; *границы*: 9 – Полостовского заповедника, 10 – его охранной зоны, 11 – торфоразработок

Естественные, ненарушенные болотные ландшафты. ГМК. Станция 4 – в 5 км к северо-западу от дер. Гоголево, в районе урочища Несвино, к северу от минерального острова Волчий. Пушицево-сфагновая мочажина, сильно обводненная. Участки топи характеризуются кислой реакцией среды ($\text{pH} \sim 4,5$). При прохождении по маршруту и физическом уплотнении поверхности, отчетливо ощущался запах сероводорода в районе участка данного участка.

Таблица 2.3 – Станции геохимического опробования компонентов ландшафтов Полистовского заповедника и прилегающей территории

№	Координаты и местоположение	Описание станции
1	2	3
ВОДНО-БОЛОТНЫЕ ЛАНДШАФТЫ. Грядово-мочажинные комплексы (ГМК)		
1	57°14'3"/30°27'4". 1,7 км к северу от р. Осьянка, зимник от д. Ручьи	Черная мочажина ГМК с возобновлением березы. Почва пирогенная – торфяно-глеезём. Торф слаборазложившийся
4	57°03'27"/30°27'01". 5 км к северо-западу от д. Гоголево	Пушицево-сфагновая черная мочажина сильно увлажненная, ковер
6	57°01'42"/30°24'24". 1,8 км к юго-востоку от урочища Несвино	ГМК. Выходы подмоховой речки на поверхность. Торф слаборазложившийся
41	57°05'34"/30°30'40". 0,5 км к юго-востоку от оз. Круглое	ГМК
Озерно-денудационные комплексы (ОДК)		
2	57°03'45"/30°27'29". 4,5 км к востоку от урочища Несвино	ОДК, черная мочажина с открытой водной поверхностью
7	57°12'35"/30°34'57". 3,5 км к востоку от д. Ручьи	ГМК/ОДК, мочажина-озерко; торф слаборазложившийся
8	57°14'06"/30°39'42". 0,9 км к северу от оз. Русское	Гряда кустарничково-сфагновая
Мохово-травяные группы топяных микроландшафтов. Топи сфагновые переходные		
3	57°06'29"/30°24'29". 2,7 км к С от истока р. Плавница	Шейхцерицево-сфагновая топь, мочажина с выходами воды на поверхность
9	57°06'51"/30°26'44". 4,4 км к северо-востоку от истока р. Плавница	Вахтово-шейхцерицевая топь с выходами воды на поверхность
10	57°03'45"/30°27'27". 4,5 км к востоку от урочища Несвино	Шейхцерицево-сфагновая сильно увлажненная
23	57°15'21"/30°42'49". Выходы р. Порусь, к северу от оз. Русское	Вахтово-осоковая топь. Вода относительно прозрачная, с темным оттенком
38	57°05'40"/30°30'26", 57°05'35"/30°30'42", 57°05'41"/30°30'21".	Топь шейхцерицево-сфагновая. Тростник – индикатор близости минерального основания
39	0,5 км к юго-востоку от оз.	Топь очеретниково-вахтово-сфагновая, черная мочажина (диаметр – 6 м, уровень воды – 30 см)
43	Круглое	Топь шейхцерицево-сфагновая, 5% – гряды
Топи переходные		
11	57°14'56"/30°41'53". 2,0 км к востоку от р. Порусь	Шейхцерицево-очеретниковая топь с выходами воды на поверхность. Торф слаборазложившийся
12	57°15'22"/30°42'50". 2,5 км к востоку от р. Порусь	Осоково-сфагновая переходная сильно обводненная
13	57°1'49"/30°24'11". 1,0 км к юго-востоку от урочища Несвино	Сосняк кустарничковый. Торфяная олиготрофная почва. Торф слаборазложившийся
40	57°05'35"/30°30'44". 0,5 км к юго-востоку от оз. Круглое	Выход подмоховой речки на поверхность. Черная мочажина
ЛЕСОБОЛОТНЫЕ ЛАНДШАФТЫ. Вершинные сосново-сфагновые комплексы		
28	57°2'6"/30°23'26". 0,8 км к югу от урочища Несвино	Сосняк сфагново-багульниковый. Торфяная олиготрофная почва. Торф слаборазложившийся
44	57°2'53,0"/30°25'53,4". 3,4 км к СВ от урочища Несвино	Сосняк кустарничково-сфагновый на торфяно-глеезёме типичном на серых суглинках склона ЮВ экспозиции
Сосново-пушицево-сфагновые сообщества		
5	57°02'55"/30°15'04". 1,0 км к юго-западу от д. Цевло	Гряда травяно-сфагновая пушицево-сфагнового сообщества. Торфяная олиготрофная пирогенная почва
14	57°02'53"/30°14'58". Юго-запад от д. Цевло	Сосняк травяной с примесью березы 7С+3Б. Пирогенное сообщество. Торф среднеразложившийся
15	57°02'51"/30°15'17". Юго-запад от д. Цевло	Сосняк травяно-сфагновый 6С+4Б. Торфяная олиготрофная пирогенная почва. Торф средне- и хорошо разложен
16	57°15'17"/30°38'07" Минеральный остров Криман	Дубрава травяная (9Л1Д+Б+Ос). Травяной ярус разрежен. Трансэлювиальный элементарный ландшафт*; вершина склона. Почва – бурозем типичный легкосуглинистый
17	57°13'32"/30°27'50" Урочище Ленно	Аккумулятивно-элювиальный элементарный ландшафт*. Березняк сфагновый с примесью ольхи серой 10Б+Олс

1	2	3
ЛЕСНЫЕ ЛАНДШАФТЫ		
26	57°6'7»/30°23'31» Минеральный остров Алексеевский (Еловый)	Ельник с примесью березы 9Е1Б+Ос. Травяной ярус разрежен. Элювиально-аккумулятивный элементарный ландшафт*, подножье склона западной экспозиции. Ржавозём типичный на двучлене
27	57°6'56»/30°26'25». 4,4 км к северо-востоку от истока р. Плавница. Минеральный остров Чистый	Ельник разнотравный (8Е2Ос+Б). Травяной ярус хорошо развит. Трансэлювиальный элементарный ландшафт*, верхняя часть склона южной экспозиции. Дерновая остаточо-карбонатная супесчаная почва.
45	57°2'5»/30°25'56». Минеральный остров Темный, 3,4 км к СВ от Несвино	Ельник травяной 9Е1Б. Трансэлювиальный элементарный ландшафт*; вершина склона юго-восточной экспозиции. Дерново-буро-подзолистая легкосуглинистая почва
ВОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ. Озера		
18	57°12'52"/30°25'47". Окраинное оз. Полисто, прибрежная зона	Субаквальный (трансаквальный) элементарный ландшафт*. Желто-серый песчаный ил (0-2,5), песок с примесью ила (2,5-15 см). Мягкий, без включений, без запаха
19	57°06'29"/30°28'33". Внутриболотное оз. Долгое, прибрежная зона	Субаквальный (аквальный) элементарный ландшафт*. Черный ил полужидкой консистенции с высокой долей органогенной составляющей с примесью остатков водных растений. Слабый гнилостный запах. Отбор пробы – в 5 м от берега с горизонта 0–5 см. На берегу озера – осоково-сфагновое сообщество
20	57°04'15"/30°19'54". Окраинное оз. Озерявское, прибрежная зона	Субаквальный (трансаквальный) элементарный ландшафт*. Темно-серый песчаный ил (0-7 см) и песок с примесью ила (7-15 см). Мягкий, пластичный. Запах гнилостный
25	57°04'42"/30°20'04". Оз. Озерявское, вблизи впадения р. Цевла	В 3 м от берега, ширина русла в месте впадения в озеро – 8 м. Глубина – 0,4 м, скорость течения – 0,2 м/с. Берега зарастают тростником и кувшинками
42	57°05'53"/30°30'11". Внутриболотное оз. Круглое, прибрежная часть	Субаквальный (аквальный) элементарный ландшафт*. Берега заболоченные, заросли осок (0-2 м от берега). Донные отложения – черный песчаный ил
Реки		
21	57°09'29"/30°23'47". Впадение р. Цевлы в оз. Полисто	Субаквальный (трансаквальный) элементарный ландшафт*. Берега заросли тростником и осоками. Ширина реки в месте впадения в озеро – 15 м, глубина – 1 м, скорость течения – 0,5 м/с, расстояние от берега – 3 м
22	57°07'52"/30°20'17». Р. Цевла, прибрежная зона	Субаквальный (трансаквальный) элементарный ландшафт*. Берега заболочены, оторфованы. Черный глинистый ил, мягкий, пластичный с высокой долей органогенной составляющей. Запах слабый торфяной. Без включений
Мелиоративные каналы		
24	57°03'04"/30°16'50". Северо-восток от д. Цевло	Дренажная канава, покрытая ряской. На берегу доминируют злаки. Ширина – 5 м, глубина в месте отбора – 0,3 м, расстояние от берега – 0,5 м. Скорость течения ~0. Канава не зарастает интенсивно, т.к. проводились работы по ее углублению

* - Тип элементарного ландшафта по [43]

Станция 6 – в окрестностях урочища Несвино, уровень выхода воды подмоховой речки – 10 см. Участок верхового болота с кустарничково-моховыми грядами и пушицево-сфагновыми сильно обводненными мочажинами.

Станция 13 – сфагновая переходная топь с редкостойной сосной, кустарничково-моховыми грядами и черными мочажинами с деградированным моховым покровом. Черные мочажины занимают 15% участка. **Станция 41** – ГМК к юго-востоку от оз. Круглое.

Озерно-денудационные комплексы (ОДК). Станция 7 характеризует переходное эволюционное состояние ПК от ГМК к ОДК. Исследована сфагново-пушицевая *мочажина-озерко* с открытыми выходами болотной воды. Уровень вод в 2010-2011 гг (5 см) был ниже, чем в предыдущие годы. В мочажинах вода темного цвета. Реакция среды кислая, pH 4,0. В сообществе того же типа (ОДК) исследована гряда кустарничково-сфагновая (*станция 8*). *Станция 2 - черная мочажина* ОДК. Уровень воды 0 см, мочажина не обводнена: на поверхности высохшая органика. Согласно наблюдениям, в 2011 г. уровень воды был ниже уровня прошлых лет из-за маловодности лета.

При характерном для *топей* слабом уклоне поверхности происходит застаивание воды, что благоприятствует анаэробному разложению органического вещества (Богдановская-Гиенэф, 1959). Неслучайно, в районе некоторых участков шейхцериевых, осоковых и очеретниковых *топей* отчетливо ощущался запах сероводорода при прохождении по маршруту и физическом уплотнении поверхности, а также заметно выделение пузырьков болотного газа с открытых выходов воды. *Станция 3* – в 2,7 км к северу от истока р. Плавница. Сфагновая, более обводненная мочажина в пределах шейхцериево-сфагновой топи характеризуется меньшим количеством органики, уровнем воды – 15 см, вода прозрачного цвета. *Станция 9* – *вахтово-шейхцериево-сфагновая топь* – соответствует зоне разгрузки болотных вод (уровень воды – 18 см) с высокой степенью обводненности и частичным угнетением растительности. *Станция 10* *шейхцериево-сфагновая топь*, уровень воды 10 см. *Станция 23* – *осоково-вахтовая топь*. В составе растительного покрова доминирует вахта и осоки, представлены сфагнум, пузырчатка, встречается клюква, подбел; встречаются участки с угнетенной растительностью. Выходы вод 20-25 см. *Станция 11* – *шейхцериево-очеретниковая топь* с бугристо-кочкарным микрорельефом. Шейхцерия, очеретник и черные мочажины с деградированными участками мха доминируют. Выходы вод локальны и имеют уровень не более 5 см. *Станция 12* – *топь осоково-сфагновая* переходная сильно обводненная. Для наблюдения за суточной динамикой содержаний и потоков метана с поверхности сфагновых топей, ГМК и черных мочажин в частности, выбраны станции (38-41, 43). Станции заложены в 0,5 км к юго-востоку от оз. Долгое, где на небольшом

участке происходит смена сообществ. **Станция 38** – *топь шейхцеригово-сфагновая* (сфагнум, шейхцерия, вахта, подбел, клюква, хамедафна, очеретник, тростник, ед. пушица) с единичными (5%) кочками. Тростник – показатель близости минерального побережья (не глубже 1,5 м). **Станция 43** – *топь шейхцеригово-сфагновая* (сфагнум, шейхцерия, вахта, росянка, осока вздутая, подбел, клюква, хамедафна, очеретник, тростник, ед. пушица), встречаются единично (5%) гряды. **Станция 39** – черная мочажина очеретниково-вахтово-сфагновая на очеретниковой топи (очеретник, тростник, росянка английская, шейхцерия, ед. пушица). Форма мочажины близка к округлой, диаметр около 6 м. Уровень воды 30 см. **Станция 40** – черная мочажина на месте выхода подмоховой речки на поверхность. Растительность: очеретник, тростник, росянка английская, шейхцерия, ед. пушица. В мочажине угнетенный сфагнум, растительные остатки с высокой степенью разложения.

Лесные и лесоболотные ландшафты включают леса по окраинам болот и леса минеральных островов, а также лесоболотные. *Леса* в основном приурочены к хорошо дренированным возвышенным элементам мезорельефа. Леса представлены широколиственными (дуб, липа, ольха) и мелколиственными породами (береза, осина) с разреженным или сплошным травяным покровом. В травяно-кустарничковом ярусе лесов со сфагновым покровом доминируют кустарнички. В Полистовском заповеднике лесные ландшафты исследованы на станциях геохимического исследования 16, 17, 26, 27, лесоболотные 14, 15, 44. Среди *лесов* минеральных островов можно выделить минеральный остров Криман (**станция 16**), занятый дубравой липняковой с примесью осины и березы, по окрайке минерального острова в состав древостоя включается сосна. Почва имеет легкосуглинистый состав, коричнево-бурый цвет. Заметны следы турбации – в прошлом поверхность минерального острова была распахана, присутствуют остатки металлических орудий времен войны. *Минеральные острова* в большинстве своем заняты ельниками с примесью осины или березы. **Станция 17** – березняк с примесью ольхи серой (урочище Ленно). **Станция 26** – ельник с примесью березы (минеральный остров Чистый, рис. 3.26), элювиально-аккумулятивный элементарный ландшафт, аккумулятивно-элювиальный элементарный ландшафт. **Станция 27** – ельник с примесью березы

(минеральный остров Алексеевский), трансэлювиальный элементарный ландшафт. **Станция 45** заложена на минеральном острове Темный под ельником травяным с примесью березы на дерновой остаточно-карбонатной почве. Тип элементарного ландшафта – трансэлювиальный. *Изучаемые лесоболотные ландшафты* окрестностей урочища Несвино – сосняки кустарничково-сфагновые (**станция 28, 44**) орфяная олиготрофной почве и торфяно-глеезёме.

Станции геохимических исследований №№ 5, 14, 15 находится в пределах антропогенно преобразованных сосново-сфагново-пушицевых болот, подвергшихся неоднократно пожарам, *пирогенные сосново-пушицево-сфагновые сообщества* болотные комплексы постепенно превращаются в кустарничковые сосняки-зеленомошники с примесью березы. Происходит восстановление растительности после торфоразработок. **Станция 5** – в 1,0 км к юго-западу от д. Цевло. Гряда травяно-сфагновая пушицево-сфагнового сообщества с сосной и березой. Уровень болотных вод -6 см. **Станция 14** – кустарничково-пушицево-сфагновое сообщество с сосной и березой. **Станция 15** – сосняк травяной с примесью березы.

Водные объекты. Среди водоемов и водотоков можно выделить естественные и преобразованные или созданные человеком. Среди созданных человеком – дренажная канава на окраине пос. Цевло (**станция 24**). С берегов канава не зарастает водной растительностью, на ее поверхности обильная ряска.

Естественные водоемы – озера – имеют округлую форму, среднюю глубину 2-3 м (до 5 м) и низкие, часто заболоченные берега, плоские, заполненные толщей ила, нередко торфянистого, котловины. У крупных озер дно сложено песком или опесчаненным илом. Водная растительность заходит далеко в воду (у небольших озер занимая всю акваторию) вследствие мелководности. Озеро *Полисто* в месте отбора проб воды и донных отложений (**станция 18**) имеет глубину 0,4 м, скорость течения воды – 0,2 м/с. Донные отложения песчаные, перекрытые тонким слоем ила. Берега зарастают тростником и сабельником болотным. Дно песчанно-каменное, местами заиленное. Берега озера низкие, заболоченные.

Внутренние озера – *Долгое* и *Круглое* (площадь менее 0,5 км²) – глухие, их обрывистые берега образованы торфяными сплавинами, глубины в прибрежье не менее 1 м. Водная растительность – мхи и небольшие куртины кубышки желтой.

Озеро Долгое в месте отбора проб донных песчаных отложений (**станция 19**) имеет скорость течения 0,4 м/с. Донные отложения – ил с растительными остатками; вода коричневатого цвета, горьковатого вкуса. Водная растительность – кувшинки; по берегу – осоки и папоротник. **Станция 42** расположена в прибрежной части оз. Круглое с заболоченными берега и зарослями осок (0-2 м от берега) в пределах вершинных сосново-сфагновых ПК (сосняк кустарничковый с единичной черной ольхой и подростом березы).

Озеро *Озерявское* (**станция 20**) в прибрежной зоне оз. Озерявского. Донные отложения представлены илом с примесью песка (до глубины 6-8 см), глубже их состав сменяется на песчаный, слабо заиленный. Доля илистой фракции в отложениях оз. Озерявского больше аналогичного показателя для оз. Цевло и Полисто. **Станция 25** заложена на северном берегу оз. Озерявское, в месте его впадения в р. Цевлу. Вода мутного цвета с примесью органики. Река *Цевла* в месте впадения в озеро Полисто (**станция 21**) имеет большую глубину и ширину русла, чем при впадении в оз. Озерявское. Донные отложения в верхних 6-8 см представлены илом с примесью песка, глубже 8-10 см – песчаные слабо заиленные. Из-за мелиораций прошлых лет, связанных с торфоразработками, р. Цевла обмелела. **Станция 22** в прибрежной зоне р. Цевла. Илистые отложения со слегка гнилостным запахом (табл. 2.3).

В **Радиловском массиве** сосновые *леса* формируются на минеральном песчаном основании со сфагновым покровом. Преобладают сосняки черничники (ст. 32), брусничники (ст. 33) и багульниковые с примесью ели (ст. 37, рис. 2.17); представлены вторичные мелколиственные леса с травяным покровом на оторфованных почвах (станция 34).

Лесные комплексы. **Станция 32** (табл. 2.4) – сосняк черничник сфагновый с примесью ели и сплошным кустарничковым покровом. **Станция 34** – березняк травяной с примесью черной ольхи, бывшая старица р. Ситня. Результатом перемещения русла реки стало заболачивание и заторфовывание понижений.

Почва станции 34 – оторфованный подзол на моренных супесях (0-3 см – лесная подстилка, 3-20 см – осветленный элювиальный горизонт, 20-28 – оглеенная сероватая супесь, 28-32 см и глубже – оглеенный горизонт С, желтый

песок). Сильно выражен глеевый горизонт. Вторичные мелколиственные леса служат ярким примером естественной восстановительной сукцессии сообщества

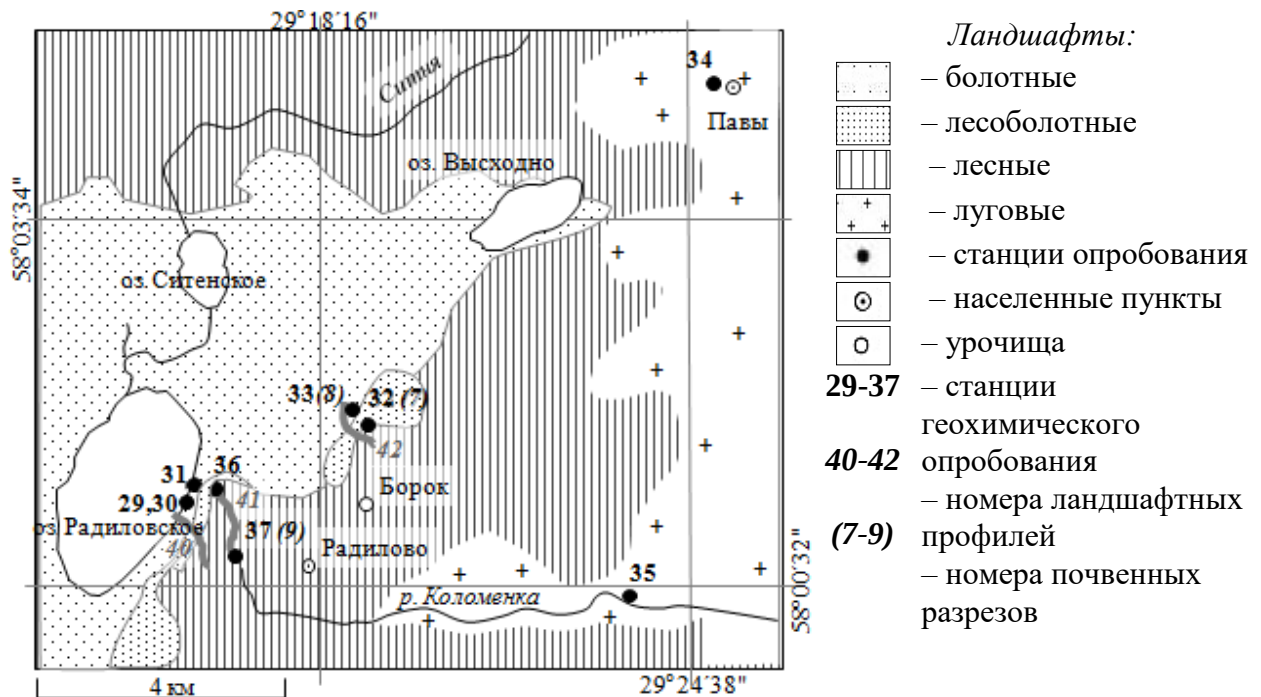


Рисунок 2.21. Сеть ландшафтных профилей и станций геохимического опробования на территории Радиловского болотного массива

Лесоболотные комплексы: березняк заболоченный осоковый (**станция 30**) на берегу озера, сосняк багульниковый сфагновый (**станция 37**), **Станция 30** – заболоченный березняк с угнетенным древостоем и выходами воды 20 см.

В *болотных* ПК Радиловского массива на *коврах* доминирует сфагнум, на *кочках* – *Eriophorum vaginatum*, *Охусoccus palustris*, встречается *Ledum palustre*, *Rubus chamaemorus*. В местах с мощными отложениями торфа присутствуют микроповышения с угнетенной *Pinus sylvestris* (20-50 лет с высотой 0,5-2,0 м).

Местами в мезо-эвтрофной зоне болото *переходное* с отдельными высокими осоковыми кочками и участками открытой воды. Песчаные гряды по краям болота заняты *сосняком-зеленомошником*, местами *лишайниковым*, в понижениях – *черничником*, причем леса преимущественно разновозрастные. В структуре древостоя присутствует примесь ели (*Pities abies*) на южной и западной окраинах болота, осины (*Populus tremula*), других мелколиственных пород.

Таблица 2.4 – Станции геохимического опробования компонентов ландшафтов Радиловского массива

№	Координаты и местоположение	Описание станции
МОХОВО-ТРАВЯНЫЕ ГРУППЫ ТОПЯНЫХ МИКРОЛАНДШАФТОВ.		
Топи сфагновые переходные		
31	58°1'9"/29°16'27". 0,08 км от восточного берега оз.Радиловское	Вахтово-шейхцерицево-сфагновая топь, обводненная
Топи переходные		
30	58°0'58"/29°16'21". Восточный берег оз. Радиловское	осоково-сфагновая топь с угнетенной березой. Вода имеет зеленоватый цвет, много растительных остатков в своем составе, горьковатый вкус. Уровень воды – 20 см
36	58°1'41"/29°18'57". 0,35 км от восточного берега оз.Радиловское	Осоковая черная мочажина, сильно обводненная в пределах осоково-сфагновой топи (уровень воды – 20 см)
ЛЕСОБОЛОТНЫЕ ЛАНДШАФТЫ. Вершинные сосново-сфагновые комплексы		
37	58°0'43"/29°17'16". 1,1 км к западу от дер. Радилово	Сосняк сфагновый багульниковый с примесью ели 10С+Е. Почва – торфяно-глеезём потёчно-гумусовый.
33	58°1'46"/29°18'57". Минеральный остров, 2,1 км к северу от д.Радилово	Сосняк-брусничник сфагновый 10С. Подзол иллювиально-железистый песчаный
32	58°1'37"/29°19'2". 2,0 км к северу от д. Радилово	Сосняк черничник сфагновый с примесью ели 10С+Е. Кустарничковый покров сплошной. Почва дерново-подзолистая палевоподзолистая (слабоподзолистая). Гранулометрический состав почвы супесчаный
34	58°4'57"/29°25'20". К юго-западу от с. Павы	Березняк травяной с примесью ольхи черной. Бывшая старица р.Ситня. Почвы – оторфованные супесчаные подзолы с ярко выраженным глеевым горизонтом на серых моренных супесях. А ₀ (0-3) – почвенно-растительный слой; А ₁ (3-20) – оторфованная почва, черная; (20-28) – оглеенная супесь, сероватая; С (28-45 и более) – песок желтый оглеенный
ВОДНЫЕ ЛАНДШАФТЫ. Озера		
29	58°0'58"/29°16'20" прибрежная зона внутриболотного оз.Радиловское	Берег – обрывистый. На берегу озера – осоково-сфагновая топь с редкой угнетенной березой.
Реки		
34	58°0'23"/29°23'41". р.Коломенка, прибрежная зона, у д.Коломенка	Желто-серый песчаный ил. Мягкий, практически без запаха. Включения: редкий гравий

Верхнее течение р. Удохи заболочено (болото *низинного* типа), облесено *березняком*, местами с примесью осины и ольхи серой (*Alnus incana*). В юго-западной части болота ярко выражен ГМК с обширными «окнами» открытой воды, которые представляют собой озёрки.

К востоку от оз. Радиловское заложена **станция 31** – вахтово-шейхцерицево-сфагновая *топь*, с открытыми выходами воды и единичной сосной. **Станция 36** – черная мочажина (10% ключевого участка) в пределах осоково-сфагновой топи с угнетенным сфагнумом. **Станция 41** – ГМК с черными мочажинами.

Водоемы и водотоки Радиловского массива ранее не были исследованы. Известно только о периодических сезонных колебаниях оз. Радиловского – площадь летом иногда сокращается на 1% [153], что меньше по сравнению с оз.

Цевло. **Станция 29** – прибрежная зона оз. *Радиловское* (растительность: кувшинки, осоки, сабельник, папоротник), донные осадки илисто-песчаного состава, водная растительность в месте отбора отсутствует. **Станция 35** – прибрежная зона р. *Коломенка* (заросли ивы). Донные отложения практически не имеют запаха, в верхних слоях – ил, глубже – состав резко меняется на песчаный.

3. ЛАНДШАФТНАЯ СТРУКТУРА ТЕРРИТОРИИ И СВОЙСТВА ПОЧВ

3.1. Результаты ландшафтных исследований

По данным натурных ландшафтных исследований построены карты распространения различных типов ландшафтов Полистово-Ловатской системы (рис. 2.16) и Радиловского массива (рис. 2.17) с указанием станций геохимического опробования и рассчитана площадь всех типов микроландшафтов на данных участках. В ландшафтной структуре исследуемой территории преобладают водно-болотные ландшафты (табл. 3.1): ~77% площади Полистовского заповедника и 55% Радиловского массива. Основа ландшафтов – верховые болота, находящиеся в не нарушенном человеческой деятельностью состоянии.

3.1.1. Полистовский заповедник

Среди болотных ландшафтов преобладают (рис. 3.1): грядово-мочажинные комплексы (35,8% площади) и сфагновые переходные топи (32,0%). Доля вершинных сосново-сфагновых комплексов 10,7%, сосново-пушицево-сфагновых и озёрно-денудационных комплексов – 7,4%, минеральные острова заняты смешанными и хвойными лесами. Все прочие ландшафты (водные, лесные, луговые) занимают ~10%.

Территория Полистово-Ловатской системы – это крупный массив практически ненарушенного верхового болота с заболоченными озерами. Встречаются также переходные и низинные болота. Леса из широколиственных пород распространены по окраинам болотных массивов, хвойные таежные леса формируются на минеральных островах. Минеральные внутриболотные острова представляют собой зону контакта леса и болота, где активно проявляются процессы заболачивания [113]. Для территории характерно наличие мелких озёр и рек, большая часть прибрежных участков покрыта осоками. В юго-западной части Полистово-Ловатской болотной системы, где ранее велись торфопроизводства, сохранилось большое количество мелиоративных каналов [148].

В западной и южной, наиболее изученных частях Полистовского заповедника широко распространены олиготрофные участки с грядово-мочажинными и грядово-озерковыми комплексами (ГМК и ГОК). На

гипсометрических вершинах болота распространены преимущественно сосново-кустарничково-пушицево-сфагновые сообщества, здесь облесенные участки чередуются с открытыми или участками погибшего древостоя. Значительные площади заняты заболоченными сосновыми лесами.

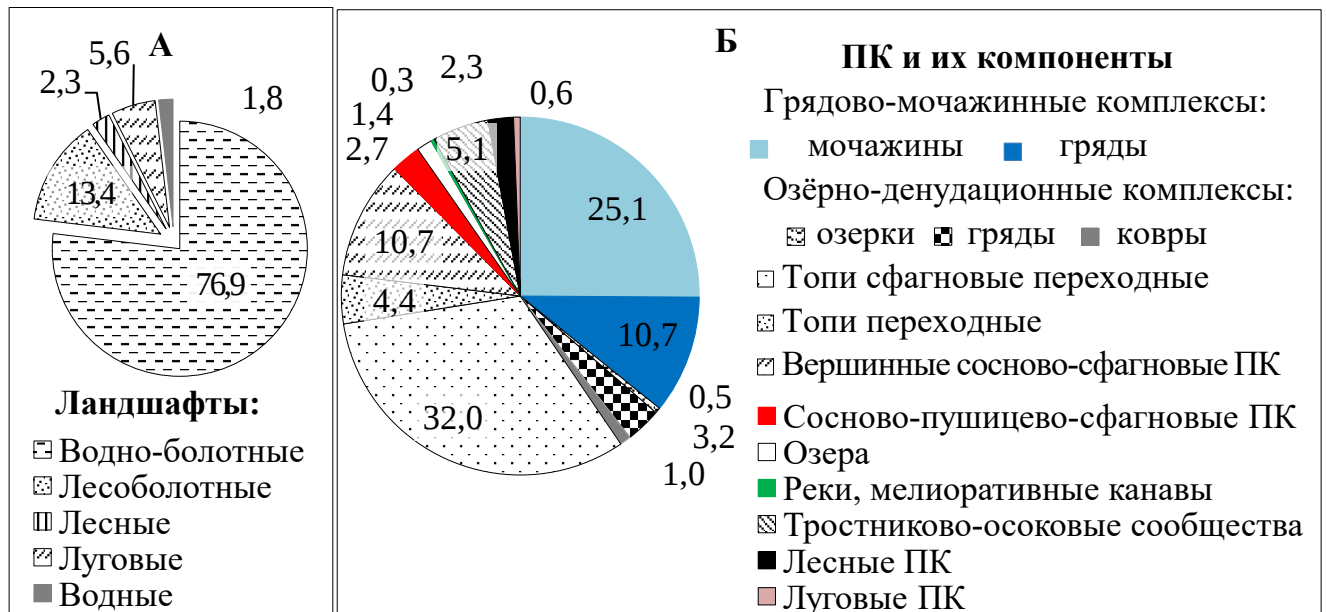


Рисунок 3.1. Доля ландшафтов Полистовского заповедника (А). Доля ПК и их компонентов (Б)

Ландшафтный профиль №1 (рис. 2.6), проходящий через три минеральных острова (малый березовый и два сосновых) в пределах верхового болота, в 3,5 км к востоку от д. Ручьи. Шейхцерицево-сфагновая топь и ГМК сменяются на кустарничково-сфагновое сообщество, березово-сосновые заболоченные леса на двух минеральных островах: малый березовый, облесенный сфагновым березняком с примесью сосны и сосновый, занятый сосняком сфагново-кустарничковым с доминированием багульника в кустарничковом ярусе. Выделены 2 ключевых участка: шейхцерицево-сфагновая топь (*KY1*), сосняк сфагново-кустарничковый (*KY2*). Сосна, береза на данных участках редкостойная, и жизненное состояние единичного древостоя не оценивалось. В облесенных частях профиля редко встречается валежник и сухостой (на понижениях рельефа). Почвы участка торфяно-болотные с участием выщелоченных торфяно-глеезёмов (минеральный остров). *KY1* – топь шейхцерицево-сфагновая, переходящая в ГМК. Преобладают черные мочажины с угнетенным моховым покровом. Уровень грунтовых вод (до 15 см) создает неблагоприятные условия для древостоя. Топь

переходит в промежуточный сукцессионный вариант развития болотных сообществ от ГМК к ОДК. На мочажине-озерке, заложена станция геохимического опробования №7. КУ2 – кустарничковый сосняк, занимающий локальное возвышение (небольшой минеральный остров). Подстилающие торфяной слой глины создают условия застоя влаги, что благоприятствует развитию торфяных олиготрофных почв и развитию заболачивания.

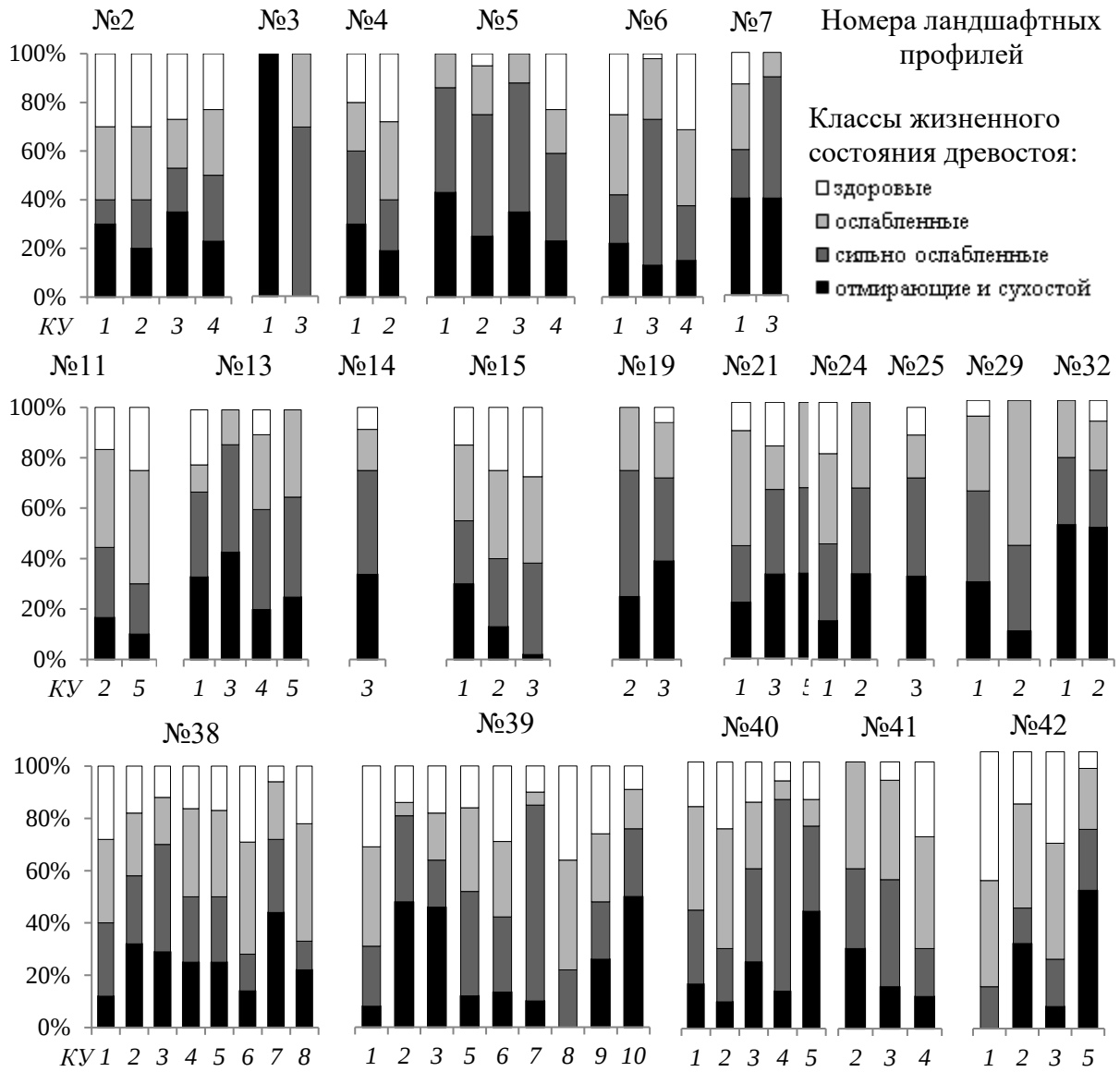
Ландшафтный профиль №2 проложен от зимника, в 1,8 км к северо-востоку от д. Ручьи, урочище Ленно (рис. 2.7). В пушицево-кустарничково-сфагновое сообщество с сосной (КУ1-2) с повышением мезорельефа сменяется кустарничково-сфагновым сосняком и сфагновым березняком с примесью черной ольхи (КУ3). На КУ2 по сравнению с КУ1 возрастает доля кустарничков, появляются морошка и багульник, подрост березы и сосны. Постепенное зарастание мелиоративной протоки на КУ2 и единичный подрост березы, сосны – признаки начала сукцессионного восстановления растительности. Далее по профилю травяной березняк с примесью осины. Черноольшанник травяной с примесью осины и березы (КУ4) появляется на локальном понижении.

По классам жизненного состояния древостой на КУ1–2 ослабленный ($L_s=2,24-2,30$, рис. 3.2), КУ3–4 – сильно ослабленный ($L_s=2,60-2,82$), что обусловлено как активным процессом заболачивания с движением болота в сторону суходолов (КУ3), так и близостью грунтовых вод к поверхности (КУ4).

В пушицево-кустарничково-сфагновое сообщество с сосной (КУ1–2) с повышением мезорельефа сменяется кустарничково-сфагновым сосняком и сфагновым березняком с примесью черной ольхи (КУ3). На КУ2 по сравнению с КУ1 возрастает доля кустарничков, появляются морошка и багульник, подрост березы и сосны. Постепенное зарастание мелиоративной протоки на КУ2 и единичный подрост березы, сосны – признаки начала сукцессионного восстановления растительности. Далее по профилю травяной березняк с примесью осины. Черноольшанник травяной с примесью осины и березы (КУ4) появляется на локальном понижении.

По классам жизненного состояния древостой на КУ1–2 ослабленный ($L_s=2,24-2,30$), КУ3–4 – сильно ослабленный ($L_s=2,60-2,82$), что обусловлено как

активным процессом заболачивания с движением болота в сторону суходолов (КУ3), так и близостью грунтовых вод к поверхности (КУ4).



Ландшафтный профиль №3 заложен на склоне минерального побережья, в 1,7 км к северу от р. Осьянка, зимник от дер. Ручьи. По профилю растительность сменяется от болотной к лесной. Растительные сообщества переходные в сукцессионном отношении: на месте заболоченного участка восстанавливается лес (много сосны и березы порослевого происхождения). КУ2 – пушицево-кустарничково-сфагновое сообщество с единичной березой. Растительность: сфагнум; осока вздутая, пушица многоколосковая (на буграх, кочках), пушица влагилищная, мирт, клюква мелкоплодная, подбел, белокрыльник. Рельеф

равнинный микрокочкарный, на периферии бугры. На участке много пней, присутствует валежник, подрост березы. КУЗ – пушицево-кустарничковое сообщество, возобновление березы и сосны на склоне юго-восточной экспозиции. Растительность: подрост сосны и березы, пушица влагалищная, вереск, багульник, клюквы нет, встречается сфагнум, мирт, кукушкин лен угнетен после пожара. Обилен валежник (10 экз.) из сосны (без коры) и березы (с корой). Пни обгоревшие, древостой единичный. Подрост березы и сосны обилен по всему участку.

Ландшафтный профиль №4 проложен на восток от урочища Гнездино, в 2,5 км к юго-западу от ур. Несвино. Проходит через луговые, лесные сообщества, бывшие сельхозугодья, насыпную грунтовую дорогу (рис. 2.9). КУ1 охватывает сорно-луговую растительность по окраине дороги, заросли березы и ивы по окраинам насыпной дороги, часть дренажной канавы. Древостой состоит из березы (10Б), в подлеске – лещина и ива козья. Идет сукцессионное возобновление всех древесных пород. Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=2,83$). КУ2 – черноольшанник (или ольховник) черневой с примесью березы (7Ол(ч)ЗБ). Растительность: ольха черная, береза, в подлеске встречаются дуб, рябина. Состояние древостоя в целом ослабленное ($L_s=2,47$).

Ландшафтный профиль №5 проложен в 2,8 км к ЮВ от урочища Несвино. Начинается с ольховника на минеральном побережье. Далее, с ростом увлажнения, сосняк сфагново-кустарничковый сменяется грядово-мочажинными комплексами с сосной, затем, при улучшении дренажа с повышением рельефа ПК сменяются на травяно-кустарничковые и вершинные сосново-сфагновые комплексы (кустарничковые сосняки-ягодники). КУ1 – сосняк кустарничково-сфагновый. Растительность: сосна, багульник, пушица, подбел, ед. клюква. Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=3,2$). На рост сосны оказывает с одной стороны положительное влияние близость минерального побережья и аллохтонный привнос почвенных частиц, с другой стороны, отрицательное – обилие влаги. КУ2 – пушицево-кустарничковое сообщество. Растительность: пушица, хамедафна, подбел, клюква, ед. осоки. Рельеф кочкарно-ковровый. На

кочках встречается зеленый мох. Сосна единичная, высотой до 50 см. Местами выходы воды (уровень 10-12 см). *KV3* – грядово-мочажинный комплекс с сосной. Растительность: сосна, пушица, кукушкин лен, хамедафна, клюква, подбел (гряды), шейхцерия, подбел, сфагнум, пушица, клюква (мочажина). Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=3,0$). *KV4* – травяной сосняк. Растительность: сосна, пушица, сфагнум, подрост сосны, клюква, подбел, мирт, вереск, встречаются шейхцерия, хамедафна. Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=3,41$). Далее – грядово-мочажинный комплекс, место выхода подмоховой речки на поверхность. *KV5* – вершинный сосново-сфагновый комплекс, занимающий хорошо дренированные участки. Растительность: вереск, багульник, хамедафна, пушица, вороника, сфагнум. Далее появляются брусника и голубика. Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=2,73$). При движении по профилю и повышении рельефа брусника и голубика уступают место воронике, затем появляются локальные выходы воды на поверхность.

Ландшафтный профиль №6. Проложен в 1,5 км к востоку от ур. Ратча. Пушицевый сосняк при понижении сменяется травяно-моховой растительностью и ГМК (рис. 2.10), на возвышении появляется кустарничковый сосняк. *KV1* – сосняк травяной с единичной березой (10С+Б(б)). Растительность: сосна, береза, пушица, багульник, подбел, вереск, хамедафна, клюква. Проектное покрытие (пп) клюквы (3%) и багульника (2%) неравномерно по всему участку. Локальные выходы воды (уровень до 10 см). Далее, при понижении рельефа, сосна исчезает, сообщества сменяются на травяно-моховые, за ними следует ГМК. *KV2* – ГМК. Растительность: очеретник, подбел, хамедафна, багульник (ед.), шейхцерия, росянка, клюква, вереск, подбел, морошка (ед.), сфагнум. Багульник встречается на грядах, проективное покрытие по участку неравномерно. Имеются мочажины-озерки, пятна деградированного мха. *KV3* – ГМК. В мезорельефе увеличивается доля кочек, в растительном покрове появляется редкостойная сосна. *KV4* – кустарничковый сосняк. Данное сообщество сменяет гряды и мочажины при относительном повышении мезорельефа. Растительность: сосна, багульник, подбел, вереск, хамедафна, клюква, пушица. *KV5* – ГМК, сменяющий сосняк при

понижении рельефа. Растительность: сосна, пушица, водяника, вереск, подбел, клюква мелкоплодная; роснянка круглолистная, хамедафна, сфагнум.

Ландшафтный профиль №7. Проложен севернее оз. Кокоревское и Межницкое. По склону юго-восточной экспозиции сосняк сменяется на ГМК с низкой сосной, высота которой постепенно увеличивается; на плоской вершине растительное сообщество сменяется на кустарничковый сосняк и сосняк-брусничник. КУ1 – грядово-мочажинный комплекс с сильно обводненными мочажинами, редкостойной низкой сосной и единичной березой. Растительность: шейхцерия, очеретник, водяника, подбел, пушица, единичны багульник, сосна; сфагнум. Среди древостоя преобладают 3-4й классы, его состояние сильно ослабленное ($L_s=3,00$). КУ2 – сосняк брусничник сфагновый, занимающий плоскую вершину. Сосна, береза, брусника, черника, багульник, водяника, хамедафна, пушица. Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=3,50$).

Ландшафтный профиль №8. Проложен севернее оз. Русского через ГМК, вершинные сосново-сфагновые сообщества, сосняки сфагновые, часть русла реки Порусь (рис. 2.11). На правом берегу реки ГМК с разным соотношением гряд и мочажин, облесенные сосной, сменяются кустарничковыми сосняками. На правом берегу ГМК сменяются сосняками сфагновыми и озерно-денудационными комплексами (ОДК). КУ1 – ГМК (рис. 2.12), доля гряд и высота сосны увеличиваются, появляются пятна погибшего мха. КУ2 – ГМК. Растительность: пушица, очеретник, вереск, багульник, подбел, роснянки; единичны клюква, крушина ломкая; редкая сосна. Сосна имеет высоту менее 2 м, жизненное состояние – сильно ослабленное ($L_s=3,0$). Диаметр на уровне сфагнов – 3 см, средняя высота – 3 м. Деревья с диаметром ствола <3 см встречаются в 60% случаев, >3 – 40%, высоту <1 м имеют 60% деревьев, 1-1,5 – 20, >1,5 – 20%. Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=3,0$). Присутствуют пятна погибшего мха, а также черная мочажина со следом от зимнего взрыва метана. КУ3 – сосняк кустарничково-сфагновый. На коврах – вереск, багульник, хамедафна, подбел, клюква, морошка, шейхцерия; на кочках – морошка, багульник, вереск, клюква, пушица, морошка, шейхцерия, хамедафна; в

мочажинах – шейхцерия, росянки английская и круглая, клюква. Сосна имеет среднюю высоту 2,0 м, диаметр 2,0 см, сильно ослабленное состояние ($L_s=3,27$). КУ4 – сосняк кустарничково-сфагновый (сосна, пушица, хамедафна, багульник, вереск, подбел). Сосна немного выше - 2,5 м, диаметр 2,5 см (4 см на уровне сфагнов), состояние ее сильно ослабленное ($L_s=3,54$), жизненность подроста хуже. Доля сухостоя высока – около 27%, распространен повсеместно. КУ5 – сосняк кустарничково-сфагновый. На КУ3 больше вереска, меньше сухостоя. Сухостой повсеместен, жизненность древостоя лучше, сухостоя и пней меньше. КУ6 – озерно-денудационный комплекс. Вода занимает 10% площади, пятна погибшего мха – 20%. На буграх: сфагнум, пушица, очеретник, багульник, очеретник, вереск, клюква ед. морошка, шейхцерия, росянка; в мочажинах – шейхцерия, осоки, подбел, очеретник. Сосна единична на общей площади (на участок 10x10 м не попадает), низкая (до 50 см), сильно ослабленная и сухостойная ($L_s=4,5$).

Ландшафтный профиль №9. Проложен в 1,8 км к востоку от о. Криман. Кочкарно- и грядово-мочажинный комплексы сменяются топями в местах разгрузки болотных вод и выхода на поверхность подмоховых речек. КУ1 и КУ2 – ГМК. Есть выходы воды (10 см). КУ3 – топь пушицево-вахтовая, КУ4 – топь осоково-вахтовая, область выхода подмоховой речки на поверхность. Вода имеет темный оттенок из-за большого количества органики. КУ5 – топь пушицево-сфагновая. Доля микро-кочек из пушицы – примерно 40 %. КУ6 – топь вахтово-сфагновая.

Ландшафтный профиль №10. Начинается в 1,25 км к северо-востоку от оз. Русского, проходит вдоль границы с Рдейским заповедником до урочища на минеральном острове Круглый. КУ1 – шейхцеригово-сфагновая топь: шейхцерия, очеретник, вереск, пушица, хамедафна, багульник, клюква, росянка, подбел, сфагнум, лишайники, кукушкин лен, единично карликовая березка (на грядах), шейхцерия, хамедафна, подбел, клюква, осока топяная, росянка английская (в мочажинах). КУ2 – шейхцеригово-сфагновая топь, переходная к ГМК, бугристо-мочажинный микрорельеф, бугры часто сливаются в гряды. Растительный покров имеет сходство с КУ1, при увеличении доли пушицы и гряд. На грядах:

шейхцерия, пушица, багульник, клюква, подбел, осока топяная, хамедафна, сфагнум, кукушкин лен, очеретник, встречается карликовая березка в мочажинах: клюква, очеретник, шейхцерия, сфагнум, подбел. *KУ3* – вахтово-осоковая топь (вахта, осока, папоротник, сабельник, цикута, кипрей болотный, клюква (ковры), политрихум, клюква, вахта, осоки, сфагнум (кочки), встречается единично папоротник. *KУ4* – вахтово-сфагновая топь: вахта, сфагнум, очеретник, осока топяная, кукушкин лен, хамедафна, клюква, подбел, пушица, единично береза и сосна. *KУ5* – тростниково-сфагновое сообщество, которое, как известно (Королькова, Шкурко, 2016) наименее устойчивостью: при вытаптывании здесь образуются наиболее широкие и глубокие тропы, растительный покров может не восстановиться за 4 месяца. На протяжении всего ландшафтного профиля нередко участки с деградированным сфагновым покровом. Границы представленных здесь наиболее подверженных антропогенному воздействию и изменчивых в сукцессионном отношении фитоценозов неясно выражены и «размыты» в пространстве.

Ландшафтный профиль №11. Начинается в 1,25 км к северо-востоку от минерального острова Криман, проходит вдоль северо-восточной границы Полистовского заповедника. Пушицево-кустарничковый сосняк сменяется грядово-мочажинным комплексом, переходящим в вахтово-шейхцериевую топь при понижении, среди которой на моренных отложениях появляется травяной березняк. *KУ1* – сосняк пушицево-вересковый. Среди ярусов преобладает второй (48% древостоя), третий – 36, первый – единичные деревья (16%), жизненное состояние – 54% третий класс (рис. 3.2). *KУ2* – ГМК. Мочажины занимают более половины площади, среди них преобладают большие черные с низким уровнем воды. Пятна деградированного сфагнума – 15% (в мочажинах), 20% (на грядах), возникли в черных мочажинах в результате выделений метана, на грядах из-за роста последних и частичной потери увлажнения. Единичны мочажины-озерки. Сообщество является переходным в сукцессионном плане от ГМК к ОДК. *KУ3* – ГМК. *KУ4* – шейхцеријево-вахтовая топь, сфагнум появляется в мочажинах на

плоском понижении. КУ5 – березняк кустарничково-сфагновый. Занимает повышение мезорельефа со слабым западным уклоном.

Ландшафтный профиль №12. Начинается в 1 км к северо-востоку-востоку от минерального острова Криман. Топь сменяется ГМК и пушицево-сфагновым сообществом, переходящим в травяной березняк. КУ1 – очеретниковая топь. Пятна торфа с угнетенным сфагнумом составляют 35% от площади мочажин. Сосна угнетена (преобладает 4-й класс жизненного состояния), распространение единичное или групповое. КУ2 – ГМК с низкой сосной. КУ3 – пушицево-сфагновое сообщество. Береза единична.

Ландшафтный профиль №13 проложен на ССВ от северного берега оз. Русского. КУ1 – сосняк кустарничковый. Участок расположен вблизи перехода между сосняком и ГМК. Проективное покрытие клюквы на буграх 7%, на коврах единично, в среднем 3%. Редкая сосна со средней высотой 2 м. Развита подрост сосны, встречается подрост березы. КУ2 – ОДК. Имеются участки деградированного мха в черных мочажинах, которые преобладают. Сосна редкая, низкая, береза единична. Представлен подрост березы и сосны, имеются выходы р. Порусьи на поверхность. Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=2,43$, рис. 3.2). КУ3 – ОДК. Жизненное состояние единично представленного на участке древостоя $L_s=2,8$ (рис. 3.2). КУ4 – бугристо-мочажинный комплекс, бугры нередко сливаются в гряды. КУ5 – ГМК. Растительность – сосна, сфагнум (*Fuscum*, *Rubellium*), пушица, очеретник, подбел, лишайники, осоки, клюква (единично). Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=3,0$).

Ландшафтный профиль №14 проложен в 3 км на север от оз. Русское. Начинается с грядово-мочажинного комплекса, менее обводненного, чем восточные участки. Микрорельеф бугристо-мочажинный: бугры сливаются в гряды. На участке уже менее лишайников, чем на сходных площадках, обычно занятых ОДК. Гряды и мочажины менее выражены по сравнению с соседними ГМК. Далее, при понижении и увеличении обводненности появляются черные мочажины, участки деградированной растительности занимают №3% площади. Это грядово-озерковые комплексы (ГОК). КУ1 – Пушицево-кустарничково-

сфагновое сообщество. Сосна и береза единичны. КУ2 – ГМК. Гряды длинные, встречаются участки деградированного сфагнома. КУ3 – грядово-озерковый комплекс (ГОК). Имеются участки деградированного сфагнома. Озерко имеет глубину у берега 0,7-0,8м, околородная растительность представлена ослизневшим сфагнумом, кувшинкой четырехгранной. Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=3,27$). КУ4 – осоково-шейхцериевая топь, сильно обводненная. Сосна единична с диаметром ствола у сфагнов 3 см, высотой 87 см, подрост ее также единичен. Имеются пятна деградированного мха.

Ландшафтный профиль №15 пересекает минеральный остров Криман (рис. 2.13), проложен с юго-юго-запада на северо-северо-восток через лесоболотные ПК, захватывает лесные ПК минерального острова. КУ1 – дубрава липняковая (рис. 2.14) с примесью осины и березы (заложена станция 16 для геохимического опробования почвы). Сухостой (преимущественно из осины), валежник (дуб и липа). Минеральный остров в прошлом подвергался нарушениям как зоогенного, так и антропогенного характера [113]. Остров Криман наиболее беден по видовому составу растительности (21 вид) и характеризуется высокой сомкнутостью древостоя (до 0,7) согласно Петровой и др. (2017). Деревья имеют средний возраст около 100 лет, преобладает 2-й класс жизненного состояния, сообщество в относительно благоприятных условиях ($L_s=2,85$). КУ2 – сосняк сфагново-кустарничковый. Растительность: сосна, сфагнум, политрихум, хамедафна, багульник, пушица, морошка, подбел, клюква, росянка (бугры), сфагнум, шейхцерия, очеретник, пушица, подбел, хамедафна, осока, клюква (ковры). КУ3 – сосняк сфагново-кустарничковый. Растительность: сфагнум, зеленый мох, хамедафна, вереск, подбел, морошка, клюква (кочки), очеретник, шейхцерия, хамедафна, подбел, клюква, росянка (ковры).

Ландшафтный профиль №16 проходит в 0,5 км северо-восточнее минерального острова Криман. Охватывает топи и ГМК, на возвышениях – пушицево-сфагновое сообщество и травяно-кустарничковый сосняк. КУ1 – пушицево-сфагновое сообщество. Микрорельеф кочкарно-ковровый с преобладанием кочек над коврами. КУ2 – обводненное сообщество – пушицево-

очеретниковая топь с преобладанием более влаголюбивой растительности (очеретник). КУЗ – ГМК склонового распространения. Степень отчуждения сфагновой растительности индицируют пятна погибшего мха, которые занимают 4-5% от площади черных мочажин. В составе древостоя на участке – единичная и низкая сосна.

Ландшафтный профиль №17 проложен на запад от минерального острова Криман. Охватывает в основном лесные и лесоболотные сообщества – дубрава липняковая, сосняк кустарничковый – а также участок топи. КУ1 – ГМК: гряды занимают 25% площади комплекса. КУ2 – шейхцеригово-очеретниковая топь.

Ландшафтный профиль № 18. Проходит через переходную топь и ГМК между двух минеральных островов, к северо-востоку от истока р. Плавница, в 100 м от окончания экологической тропы. В начале переходной топи встречается единичная береза. На локальном возвышении появляется участок с большой долей сосны (КУ2) семенного происхождения. Далее по профилю сфагново-шейхцериговая переходная топь зарастает пушицей, сфагнами, клюквой. Микрорельеф мелкокочковатый. Топь сменяется ГМК на окраине минерального острова, заросшего сосной. Здесь, в соседстве со сфагновыми переходными топиями, процесс заболачивания идет очень быстро. КУ1 (7БЗОл(ч) – береза с примесью ольхи черной на участке вахтово-сфагновой переходной топи. Прослеживается чередование понижений с выходами воды и возвышенных кочек. На более увлажненных местах возрастает роль сфагнума, шейхцерики, вахты и появляется пузырчатка промежуточная. Кочки образуют подбел, пушица, мирт и клюква. Групповая поросль березы состоит из двух деревьев диаметром 3 см и высотой 4 м. Подрост ольхи черной обилен. КУ2 (5С5Б) – береза и сосна на вахтово-шейхцериговой топи с хорошо развитым подростом сосны. В центре участка доминирует вахта трехлистная (ее проективное покрытие достигает 90%). КУЗ (10Б) – участок переходной вахтово-сфагновой топи с единичной березой и сосной. Рельеф ровный, с кочками. Выходы воды достигают 20 см. Прочная сеть из хорошо сохранившихся корней шейхцерики улучшает проходимость топей. Шейхцерика, как известно [11], бурно выделяет газ (преимущественно CH_4), она

может вызвать всплытие поверхности и превратить последнюю в зыбун (заметный по осоке, вахте и сфагнуму). КУ 4 (10С) представлен шейхцериено-сфагновой топью с сосной. От погребенного минерального острова идут диффузные потоки химических соединений, направление которых видно по языкам и кайме тростника. Микрорельеф ровный с кочками. Мощность торфа под такими сообществами не более 2,25 м. Максимальный уровень стоячей воды – 5 (до 15) см. КУ5 (10С) – ГМК пушицевый, сильно обводненный с единичной сосной. Уровень стоячей воды 10-20 см.

Ландшафтный профиль №19 заложен в пределах переходного болота, между двумя минеральными островами (о. Еловый, о. Сосновый). Профиль проложен в охранной зоне Полистовского заповедника, в 2,7 км к северу от истока р. Плавница. Антропогенное воздействие заключается в наличии следов от строительства экологической тропы и после прохождения болотохода. Профиль дополняет физико-географические профили прошлых лет, располагаясь под прямым углом к предыдущим проложениям, что создает более полную картину современного состояния уникального природного комплекса. На данном профиле было выделено 3 КУ, в дополнение к предыдущим, в целом отрезок представляет собой участок шейхцериено-вахтово-сфагновой топи.

КУ 1 – вахтово-сфагновая топь, грунтовые воды выходят на поверхность. Деревьев на участке нет. КУ 2 - сосна (10С) на шейхцериено-сфагновой топи с подрост сосны обыкновенной и единично – березы бородавчатой. Жизненное состояние деревьев – сильно ослабленное ($L_s=3,0$): здоровых деревьев нет, на долю ослабленных, а также отмирающих и сухостоя приходится по 25%, сильно ослабленных – 50%. КУ3 – сосняк пушицево-сфагновый (10С) с подростом сосны (7-8% площади участка), сухостоем и валежником. Уровень болотных вод – 15 см. Жизненное состояние деревьев – сильно ослабленное ($L_s=3,29$).

Ландшафтный профиль №20 проложен к ССВ от урочища минеральный остров Еловый (Алексеевский) на западной окраине Полистово-Ловатского болотного массива, к востоку от верхнего течения р. Плавница. Болото в бассейне водосбора р. Плавница в основном переходное, и сменяется на верховое при

удалении от минерального острова. Минеральный остров Еловый (Алексеевский) покрыт ельником черничником травяно-осоковым, переходящим по окраинам в травяной березняк. Ельник на острове с большим количеством ветровала, бурелома, по периферии проходит экологическая тропа. При продвижении по профилю происходит истощение болотной растительности, подъем уровня вод до 35 см. КУ1 – травяной березняк с примесью ели (8Б2Е). Хорошо развит подрост черемухи, березы, ели, рябины, опад листвы. По всей территории обычен сухостой, валежник. Выходы болотной воды – от 10-15 до 30 см. КУ2 (10Б) – береза на вахтово-сфагновой переходной топи. Уровень воды – до 15–20 см. КУ3 – в пределах шейхцерицево-сфагновой топи. Уровень воды – от 15 до 20 см. КУ 4 (9Б1Ос) – береза и единичная осина на осоково-шейхцерицевой топи с единичным подростом березы и большим количеством сухостойных деревьев. Уровень вод до 20–25 см, максимум 35 см. КУ5 – в пределах шейхцерицево-сфагновой топи с выходами воды до 10 см.

Ландшафтный профиль №21 проложен в 0,8 км к северо-востоку от истока р. Плавница, начинается на минеральном острове Чистый и длится до северо-западного берега оз. Долгое. По профилю чередуется лесная растительность минерального острова и болотная, а также околородная (рядом с озером). Близко к поверхности расположены подмоховые речки. Уровень болотных вод по профилю в районе топи от 0,1 до 1,5 м (максимум в районе разгрузки болотных вод – между первым и вторым ключевым участками). Наиболее топкие места видны по скоплениям хвоща топяного. КУ1 – ельник травяной с примесью осины, березы на минеральном острове. Очевидно постепенное выпадение осины из состава древостоя и зарастание минерального острова елью. На участке много ветровала (особенно осины), пней сосны и осины (с корой), присутствует сухостой. Подрост осины преобладает и развит по всему участку, подрост ели редкий. Жизненное состояние деревьев – сильно ослабленное ($L_s=2,67$). Далее по профилю – переходное кустарничково-сфагновое сообщество, тростник, затем – болотная растительность: вахтово-шейхцерицево-сфагновая топь, полосы хвоща топяного. КУ2 – вахтово-сфагновая топь с кочками

и тростником. Микрорельеф крупнокочкарный: (кочки 42,5 м) и ковры (в основном из вахты трехлистной, шейхцерии и сфагнома; участки тростника). Далее болотная растительность переходит в заболоченный лес. КУЗ (7Б(б)ЗС) – березняк кустарничково-сфагновый с примесью сосны минерального острова. Жизненное состояние деревьев – сильно ослабленное ($L_s=3,0$). КУ4 – кустарничково-пушицевое болото с единичной мелкой сосной. Рельеф микрокочкарный. Подрост сосны местами поврежден (пожелтевшие ветви), присутствует сухостой и валежник. КУ5 (10С) – участок болотной кустарничково-сфагновой и полоса (3 метра) околородной травянистой растительности. Жизненное состояние деревьев – сильно ослабленное ($L_s=3,0$): здоровых деревьев нет, всех остальных – по 1/3.

Ландшафтный профиль №22 заложен в 2,5 км к СВ от д. Ручьи (кордон заповедника) в охранной зоне Полистовского заповедника и охватывает сосново-пушицево-сфагновые биогеоценозы. КУ1 (6С4Б) – береза с примесью сосны на пушицево-сфагновом болоте. КУ2 (10С) – кустарничково-сфагновое сообщество с сосной обыкновенной и подростом березы. Уровень воды – 20 см. КУЗ (10С) – сосново-кустарничково-сфагновое болото с подбелом, кукушкиным льном и карликовой березкой. Уровень воды на выходах – от 5 до 15 см. КУ4 (10С) – находится в пределах участка кустарничково-сфагнового сообщества с сосной. Уровень вод – 10 см. КУ5 (7СЗБ) – кустарничково-сфагновое сообщество с сосной и березой. Растительность сходная с предыдущим участком, больше мирта и подбела, нет голубики и морошки. В понижении – выходы подмоховой речки 12–15 см.

Ландшафтный профиль №23 заложен в 1,3 км к СЗ от д. Ручьи. Здесь наблюдается смена от околородной растительности, переходного болота (с зарастающими мелколистными породами участками) к сосняку и березняку травяным. Значительная часть территории неоднократно была затронута пожарами. КУ1 – околородная осоково-злаковая растительность с подростом березы и осины приручьевого области (глубина ручья – 0,8 м). Об интенсивном зарастании и восстановлении поврежденного пожаром участка свидетельствует

обильный подрост деревьев и кустарников. Часть подроста находится в неудовлетворительном санитарном состоянии из-за подтопления территории. Околоводная злаково-осоковая растительность (*KY2*) сменяется пушицево-сфагновым сообществом переходного болота (*KY3*) с подростом сосны и слабо развитым подростом березы. *KY4* – влаголюбивая растительность (сфагнум, ситник развесистый) с подростом березы и сосны. Территория подвергалась пожарам: в 2002 г. – верховому, в 2009 г. – низовому. Следствие – валежник и сломанные сгоревшие березы по всей территории участка. Взрослые деревья отсутствуют, жизненное состояние березы (поролевого происхождения) – неудовлетворительное. *KY5* (5C5Oc) представлен влаголюбивой растительностью (тростниково-осоковой топью) с подростом березы, осины и ивы. Подлесок развит очень интенсивно – так как на территории интенсивное восстановление леса путем зарастания вторичными мелколиственными породами (в основном березой) после серьезного нарушения вследствие пожарной активности 2002 и 2009 гг. Отмечен валежник, сухостой сосны и березы. *KY6* (6C4Oc) – выгоревший сосняк зеленомошно-сфагновый с примесью осины. Все взрослые деревья сгоревшие. Присутствует подрост березы (включая однолетний), сломанные деревья, валежник, пни. Выходы воды (3 см) свидетельствуют о подтоплении территории. *KY7* (6Б4С) – выгоревший сосняк (пожар 2009 г) с примесью березы, подростом сосны. Повсеместен валежник

Ландшафтный профиль №24 проложен в 2,5 км к востоку от Ратчи. Сосново-кустарничково-сфагновая растительность переходит в кустарничково-сфагновое и пушицево-сфагновое сообщество. По мере увеличения влажности в области разгрузки болотных вод сообщество сменяется на шейхцериево-вахтово-сфагновую топь. *KY1* – сосняк кустарничково-сфагновый. Состояние сосны сильно ослабленное, подрост не весь жизнеспособный. Жизненное состояние древостоя – сильно ослабленное ($L_s=3,4$). *KY2* – пушицево-кустарничково-сфагновое сообщество с единичной сосной. Деревья сильно ослабленные ($L_s=3,0$), здоровых деревьев нет, остальные ранги жизненного состояния составляют по 1/3. *KY3* – шейхцериево-вахтово-сфагновая топь: хвощ, сфагнум, пушица, осоки,

вахта. Подтопленная территория по окраине болота – протока (зона разгрузки болотных вод) – глубина более 1,5 м. Смена растительности на КУЗ идет при изменении увлажнения – от шейхцеријево-сфагновой до вахтово-шейхцеријевой.

Ландшафтный профиль №25 (рис. 2.15) проложен через участок верхового болота и минеральный остров Темный (Волчий). По профилю чередуется грядово-мочажинный комплекс, шейхцеријево-сфагновая топь, ельник черничник с примесью березы (на минеральном острове), травяно-сфагновое сообщество, ГМК, кустарничково-пушицево-сфагновое сообщество с сосной, ельник-черничник с примесью березы (на минеральном острове). КУ1 – грядово-мочажинный комплекс (ГМК) с подрост березы. Ковровый микрорельеф со средними кочки (высотой 15 см). Вследствие обильного пузырькового выделения болотных газов с поверхности высохших черных мочажин, вахта трехлистная находится в угнетенном состоянии. На остальной территории подмоховая речка расположена близко к поверхности. КУ2 – шейхцеријево-сфагновая топь. В микрорельефе – ковры с микро-кочками и буграми. КУ3 – ельник-черничник с примесью березы на минеральном острове Темный. В составе древостоя преобладает ель (58%); присутствуют береза. Жизненное состояние деревьев – сильно ослабленное ($L_s=3,28$).

Ландшафтный профиль № 26 заложен в 5 км к северо-западу от кордона Гоголево, в районе урочища Несвино. Это участок верхового, преимущественно, сфагново-пушицевого болота, со встречающимися по окраинам лесными массивам. Сфагново-пушицевое сообщество сменяется на сосново-сфагново-пушицевое сообщество. КУ1 – сфагново-пушицевое сообщество с подростом сосны. КУ2 – сосново-пушицево-сфагновое сообщество. Доля и высота сосны (до 3 м) увеличивается, ее подрост становится меньше, чем взрослых деревьев. Отмечен единичный сухостой. КУ3 – ГМК с подростом сосны.

Ландшафтный профиль №27 проложен в охранный зоне, на юге Полистовского заповедника, в 5 км к северо-западу от кордона Гоголево. Здесь более четко прослеживается переходная зона от тайги к смешанным лесам, поскольку сукцессия растительности во многом происходила с участием

первичных древесных пород, а не мелколиственных. Вторичные березовые леса с единичным вкраплением ели и таежным мелкотравьем и сфагнумом, в понижениях рельефа сменяются на черноольшанники. Бывшие сельскохозяйственные земли (пашни и сенокосы) в условиях депопуляции населения во многом утратили хозяйственное значение, находятся в стадии зарастания. Здесь наиболее часто встречаются кустарниковые заросли ивы козьей, подрост березы повислой. Растительность прилегающего к территории болота представлена мхом-сфагнумом, пушицей, встречается кукушкин лен, вахта трехлистная, клюква. Среди топей обычны извилистые полосы осоки топяной на месте подмоховых речек, характерных в большей степени для сфагновых переходных болот, реже для верховых. По профилю происходит смена березняка травяного черноольшанником-кисличником и березняком-черничником, есть участки с растительностью вырубки. *KV1* (9O1B) – черноольшанник с примесью березы повислой. Подрост ольхи черной (клейкой) развит слабо, повсеместно сухостой, валежник. *KV2*, *KV3* (8B2O) – березняк с примесью ольхи черной. Типичен подрост березы повислой, заросли ивы козьей, сухостой, валежник.

Ландшафтный профиль №28 заложен в охранный зоне Полистовского заповедника. Вторичные березовые леса с вкраплением ели, таежным мелкотравьем, сфагнумом в понижениях рельефа сменяются на черноольшанники. Бывшие сельхоз угодья (пашни и сенокосы) в условиях депопуляции населения утратили хозяйственное значение, находятся в стадии зарастания. Часто встречаются кустарниковые заросли ивы козьей, подрост березы пушистой. Растительность болота представлена мхом-сфагнумом, пушицей, встречается кукушкин лен, вахта трехлистная, клюква. Среди топей обычны извилистые полосы осоки топяной на месте подмоховых речек, характерных степени для сфагновых переходных болот, реже для верховых (*KV2*). *KV1* (8O2B) представлен зарослями ольхи клейкой, распространенной по окраине болотного массива и образующей заболоченные черноольшанники. На участке встречается береза повислая, подрост ольхи клейкой развит слабо, обычен валежник, редок сухостой. *KV2* (9B1E) – сфагново-пушицевое сообщество, с березой и единичной елью, сухостоем.

Ландшафтный профиль №29 заложен к северу от деревни Гоголево, между двумя моренными холмами, на окраине минерального острова Малое Улошье. К северо-западу расположены оз. Круглое и Долгое (рис. 3.3А).

По профилю топь сменяется древесно-моховыми сообществами, переходя в травяной черноольшанник минерального острова. По профилю встречаются черные мочажины с угнетенной вахтой, выделяющим болотным метаном. В районе *KУ4* появляется единичная сосна (высотой до 1,0-1,5 м) и береза (до 5,0 м). Близко к поверхности расположены подмоховые речки, далее топь сменяется кустарничково-пушицево-сфагновым болотом, где болотная сосна имеет высоту уже до 3,0 м. Уровень болотных вод по всему профилю от 0,15 до 0,6 м (максимум в районе медвежьей тропы на окраине профиля). Черные мочажины встречаются в пределах понижения, начинающегося после *KУ1*.

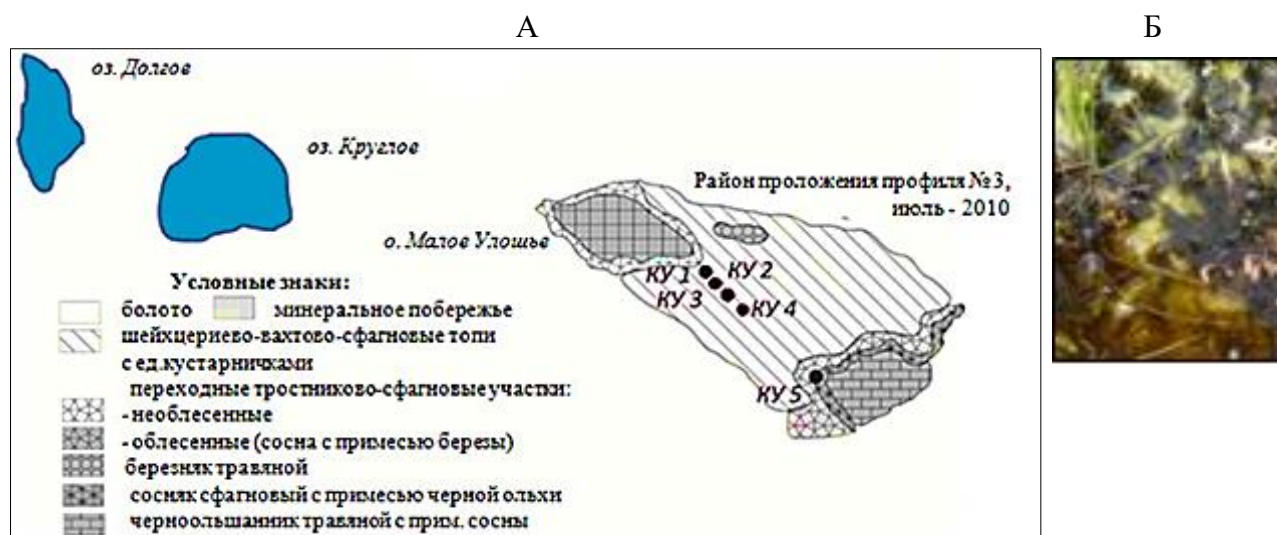


Рисунок 3.3. Расположение ландшафтного профиля № 29 (А) и выделение метана на КУ4 вахтово-шейхцериевой топи (Б)

KУ1 – сосняк кустарничково-сфагновый с примесью березы (9Б1С). Выходы вод интенсивнее в местах звериных троп. Деревья участка сильно ослабленные ($L_s=2,91$). *KУ2* – береза с примесью сосны (7Б3С) на шейхцерииво-сфагновой топи. Подрост сосны и березы единичен, вахта угнетена, пушица дернистая – узкими ареалами. На мочажине – сфагнум и шейхцерия и угнетенная вахта. Жизненное состояние деревьев участка – ослабленное ($L_s=2,56$). *KУ3* – пушицево-сфагновая топь, осложненная кочками. Единичен подрост березы и сосны. *KУ4* – вахтово-шейхцериивая топь (шейхцерия, вахта, сфагнум, с меньшим,

чем на предыдущем участке проективным покрытием, хвощ, единично – пушица). В черных мочажинах много органики, диагностируется бурное пузырьковое выделение газов с их поверхности (рис. 3.3Б); в связи с чем вахта и хвощ находятся в угнетенном состоянии. КУ5 – переходная часть от травяно-сфагнового березняка минерального острова к вахтово-шейхцериевой топи. Выходы болотных вод – практически по всему участку, преобладают шейхцерия, вахта, сфагнум. Участок осложнен кочками из клюквы, подбела, кукушкина льна, шейхцерии, встречается тростник.

Ландшафтный профиль №30 заложен в 7,0 км к северо-востоку от д. Цевло, местность Озерявка. Представляет собой участок болота, сменяющегося лесом. Следствием того, что в последние годы происходили значительные колебания уровня грунтовых вод, доля сухостойной березы увеличилась. Участвовавшая повторяемость экстремальных погодных условий, особенно в переходные сезоны, накладывает отпечаток на все компоненты ландшафта, особенно, на растительность как индикатор ландшафтных изменений. КУ1 заложен на переходной части от болота к лесу со сфагново-пушицевым сообществом. Обычен сухостой березы, развит подрост березы, единичен подрост сосны. КУ2 (10Б) – березняк с примесью ольхи черной. Встречается валежник и сухостой.

Ландшафтный профиль №31 заложен в 7,0 км на северо-восток от д. Цевло, местность Озерявка. Профиль представляет собой пирогенный лесной участок, сменяющийся лугом. Далее, в переходной от луга к лесу части доминируют березы пушистая и бородавчатая с подростом, ольха черная и реже ива козья. КУ1 – пирогенный участок массива ольхи черной и березы повислой (черноольшанник травяной). Травяной ярус практически отсутствует. Вследствие недавнего низового пожара, видимая сукцессия еще не началась. Повсеместно встречается валежник, сухостой, ветровал.



Рисунок 3.4. КУ2 ландшафтного профиля №31

КУ2 – переходная часть от луга к травяному березняку (рис. 3.4). Встречается ива козья, валежник, сухостой, ветровал. КУ3 – березняк травяной с примесью ольхи черной. Встречается подрост березы, валежник, сухостой. КУ4 – луговая растительность, переходящая в лесную. Из древесных пород – береза повислая, ольха серая и их подрост.

Ландшафтный профиль №32 заложен в 2,5 км к северо-западу от д. Цевло. В связи с выходом земель из сельскохозяйственного оборота, наблюдается сукцессия зарастания. Участок преобразован осушением дренажной канавой прилегающей к дороге территории. По обочине насыпи – сорно-луговая растительность и заросли кустарников. Растительность сменяется на луговой комплекс, переходящий в сосняк сфагновый. Присутствуют следы низового пожара, обилён валежник, сухостой. КУ 1 – сосняк сфагновый с примесью березы и осины (8С1Б1Ос). В кустарничковом ярусе – подрост березы, черемуха; валежник, опад хвои; 90% коры сосен повреждено низовым пожаром, типичны сухостой и валежник. Жизненное состояние древостоя – усыхающее (Ls=3,67). КУ2 – сосняк травяно-сфагновый с примесью березы и ели (8С2Б+Е). На участке – подрост черемухи, березы и ели, сухостой и валежник. Жизненное состояние древостоя – сильно ослабленное (Ls=3,51).

Ландшафтный профиль №33 в 8 км к северо-северо-западу от д. Цевло, ур. Ствольня. Данный район в прошлом был заселен, земли были распаханы. В настоящий момент сельхозугодья зарастают.

Ландшафтный профиль проходит от проселочной дороги с преобладающей рудеральной растительностью к березняку травяному. КУ 1 (6б2Ос2Ол+Д) – травяной березняк с примесью дуба, осины и ольхи серой на границе леса с лугом. Участок был затронут низовым пожаром, обилён валежник, сухие выгоревшие деревья.

Ландшафтный профиль №34 представляет собой пирогенный участок, переходящий в не затронутый пожаром лес. На территории преобладают березняки и черноольшанники, единичны рябина, лещина и заросли ивы. КУ 1 – черноольшанник с примесью березы. О влиянии низового пожара свидетельствуют выгоревший подрост ольхи черной, сухостой, пни. Травяной ярус практически восстановлен. КУ2 – черноольшанник травяной. Распространены валежник, сухостой. КУ3 – березняк травяной. Основа древостоя – береза повислая и пушистая. Встречается валежник, сухостой. КУ4 – березняк травяной с примесью ольхи черной. Основу древостоя составляют березы повислая и пушистая с примесью ольхи черной. Встречается подрост березы, валежник, сухостой (высотой 1,5-3,0 м, диаметром 8-17 см). КУ5 – черноольшанник травяной с примесью березы, подростом ольхи. Присутствуют валежник, сухостой (высотой 1,0-2,0 м), заросли ивы.

Район заложения ландшафтных профилей №№35-39 представляет собой участок осушенного болота на территории бывших торфоразработок, занят ландшафтами с преобладанием пирогенных ПК.

Ландшафтный профиль №35 заложен в 3,9 км к северо-западу от д. Цевло на землях, вышедших из сельскохозяйственного оборота. Профиль начинается с березняка, отделенного от участка луговой и сорно-луговой растительности железнодорожной колеи дренажной канавой. Далее ПК сменяется березняком, пострадавшим от пожара. КУ1 (961Ос) – березняк травяно-осоковый с примесью осины. На участке проходит дренажная канава (1-3 м шириной, 0,6–1,2 м глубиной). КУ2 (106) – участок сорно-луговой растительности с единичной березой в составе древостоя. КУ3 – сорно-луговая растительность железнодорожной колеи. КУ4 (961с) – сорно-луговая растительность с единично встречающейся березой и сосной. Встречаются заросли ивы козьей, подрост березы, валежник и сухостой. КУ5 (10Б) – березняк травяной пирогенный. Встречается валежник и сухостой, последствия низового пожара. КУ 6 (10Б) – выгоревший березняк с примесью ели, повсеместным сухостоем и валежником. Восстановления выгоревшей ели на участке не наблюдается. Вследствие

значимого антропогенного преобразования участка наблюдается большой разброс по характеру состояния древостоя. Из общего фона резко выделяются *KУ2* и *KУ4*. *KУ2* расположен вблизи мелиоративной канавы, *KУ4* – на высушенном локальном возвышении, подвергшемся низовому пожару.

Ландшафтный профиль №36. Выгоревший участок торфяника направо от Укоколейки, проложен в 1,4 км к северо-северо-востоку от д. Цевло. Прослеживается смена сосно-луговой растительности железнодорожной колеи березняком травяным и сосняком зеленомошником с угнетенным сфагнумом, который в нижней части склона и по берегам дренажных канав увеличивает свою долю. Ближе к протоке появляется локальный участок травяного березняка и растительность сырых лугов. *KУ1* (8Б2С) – чередование участков разных ПК: сорно-луговой растительности и березняка с примесью сосны. Границей между сообществами служит дренажная канава (ширина 1 м, глубина 1,3 м). Валежник и сухостой свидетельствуют о последствиях низового пожара. *KУ2* (5Б5С) – сосняк-зеленомошник с примесью березы. На участке много валежника, сухостоя и пней.

KУ3 (7С3Б) – сосняк с примесью березы. Берега дренажной канавы покрыты влаголюбивой растительностью (зеленым мхом, сфагнумом, клюквой, голубикой, пушицей, миртом). По мере удаления от дренажной канавы моховая растительность деградирует, уменьшаются доля сфагнума, кукушкина льна, пятна торфа местами выходят на поверхность. Есть сухостой и валежник. *KУ4* (6С4Б) – сосняк с примесью березы и влаголюбивой кустарничково-моховой растительностью по берегам дренажной канавы. Об интенсивном возобновлении березы и сосны свидетельствует большое количество их подроста по всему участку. *KУ5* (10Б) – переходная часть от участка березняка к влаголюбивой луговой растительности поймы реки. Пойменная растительность (рдесты, тростник, сабельник болотный) служит индикатором зарастания водотока.

Ландшафтный профиль №37 заложен в 2,5 км к северо-северо-западу от пос. Цевло, на участке облесенного сосной болота, в прошлом подвергшийся низовому пожару, где наблюдается вторичная сукцессия растительности. Растительность участка верхового болота преимущественно представлена мхом-

сфагнумом, кукушкиным льном, пушицей, клюквой, болотным миртом, багульником и голубикой. Как известно [123, 159], лесные пожары приводят к увеличению содержания в почве доступных растениям зольных элементов, территория становится более подверженной эрозионным процессам, меняется гидрорежим, скорость ветра, режим температуры, осадков, испарения, преобразуется обмен теплом и влагой в припочвенном слое воздуха. Одновременно с ростом содержания катионов Ca^{2+} , Mg^{2+} возрастает содержание сульфатов-ионов и кислотность почвы в результате окисления органического вещества при горении [159]. Происходит вспышка массового размножения насекомых-ксилофагов, сопровождаемых специфичной орнитофауной [123]. Самым распространенным древесным растением-пирофитом на исследуемых широтах является сосна обыкновенная, обладающая рядом признаков огнеустойчивости: светолюбие, толстая кора ствола (особенно на уровне 15-20 см от поверхности земли, где наблюдается наиболее высокая температура при низовом пожаре), заглубление корней, высокое расположение кроны, быстрый рост в раннем возрасте и очищение ствола от нижних ветвей, уменьшающее опасность перехода низового пожара в верховой, способность запасать семена в шишках и освобождать сразу пожара и т.д. [123].

С целью выявления динамики растительности на пирогенных участках болота, работы на месте заложения данного ландшафтного профиля велись в летний период 2008-2009 г. При полевых наблюдениях изменения морфометрических характеристик древостоя выявлено, что подрост и молодые деревья постепенно увеличивают свою долю. При этом наблюдается большое количество сухостоя и угнетение мохового яруса вследствие недавнего небольшого по площади и интенсивности низового пожара. КУ 1 заложен на окраине болотного массива и соответствует сосняку кустарничково-сфагновому с примесью березы (состав древостоя соответствовал 8С2Б – в 2009 г. и 9С1Б – в 2008 г.). КУ 2 – березняк-черничник (6Б4С), затронутый верховым пожаром. Обычен сухостой и подрост березы и сосны, местами выгоревший торф, пни. Обычен сухостой и валежник. КУ3 (7С3Б) – кустарничково-сфагновый

(багульниково-сфагновый) сосняк с активно протекающей пирогенной сукцессией. Встречается подрост березы повислой и сосны обыкновенной, валежник, сухостой. КУ4 (6С4Б) также является территорией с активно выраженной пирогенной сукцессией (рис. 3.5Б). Из взрослых деревьев доминирует сосна обыкновенная, встречается береза повислая. Большое количество подроста и сухостоя сосны, встречается валежник.

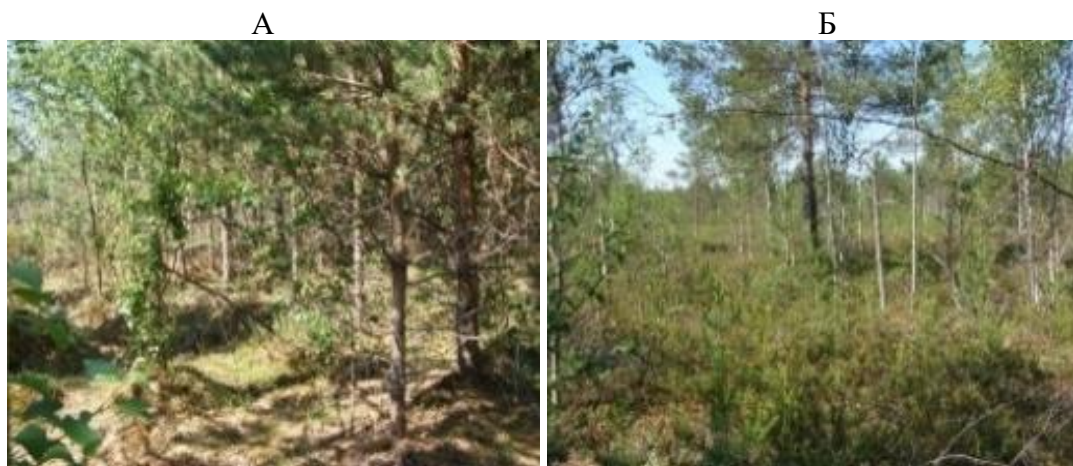


Рисунок 3.5. КУ1 (А) и КУ4 (Б) ландшафтного профиля №3

Ландшафтный профиль №38 проложен параллельно профилям № 37 и 39, представляет собой аналогичную смену сообществ. Профиль начинается от дренажной канавы, проходит через узкоколеечную железную дорогу, бывшие торфоразработки. Растительность сменяется от околородной и сорно-луговой на древесно-моховую (березняк- и сосняк-зеленомошники и кустарничково-пушицевые березняки и сосняки. Осушение болота способствовало ухудшению состояние мохового покрова, что наглядно прослеживается на протяжении данного ландшафтного профиля. КУ 1 (8Б(б)2С) – расположен в пределах березняка-зеленомошника с примесью сосны и подростом березы и сосны. В травяно-кустарничково-моховом ярусе: кукушкин лен, пушица, клюква, мирт, подбел. КУ 2 (7С3Б(б)) – в пределах сосняка-зеленомошника с примесью березы, подростом березы и сосны. В кустарничково-моховом ярусе – пушица, багульник, кукушкин лен, сфагнум угнетен. Встречается ива, голубика, пушица, мирт, брусника; клюква и сфагнум – по берегам дренажной канавы. По мере удаления от дренажной канавы моховая растительность деградирует, сфагнум утрачивается, уменьшается доля зеленого мха, местами торф выходит на

поверхность. На участке обильны сухостой, валежник и пни. КУ 3 (5С5Б(б)) – кустарничковый сосняк с примесью березы. Среди кустарничков доминирует багульник, встречается подбел. В моховом ярусе доминирует кукушкин лен, сфагнум угнетен. На участке видны следы пожара, много валежника, сухостоя, пней. Березняк в настоящее время вытесняется сосной и характеризуется неудовлетворительным состоянием. Однако возобновление березы присутствует в виде единичного подроста. КУ 4 (5Б(б)5С) – преимущественно сорно-луговая растительность насыпи железнодорожной колеи. Подрост березы сухой, единичные деревья в угнетенном состоянии. КУ 5 (7С3Б(б)) – сосняк травяной с примесью березы. На участке наблюдаются выходы воды, поросль березы часто в усыхающем состоянии. КУ 6 (6С4Б(б)) – кустарничково-пушицево-сфагновая растительность с сосной и березой. Подрост сосны единичен; поросль березы в усыхающем состоянии (4-5 класс жизненного состояния). Размеры зарастающей мелиоративной канавы: глубина – 1,3 м, длина – 4,5, ширина – 0,5-1,0 м. По классам экологического состояния древостоя (рис. 3.2) участки в значительной степени разнородны, что является следствием их значимого антропогенного преобразования. Качественная структура экологического состояния, имеющая значение для оптимизации природной среды, характерна для прирусловой части (КУ1) и КУ6. Территории находятся в отдалении от узкоколеечной дороги и представляют собой березняки. Самые неблагоприятные в по классам жизненного состояния участки – это КУ 2, 3 и 7. Выявлено некоторое изменение состояния растительных сообществ в годовой динамике. По сравнению с 2009, в 2010 г стало суше, количество клюквы и сфагнума уменьшилось, а зеленого мха – увеличилось. Возобновление деревьев на участках 2, 3, 4 идет медленно, что диагностируется по слабым изменениям в структуре морфометрических характеристик древостоя.

Ландшафтный профиль №39 заложен в 3 км к северо-северо-западу от пос. Цевло, на месте проводившихся в 80-е гг XX века торфоразработок. Основу ландшафтов составляет переход от низинных болотных и сырых луговых комплексов к антропогенно преобразованным верховым болотам, облесенным

преимущественно сосной обыкновенной (рис. 3.7). Смена ПК наблюдается при увеличении относительных высот над уровнем озера и уменьшении плотности осушительных мелиоративных канав на 1 км². Значительная часть территории заложения профиля затронута низовым пожаром. На данном профиле были выделены 10 ключевых участков с целью проведения лесотаксационных описаний, выявления экологического состояния древостоя, степень антропогенной трансформации ПК. *KУ1* (9Б(б)1Ос) – травяной березняк с примесью осины (рис. 3.7). Обычен сухостой, присутствует валежник, кусты ивы. Участок захватывает насыпной грунт с ныне зарастающей лесной грунтовой дороги, в прошлом проезжей. В возрастной структуре древостоя преобладает молодой лес, что также соотносится с морфометрическими характеристиками древостоя. *KУ* (6Б(б)4С) – березняк кустарничково-сфагновый с обильным подростом березы и примесью сосны. По участку проходит дренажная канава, рядом с которой появляется клюква и резко увеличивается доля сфагнума. На участке встречаются сухостой и валежник, участки групповой поросли березы. О вероятной смене сосняка березняком свидетельствует возрастная структура древостоя. Не смотря на большую долю березы, возраст сосен более старый. *KУ3* (7С3Б(б)) – кустарничково-сфагновое сообщество с березой и сосной – участок в пределах кустарничкового сосняка-зеленомошника с примесью березы. Сфагнум значительно угнетен. На участке много берез порослевого происхождения, валежника, сухостоя. Березняк в настоящее время вытесняется сосной и характеризуется усыхающим жизненным состоянием. *KУ4* (10Б(б)) – сорно-луговая растительность насыпи железнодорожной колеи. Подрост березы и осины в сухостойном состоянии. *KУ5* (5С5Б(б)) – травяной сосняк с примесью березы и подростом сосны. По участку проходит дренажная канава, есть понижения, заполненные водой. К дренажной канаве приурочены сабельник болотный, ряска. *KУ6* (6Б(б)4С) – кустарничково-пушицево-сфагновое болото с березой и сосной. На участке развит подрост березы, сосны, единичен подрост ели. *KУ7* (6Б(б)4С) – пушицево-кустарничковое сообщество, облесенное березой и сосной. Подрост березы единичен, в усыхающем состоянии. Участок захватывает дренажную

канаву. КУ8 (5Б(б)5С) – кустарничково-моховый сосняк с примесью березы. По участку проходит дренажная канава. КУ9 (5Б(б)5С+Ос) – травяной березняк с примесью сосны, подростом березы и единичной осиной. КУ10 (7СЗБ(б)+Ос) – травяной сосняк с примесью березы и осины, пересекает 2 дренажных канавы.

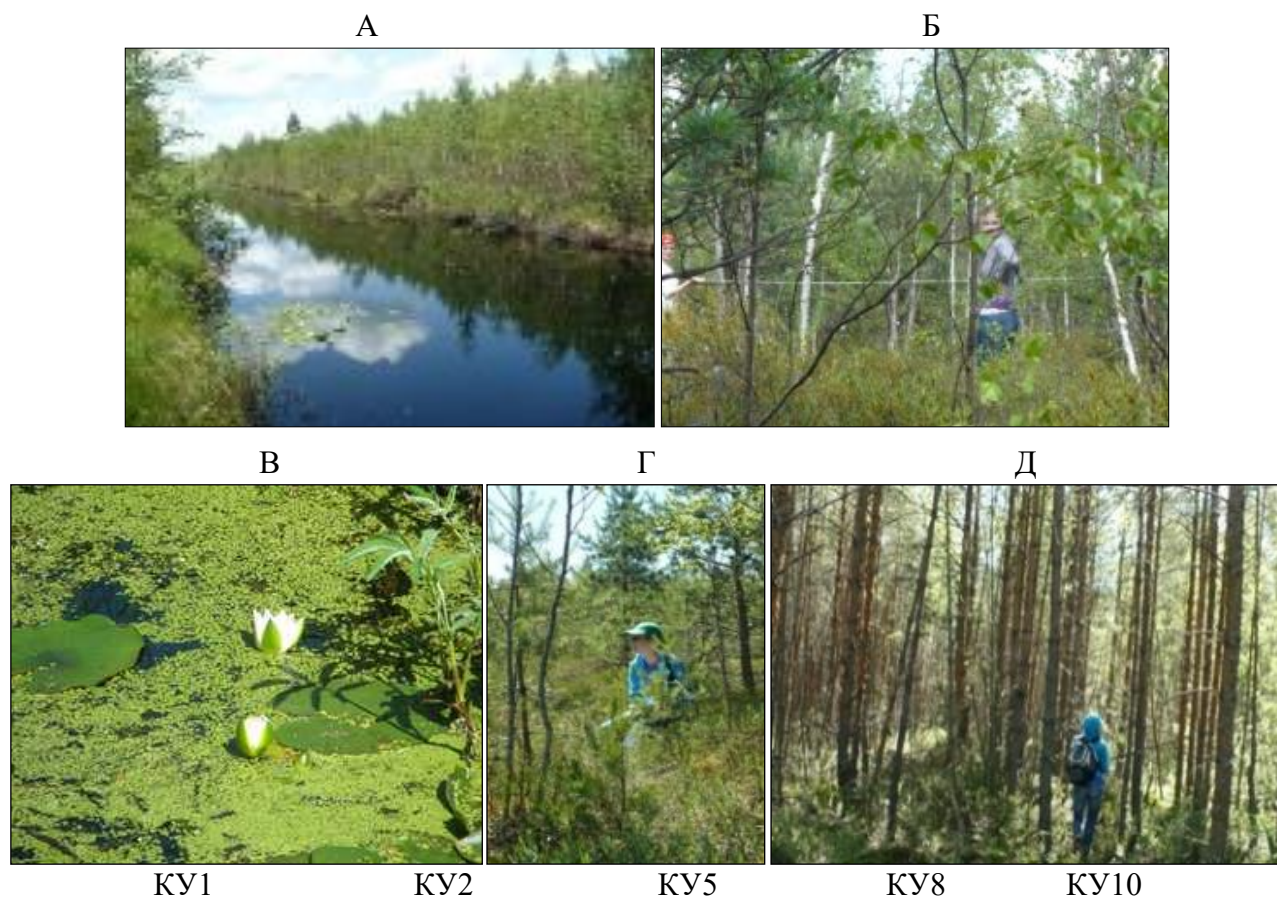


Рисунок 3.7. КУ1 (А), КУ2 (Б), КУ5 (В), КУ8 (Г), КУ10 (Д) ландшафтного профиля №39

По классам жизненного состояния (рис. 3.2) участки разнородны, что свидетельствует об их значимом антропогенном преобразовании. Благоприятная структура экологического состояния березняков характерна для прирусловой части (КУ6, 8-9) – территории в отдалении от узкоколеечной дороги. Самые неблагоприятные в экологическом состоянии участки – это КУ 2-3, 10. Таким образом, если сообщество подверглось изменениям, связанным с разработками торфа, оно становится более пожароопасным. Процессы протекают отлично от естественного хода. На верховых болотах осушение приводит к улучшению роста кустарничков, переходу сфагновых болот в кустарничковые и сосняки-мелколесья. Увеличивается рост сосны, появляется береза, позже – подрост ели.

Однако видовой состав травяно-кустарничкового яруса меняется довольно медленно (десятки лет), нередко кустарнички разрастаются и вдоль дренажных канав. Через некоторое время становится больше черники и брусники, покров сфагновых мхов начинает деградировать, и биогеоценоз переходит из древесно-моховой в древесно-кустарничковую группу. На осушенных верховых болотах формируется бугристый микрорельеф (из-за неравномерности оседания торфа на болотных кочках). Жизненное состояние древостоя лучше при более благоприятных условиях дренажа, и, напротив, ухудшается при приближении грунтовых вод к поверхности и на пирогенных участках. На затронутых пожаром участках бывших торфопеработок доля деревьев 1-2 класса увеличивается за счет распространенного молодняка, состояние которого наиболее благоприятное; взрослые деревья преимущественно в состоянии от сильно ослабленного до сухостойного.

3.1.2. Радиловский болотный массив

Радиловский болотный массив расположен на границе южной тайги со смешанными и широколиственными лесами. По Боч М.С. (Водно-болотные угодья, 1999), Радиловский болотный массив относится к Восточно-Прибалтийской провинции зоны выпуклых грядово-мочажинных болот. Согласно данным ландшафтного профилирования, заболоченные березняки и сосняки, либо облесенные переходные топи на берегу озера сменяются сообществами верховых болот, переходящими в сфагновые сосняки. На грядах и холмах доминируют сфагновые сосняки-ягодники (черничники и брусничники), иногда встречаются ельники с примесью березы. Межкамовые понижения заняты также верховыми и переходными болотами. Так называемое «минеральное побережье» представлено хвойными и смешанными лесами, в основном ельниками и березняками с примесью ольхи. Типичное верховое болото окружает озера Радиловское, Ситенское и Выходно. Ландшафтная структура Радиловского болотного массива сходна с Полистово-Ловатской системой болотных массивов, но имеет значительно меньшие размеры. Доля водно-болотных ландшафтов (55%) здесь немного меньше, чем в Полистово-Ловатской болотной системе. Суммарная доля

лесных, лесоболотных (20 и 7%), водных (18%) и луговых (2%) ландшафтов больше. Леса и луга распространены на моренных грядках и по окраинам болотных массивов. На территории Радиловского болотного массива заложено 3 ландшафтных профиля (рис. 2.21).

Ландшафтный профиль №40 проложен в 1,2 км к западу от д. Радилово. Захватывает преимущественно лесные ПК, а также водно-болотные и часть лесоболотных. Проходит по минеральному побережью, четырем моренным грядкам и заболоченной низине. Сфагновый сосняк с примесью из березы и ели покрывает минеральное основание и песчаные озы, в понижениях в состав растительности включаются осоки и болотные кустарнички. По направлению к озеру ПК сменяются на переходное болото и заболоченный осоковый березняк. При движении в сторону озера ухудшаются условия дренажа и жизненное состояние древостоя (рис. 3.2) Классы жизненного состояния L_s также меняются от ослабленного (2,41) до сильно ослабленного (3,25). Изменяется тип почв от дерново-подзолистых и торфяно-глеезёмов к торфяным олиготрофным. *KУ1* – сосняк черничник сфагновый с примесью ели (10С+Е). Сообщество занимает вершину озовой гряды. На участке развит подрост ели. Состояние древостоя ослабленное (рис. 3.2, $L_s=2,45$). Далее по профилю появляется примесь березы, исчезает ель, в понижениях появляются осоки при уменьшении доли кустарничков, на повышениях – брусника, иногда морошка и ягель. *KУ2* – сосняк черничник сфагновый с примесью березы (10С+Б). Положение на вершине моренной гряды способствует хорошему дренажу и благоприятным условиям для роста сосны, жизненность которой улучшается ($L_s=2,14$): увеличивается доля деревьев 1 и 2 класса жизненного состояния (рис. 3.2). *KУ3* – ельник-черничник с примесью сосны (9Е1С). Вниз по склону появляется клюква, встречается крушина ломкая, подрост ели, напротив, постепенно исчезает. Обычен ветровал. Состояние древостоя сильно ослабленное ($L_s=2,8$). *KУ4* – сосняк травяной (10С), подрост березы единичен, сосны – повсеместен. Древостой сосны сильно ослаблен ($L_s=2,92$). *KУ5* – осоково-сфагновая топь, с березой и примесью ольхи черной. Древостой в угнетенном состоянии. На участке подрост березы, возобновление ольхи черной, ива. Уровень воды – 20 см. Подтопление территории грунтовыми

водами создает здесь самые неблагоприятные условия для древостоя: преобладают отмирающие деревья и сухостой, $L_s=3,25$.

Ландшафтный профиль №41. Проложен в том же районе, в 0,9 км к западу от д. Радилово, захватывает лесоболотные, лесные и водно-болотные ПК (рис. 2.18). Начинается с заболоченного сосняка на берегу оз. Радиловское, который сменяется вахтово-шейхцериевой топью, далее – чередование сосняка-брусничника (на повышениях мезорельефа) и ГМК (на понижениях). Далее, при повышении мезорельефа ГМК сменяет сосняк-брусничник с высотой деревьев до 3 м. Растительность затем сменяется на травяно-сфагновую без древостоя, с преобладанием пушицы и единичными мелкими кочками. На окраине минерального острова на смену болотным комплексам приходит заболоченный березняк с примесью сосны. При резком повышении, на склоне, ПК сменяется багульниковым сосняком с примесью березы, который на вершине оза переходит в сосняк-брусничник с преобладанием ягеля в покрове. Брусничник при понижении уступает место багульниковому сосняку с более старым лесом (высокие деревья, ветровал), в составе которого появляется ель. При понижении сообщество сменяется на сосняк багульниковый, далее вниз по склону появляется осоково-тростниковая топь. *KУ1* – топь вахтово-шейхцериевая. В микропонижениях – черные мочажины с пятнами угнетенной растительности. Топь без открытых выходов воды. *KУ2* – ГМК с сосной. В мочажинах уровень воды – 10 см, есть пятна деградированной растительности. Состояние деревьев сильно ослабленное ($L_s=2,90$). *KУ3* – сосняк-черничник на вершине песчаного оза (10С). На участке представлен валежник, сухостой, состояние деревьев сильно ослабленное ($L_s=2,66$). *KУ4* – сосняк багульниковый с примесью ели (9С1Е). Древостой имеет больший возраст, чем на предыдущих КУ, что диагностируется по морфометрическим и экологическим показателям (рис. 3.2). Присутствует сухостой, валежник и ветровал. Состояние деревьев ослабленное ($L_s=2,03$).

Ландшафтный профиль №42 проложен в 1,0 км к северу от урочища Борок. Захватывает водно-болотные, лесные, лесоболотные ПК. Начинаясь со сфагновых сосняка и ельника, через травяно-моховую растительность переходит в топь, которая прерывается сосняком на минеральном острове. Смена

растительных сообществ аналогично ландшафтному профилю №40. КУ1 расположен на вершине оза, границе сфагнового сосняка с примесью березы (9С1Б) и сосняка с примесью ели и березы (5С3Б2Е+Ос), в центре участка проходит лесная дорога. На участке присутствует валежник, сухостоя нет, в целом состояние древостоя относительно благоприятное, ослабленное, ближе к здоровому ($L_s=1,69$). Сосняк сменяется ельником с примесью сосны, березы и ольхи черной (КУ2). Лес (6Е3С1Б+Ол(ч) подтоплен (грунтовые воды близко к поверхности). Представлен валежник, сухостой, состояние деревьев сильно ослабленное ($L_s=2,69$). КУ3 – сосняк-брусничник с примесью березы, ее подростом, занимающий нижнюю часть склона линейного оза. Микрорельеф выровненный, осложнен микрокочками с зеленым мхом. На участке небольшое количество валежника, сухостой единичен. Состояние деревьев сильно ослабленное ($L_s=2,69$). На окраине линейного оза растительность переходного болота. Далее – осоковая и шейхцеригово-сфагновая растительность с тростником и пушицей, встречается сосна и единично береза. Рельеф кочкарно-ковровый. КУ4 – топь осоковая, сильно обводненная, есть богатые органикой черные мочажины. Топь сменяется на шейхцеригово-сфагновую, далее – пушицевую и сосняк брусничник на минеральном острове. КУ5 – сосняк брусничник с примесью березы (9С1Б) на минеральном острове, сложенном песчаными моренными отложениями. Грунтовые воды близко к поверхности. Древостой угнетен, состояние деревьев сильно ослабленное ($L_s=3,39$). Далее по профилю сосняк сменяется шейхцеригово-сфагновой и осоковой топью.

Несмотря на ухудшение условий дренажа на участках заложения ландшафтных профилей № 40 и 42, доля здоровых деревьев здесь выше, чем на профиле 2, что объясняется более высокой долей относительно здорового молодняка в их составе. В целом, жизненное состояние на участках болотных ПК (профиль 40) менее благоприятное (от сильно ослабленного до сухостоя), чем на участках лесных и лесоболотных ПК (в основном ослабленные и сильно ослабленные).

3.2. Состояние природных комплексов и их охрана

ПК верховых болот Полистовского заповедника в целом находятся в естественном, не нарушенном деятельностью человека состоянии [91, 148]. Однако на территории заповедника есть локальные участки с нарушенным деятельностью браконьеров растительным покровом (несанкционированный сбор клюквы и охота) и последствиями прохождения гусеничной техники (болотоходов), с которыми борется заповедный режим. В настоящее время в заповеднике действует 4 экологических маршрута, самый посещаемый – экологическая тропа «Плавницкое болото». Восстановление сфагнового покрова после механических повреждений длительный процесс [13]. Наибольший линейный прирост (3–4 мм/год) наблюдается у сфагновых мхов со средней по плотности дерниной в умеренно влажных сфагновых фитоценозах: мезотрофных болотах и заболоченных лесах [13, 117]. Согласно [80], предельно-допустимые нагрузки, приводящие к полному разрушению сообщества, минимальны для тростниково-осокового сообщества (60 проходов), максимальны для кустарничково-осоково-сфагновых ковров мезотрофного болота и сосново-пушицево-сфагнового олиготрофного болота (180 проходов). При уменьшении увлажненности восстановление замедляется, происходят регрессивные явления, мхи уступают место лишайникам печеночникам, появляются черные (юнгерманиевые) мочажины с угнетенным сфагновым покровом. Регрессивные явления имеют как естественные (эволюция болотного массива), так и антропогенно обусловленные причины (торфоразработки, механическое повреждение мха, пожары). Последствия появления регрессивных сообществ сказываются на потоках газов с поверхности болотных ПК: черные мочажины выпускают в атмосферу больше метана по сравнению с ненарушенными участками болот.

Полистово-Ловатская болотная система, как одно из уникальных требующих незамедлительной охраны болот России, была включена в список Международного проекта ЮНЕСКО «Телма» в 1973 г. Также входит в Перспективный список водно-болотных угодий международного значения Ramsar Shadow List – Рамсарской конвенции (с 1990-х гг) и в перечень Ключевых

орнитологических территорий России (с 2001 г). Ключевая орнитологическая территория служит резерватом для мигрирующих птиц, ее сохранение и изучение – задача Боннской конвенции и Международного соглашения об охране мигрирующих афро-евро-азиатских водоплавающих птиц (AEWA).

Прилегающие к заповеднику неохраемые территории, напротив, были нарушены антропогенной деятельностью более трети века назад. Здесь имеют место и локальные антропогенные воздействия (дороги, искусственные водные пути, мелиоративная сеть, ЛЭП, деревни, торфоразработки, бывшие сельхозугодья и вырубки). Обширная юго-западная часть Полистово-Ловатской болотной системы занята заброшенными торфоразработками. В этом районе сохранилось большое количество мелиоративных канав. С конца 80-х – начала 90-х гг XX века, после прекращения торфоразработок, и по настоящее время здесь идут восстановительные сукцессии растительного покрова. Сеть мелиоративных канав, созданных для осушения, ухудшила экологическое равновесие естественных комплексов: вызвала смену растительности, свойств почв. При удалении от канав моховая растительность деградирует: сфагнум утрачен, зеленый мох в усыхающем состоянии, из состава сообщества выпадает клюква, пушица, местами выходит на поверхность торф, часто встречаются выгоревшие участки [148]. Нарушенные торфоразработками (с 80-х до начала 90-х гг) участки в окрестностях д. Цевло и д. Городовик (в районе узкоколейной железной дороги) подвергались в прошлом низовым пожарам [91, 148]. В районе исследования наиболее неустойчивы к пожарам леса на торфяных почвах в пределах антропогенно преобразованных сосново-сфагново-пушицевых [148], а также сосново-кустарничково-сфагновых ПК. На горях, как известно [123], наблюдается вторичное зарастание торфяника мелколиственными древесными породами и сосной. Где преобладают древостой семенного происхождения и групповые поросли березы. Семенной древостой медленнее растет, чем порослевое возобновление, но более долговечный, устойчивый к болезням и экологически ценный.

На состояние экосистем неохраемых территорий накладывают отпечаток пожары и последствия рекреационной деятельности человека (сбора грибов, ягод,

охоты, рыболовства) имеют место на небольшом участке в юго-восточной части Радиловского массива, где побережье оз. Радиловское наиболее доступно местному населению для рекреационной деятельности [83].

Состояние водных объектов неохраяемого района, прилегающего к бывшим торфоразработкам, также изменяется во времени. Площадь озер постепенно сокращается. Озера, особенно озеро Цевло, зарастают, мелеют и подвергается заболачиванию. Из-за проводившихся торфоразработок, повлиявших на уровенный режим озера, произошло изменение водных запасов, сократился водообмен, озеро стало интенсивно заселяться водной растительностью как с берегов (осоки, тростник), так и по всей площади (преимущественно камышом).

Итак, на контрасте состояния охраняемой и прилегающей к ней территории хорошо диагностируется степень устойчивости болотных ПК к антропогенным нарушениям. Преобладающие верховые болотные комплексы уязвимы даже к незначительной степени антропогенного воздействия, на которые накладываются катастрофические природные явления. Пожары, которым наиболее подвержены осушенные торфяные почвы, также нарушают естественное развитие экосистем. Использование гусеничной техники, добыча торфа, браконьерство и неконтролируемая туристическая деятельность потенциально влекут необратимые изменения биогеоценоза. В задачи заповедника входит предотвращение негативного воздействия на ПК. В целом, на охраняемой территории сохранность болот обеспечена заповедным режимом, заключающимся в запрете любой деятельности, противоречащей его задачам.

3.3. Морфологические и физико-химические свойства почв

Выявлено, что типовая структура преобладающих торфяных почв обоих участков схожа. Сформированные на минеральном основании почвы участков отличаются из-за минералогических особенностей почвообразующих пород. На красноцветных моренных суглинках внутриболотных минеральных островов Полистовского заповедника формируются буроземы и текстурно-метаморфические почвы, при перекрытии суглинков покровными супесями или песками ржавоземы, на карбонатной морене легкого гранулометрического состава

формируются дерновые почвы. В Радиловском болотном массиве на песчаных и супесчаных озовых и камовых отложениях продиагностированы дерново-подзолистые почвы со слабым проявлением подзолистого процесса и подзолы иллювиально-железистые.

3.3.1. Почвы Полистовского заповедника

Для определения генезиса и свойств почв были заложены полнопрофильные почвенные разрезы, проведено их морфологическое описание и диагностика. Отобраны пробы по генетическим горизонтам. Исследованы физико-химические свойства почв (табл. 3.1), в том числе: почвенный гумус (в торфяных почвах – органический углерод ($C_{орг}$), кислотнo-основные (рН, обменная и гидролитическая кислотность, ЕКО, сумма обменных оснований и степень насыщенности основаниями), физические свойства (гранулометрический состав).

На территории Полистовского заповедника исследованы почвы автоморфного ряда: буроземы типичные (разрез 1, 2), дерново-буро-подзолистые (разрез 3), ржавоземы типичные (разрез 4), дерновые остаточнo-карбонатные (разрез 5) и гидроморфные торфяно-глеезёмы (разрез 6).

Автоморфные почвы. Буроземы (отдел: структурно-метаморфические). Разрез 1 ($57^{\circ}15'16,60''$ с.ш., $30^{\circ}38'7,10''$ в.д.) в верхней части, разрез 2 ($57^{\circ}15'16,83''$ с.ш., $30^{\circ}38'5,92''$ в.д.) в нижней части склона минерального острова Криман, на склоне северо-западной экспозиции, под дубовым с примесью липы, в нижней части склона сосны. В подлеске – рябина. Травяной покров здесь практически отсутствует, представлен мощный растительный опад. Разрез 2, заложенный в нижней части склона и занимающий транзитное положение в рельефе. В травяно-моховом ярусе – сфагнум, тростник, присутствие багульника, высокая степень разложения лесной подстилки. В отличие от разреза 1, гумусовый горизонт не имеет признаков нарушенности. Почвы разрезов 1-2 – буроземы типичные [152] малогумусные маломощные легкосуглинистые на среднесуглинистых моренных отложениях. По классификации 1977 – бурые лесные слабонасыщенные [54]; по [183] – Eutric Cambisol. Профиль разреза 1 (рис. 3.8) состоит из горизонтов:

О (0-2 см)	Лесная подстилка из листьев, хвои. Довольно мощная и хорошо развитая
---------------	--

АУ (2-13 см)	Бурый с серым оттенком, много корней, бесструктурный, рассыпается, слабо холодит руку. Прерывистый, имеет следы турбации. Переход по плотности и цвету, местами переход затеками в следующий горизонт.
АВ (13-21 см)	Бурый, рыхлый, много корней, включений (камней и неразложившихся остатков корней), слабо оструктурен, комковатый. Переход по цвету.
ВМ (21-39 см)	Цвет более насыщенный бурый, плотный, структура пластинчатая (плитчатая), белый налет и блеск на гранях структурных отдельностей. Переход по плотности и цвету.
С (>39 см)	Бурый, темнее, с красноватым оттенком. Слабая глыбистая структура, блеск на гранях структурных отдельностей. Корни, камни, мелкие включения растительных остатков.

Профиль разреза 2 (рис. 3.8) состоит из следующих горизонтов:

(0+5 см)	Опад из листьев, хвои.
О (0-1,5 см)	Серый, много корней, состоит из растительных остатков бесструктурный, рассыпается, слабо холодит руку. Переход по плотности и цвету.
АУ (1,5-7 см)	Светло-серый, комковатый, рыхлый, холодит руку, много корней, белый налет (плесень), затеки гумуса. Переход по цвету и плотности.
АВ (7-25 см)	Бурый со светло-серым оттенком, более уплотнен, появляется структура (крупные комки), много корней, охристые пятна. Переход по плотности.
ВМ (25-40 см)	Бурый, глыбистый, более плотный. Блеск на гранях структурных отдельностей.
С (>40 см)	Коричневый, темнее, с красноватым оттенком. Глыбистая структура, блеск на гранях. Корни, камни, включения неразложившегося растительного материала.



Рисунок 3.8. Почвенные разрезы 1 и 2. Минеральный остров Криман

Содержание $C_{орг}$ в верхних маломощных горизонтах АУ от 0,7 до 1,3% (табл. 3.2), с глубиной уменьшается, составляя в горизонтах ВМ и ВС 0,2%. Реакция среды слабокислая и кислая (рН от 4,8 до 5,8, табл. 3.2). Емкость катионного обмена (ЕКО) в верхних горизонтах почвы выше, чем в нижних (табл. 3.1). Степень насыщенности основаниями (СНО) возрастает вниз по профилю.

Таблица 3.1 – Физико-химические свойства почв Полистовского заповедника

Горизонт	C _{орг}	pH _{H2O}	ГК	ОК	ЕКО	S	V
(см)	%				смоль (+)/кг		%
Автоморфные почвы:							
Разрез 1. Бурозем типичный малогумусный маломощный легкосуглинистый на среднесуглинистых моренных отложениях							
О (0-2)	-	5,0±0,2	1,5±0,2	5,3±0,4	22,7±0,9	15,6±2,3	75,0±1,1
AY (2-13)	0,7±0,1	5,1±0,2	1,1±0,2	4,5±0,1	13,9±0,0	7,5±2,1	62,5±2,0
AB (13-21)	0,7±0,1	5,7±0,1	0,8±0,1	3,4±0,3	10,1±0,2	5,0±1,9	59,5±2,0
BM (21-39)	0,2±0,0	5,3±0,2	0,8±0,1	3,4±0,2	12,8±0,2	8,1±1,8	70,4±2,3
C (>39)	0,2±0,0	5,8±0,0	0,7±0,2	3,2±0,1	15,1±1,0	11,9±1,1	78,8±3,5
Разрез 2. Бурозем типичный малогумусный маломощный легкосуглинистый на среднесуглинистых моренных отложениях							
О (0-1,5)	-	5,0±0,2	3,7±0,3	19,9±0,0	28,4±0,7	13,8±0,9	40,9±1,5
AY (1,5-9)	1,3±0,2	4,8±0,2	2,0±0,2	9,6±0,2	16,5±0,5	8,1±1,1	45,9±1,8
AB (9-22)	0,5±0,1	5,3±0,2	1,2±0,1	6,6±0,1	14,0±0,8	8,8±2,0	57,0±1,3
BM (22-40)	0,2±0,0	5,6±0,0	2,3±0,0	7,3±0,3	17,5±0,9	11,9±0,7	62,0±1,9
C (>40)	0,2±0,0	5,5±0,3	1,3±0,2	5,0±0,5	19,2±0,6	15,0±2,1	75,0±1,9
Разрез 3. Дерново-буро-подзолистая типичная малогумусная маломощная легкосуглинистая на среднесуглинистых моренных отложениях							
AY(2-12)	1,0±0,2	4,6±0,1	4,0±0,4	9,2±0,3	21,8±0,5	10,0±3,0	52,1±4,0
BEL (12-19)	0,5±0,1	4,7±0,2	3,7±0,5	7,1±0,1	18,6±1,3	12,0±0,9	62,8±4,2
BT (19-29)	0,3±0,0	4,8±0,1	2,0±0,1	3,7±0,2	19,2±2,3	15,4±2,1	80,6±1,7
BC(29-34)	0,2±0,0	5,0±0,1	2,2±0,0	3,0±0,1	21,8±0,9	15,0±2,2	83,3±1,0
C(>34)	0,3±0,0	5,2±0,1	1,9±0,0	2,7±0,1	22,8±0,9	15,8±2,2	85,3±1,4
Разрез 4. Ржавозем типичный среднегумусный маломощный супесчаный на двучлене							
О (2-5)	-	6,7±0,2	1,0±0,2	3,2±0,1	20,0±0,9	14,6±2,5	74,8±3,2
AYao (5-12)	5,5±0,2	6,2±0,2	1,0±0,2	3,3±0,3	19,9±0,6	15,2±2,5	75,6±2,5
BFM (12-33)	0,2±0,0	6,0±0,1	0,8±0,2	3,3±0,0	18,2±0,7	13,3±0,9	81,6±4,3
C (33-53)	0,2±0,0	5,8±0,2	0,5±0,1	3,0±0,1	16,2±0,3	12,5±0,9	78,9±2,4
D (>53)	0,2±0,0	5,7±0,1	0,5±0,1	2,6±1,1	21,6±0,4	18,8±1,7	86,8±4,7
Разрез 5. Дерновая остаточно-карбонатная малогумусная маломощная каменистая супесчаная на рыхлых карбонатных супесях							
AY (2-8)	2,6±0,2	7,0±0,1	0,18±0,0	0,6±0,1	17±1,2	16,3±1,9	92,5±0,7
AC'Ca (8-14)	0,8±0,1	7,5±0,1	0,12±0,0	0,4±0,1	9,5±1,4	8,2±1,8	91,2±1,0
C'Ca (14-34)	0,3±0,1	7,8±0,1	0,04±0,0	0,2±0,0	6,6±1,1	6,2±1,9	94,4±1,0
C''Ca (>34)	0,1±0,0	8,2±0,2	0,06±0,0	0,4±0,1	5,7±1,2	5,6±1,5	98,2±1,2
Гидроморфные почвы:							
Разрез 6. Торфяно-глеезём типичный на суглинистых отложениях							
T (10-45)	34,2*±0,1	3,7±0,1	2,5±1,0	162,1±20,1	169,0±9,9	11,9±2,1	4,1±1,1
CG (>45)	3,7*±0,1	5,1±0,2	0,5±0,2	9,1±1,1	19,8±3,1	13,3±2,4	53,9±4,4

* – потери при прокаливании; ГК – гидролитическая кислотность, ОК – обменная кислотность, S – обменные основания, V – степень насыщенности основаниями

По гранулометрическому составу профили почв дифференцированы (рис. 3.9): от легкосуглинистого (в верхних горизонтах содержание ФГ – 20,9-31,9%), до среднесуглинистых (в нижних горизонтах – 35,3-42,3% ФГ).

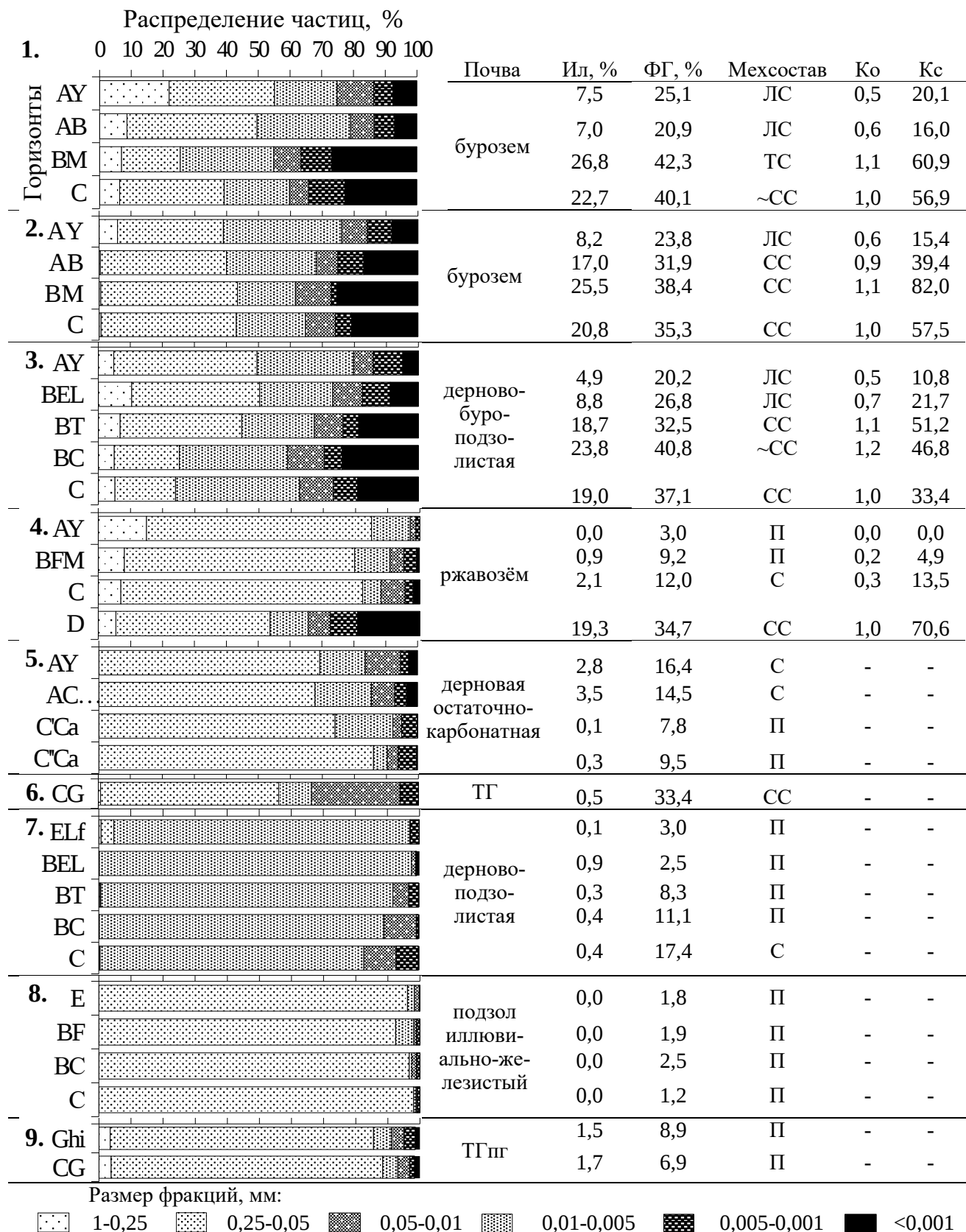


Рисунок 3.9. Распределение частиц по фракциям. Классификация по мехсоставу (по Н.А. Качинскому, 1958): П – песчаные, С – супесчаные, ЛС – легкосуглинистые, СС – среднесуглинистые, ~СС – ближе к среднесуглинистым (между тяжелосуглинистыми и среднесуглинистыми), ТС – тяжелосуглинистые, ФГ – содержание физической глины, Ко – коэффициент оглинивания (по И. А. Крупенникову), Кс – коэффициент структурности (по А.Ф. Вадюниной)

Дифференциация почвенного профиля не только по содержанию физической глины, но и по илу (рис. 3.9), как следствие влияние на состав и свойства нижних горизонтов контрастной по химическому составу подстилающей породы. Литологическая неоднородность и увеличение содержания ФГ в горизонте С закономерно обуславливает дифференциацию содержания макро- и микроэлементов по профилю (табл. 3.1, рис. 4.1).

Дерново-буро-подзолистые (отдел: текстурно-дифференцированные) почвы являются фаціальным подтипом буроземов. Поэтому разрезы 1-2 и 3 (буроземы и дерново-буро-подзолистые почвы) допустимо объединять в почвы буроземного типа. Почвенный разрез 3 (рис. 3.10) заложен на минеральном острове Темный (57°2'54,0" с.ш, 30°25'55,5" в.д.), в 3,4 км к СВ от урочища Несвино. Почва определена как дерново-буро-подзолистая типичная [148] малогумусная маломощная легкосуглинистая на среднесуглинистых моренных отложениях. Подзолисто-бурая лесная – по классификации 1977 [53]; *Haplic Luvisol* – по [178].

Разрез заложен в верхней части склона северо-восточной экспозиции под ельником кустарничково-травяным с примесью березы, брусникой, осоками, злаками, единичными сфагнумом и кукушкиным льном; подрост березы и ели, тростник по окраине минерального острова. Сообщество – ельник-черничник с примесью березы; травяной ярус разрежен, мощность слабо разложенной лесной подстилки – 2 см. Почвенный профиль состоит из горизонтов:

О (0-2)	Опад из хвои и листьев.
АУ (2-12 см)	Серый с коричневым оттенком, легкосуглинистый, мелкокомковатый, много корней, свежий (холодит руку), уплотнен, переход по цвету и плотности
ВЕЛ (12–19 см)	Серовато-коричневый, легкосуглинистый, комковато-ореховатый, сильно уплотнен, влажный (холодит руку), интенсивно пронизан корнями, редкие камни, включения белого цвета диаметром до 1-2 мм, переход по плотности
ВТ (19-29 см)	Коричневато-бурый, легкосуглинистый, слабо уплотнен, влажный, затеки гумуса, ореховато-комковатая структура, охристые пятна, редкие корни и камни 2-3 см, переход по цвету и плотности. Слабо выражены натечные глинистые образования в виде блеска на гранях структурных отдельностей
ВС (29-34 см)	Темно-бурый, тяжелосуглинистый, уплотнен, влажный, глыбистая структура, охристые пятна (железистые новообразования), редкие камни, переход по плотности, неравномерный; многочисленны кутаны иллювиирования, блеск на гранях структурных отдельностей

ВС (более 34 см) Темно-бурый, охристый, тяжелосуглинистый, глыбистый, менее уплотнен, распадается на отдельные глыбы, сырой, включения в виде черных пятен, новообразования в виде железистых скоплений, блеск на гранях педов. Слабое вскипание с глубины 34 см.

Гумусовый горизонт почвы рыхлый и имеет небольшую мощность (10 см). Содержание $C_{орг}$ в нем невысокое (1,0%). По профилю наблюдается слабокислая реакция (рН от 4,6 до 5,2, табл. 3.1) и дифференциация содержания ФГ (рис. 3.9). В текстурном, переходном к породе горизонте и почвообразующей породе оно возрастает до 32,5, 40,8 и 37,1% соответственно. Наблюдается дифференциация почвенного профиля по ФГ: в верхних горизонтах значения $K_0=0,5-0,7$. В горизонтах ВТ и ВС коэффициент оглинивания возрастает до 1,1–1,2. Дифференциация профиля дерново-буро-подзолистой почвы маскируются высоким содержанием ФГ и ила в почвообразующей породе (рис. 3.9). Тем не менее, дифференциация почвенного профиля по содержанию ила наблюдается нагляднее, чем в буроземах, это может служить признаком процессов иллювиирования глинистых частиц без разрушения по профилю дерново-буро-подзолистой почвы (текстурной метаморфизации или лёсвивирования).



Рисунок 3.10. Почвенный разрез 3 (минеральный остров Темный)

Ржавоземы (отдел: железисто-метаморфические) *почвы*. Разрез 4 заложен в нижней части склона минерального острова Алексеевский (57°6'07,10" с.ш., 30°23'30,80" в.д., рис. 3.11), который находится на окраине болотного массива.

Почва продиагностирована как ржавозем типичный [152] среднегумусный маломощный супесчаный на двучлене (подстилающая порода – среднесуглинистые моренные отложения). В WRB почва соответствует подтипу Rubic Arenosol. По Классификации почв СССР подобные почвы относились к подтипу буроземов; также рассматривались как бурые таежные. Растительное сообщество, под которым сформировалась почва, представлено ельником с примесью березы. В травяно-кустарниковом покрове – хвощ, тростник, подрост черемухи и рябины. Хорошо разложенная, богатая биогенными остатками лесная подстилка имеет мощность 3 см. Почвенный профиль состоит из горизонтов:

- | | |
|-------------------|--|
| О (2–5 см) | Лесная подстилка, из листьев и хвои, ветвей, корней, маломощная. Содержит около 70% органического вещества различной степени минерализации и мелкие (до 2 мм) включения (остатки корней). Сыrovатая, черная. |
| АУао (5-12 см) | Серый с буроватым оттенком, состоит из органических остатков с примесью минеральных частиц, слабо оструктурен, уплотнен, сыrovатый, содержит корни, камни. Переход по цвету и плотности. Локальные затеки гумуса в нижележащий горизонт. |
| ВFM (12-33 см) | Бурый, характеризуется ярким охристым оттенком слагающей массы. Слабо оструктурен (комковатая структура), уплотнен, содержит много камней, пронизан корнями. Представлены выцветы, редкие железистые примазки, затеки гумуса. Свежий (холодит руку), переход по плотности. |
| С (33-53 см) | Светло-бурый, супесчаный, средне уплотнен, комковатый, влажный (сильно холодит руку), присутствуют железистые конкреции, переход по цвету и плотности. |
| D (53 см и более) | Темно-бурый, с красноватым оттенком, среднесуглинистый, плотный (сильно уплотнен), влажный (сильно холодит руку), отдельные кутаны. |

Окраска профиля характеризуется усилением бурого оттенка, по сравнению с выше описанными почвенными разрезами. Содержание $C_{орг}$ в горизонте АУао довольно высокое (5,5%), что больше по сравнению с другими почвенными разрезами. Содержания органического углерода значительно уменьшается с глубиной (до 0,2%) в нижних горизонтах. Значения рН изменяются от слабокислой до нейтральной среды (5,7-6,7). Значения ЕКО уменьшается, а СНО – увеличивается с глубиной (табл. 3.1).



Рисунок 3.11. Почвенный разрез 4. Минеральный остров Алексеевский

Горизонт АУао состоит из супесчаного материала большой примесью органических остатков. В сформированной на двучлене (моренных суглинках и покровных песках) почве наблюдается дифференциация по гранулометрическому составу: низкие содержания ФГ (3,0-9,2%) и ила (0,0-0,9%) в профиле почвы, возрастают в до (12,0-34,7) и (2,1-19,3%) соответственно горизонтах С и D (рис. 3.9). Коэффициенты оглинивания и структурности хорошо идентифицируют литологическую неоднородность почвообразующей и подстилающей породы. Оглинивания профиля не наблюдается, значения Ко и Кс очень низкие (рис. 3.9).

Дерновые остаточно-карбонатные (отдел: органо-аккумулятивные) ***почвы***. Разрез 5 Заложен на склоне южной экспозиции внутриболотного минерального острова Чистый (4,4 км на северо-востоко-востоку от истока р. Плавница, координаты: 57°6'55,7"с.ш., 30°26'24,6" в.д., рис. 3.12). Мезорельеф – верхняя часть моренного холма, микрорельеф – приствольные повышения, западинки, почвенный разрез заложен в межкроновом пространстве. Почва сформирована на каменистых карбонатных породах. Почва – дерновая остаточно-карбонатная [152] каменистая супесчаная на рыхлых карбонатных моренных отложениях. По классификации 1977 – дерново-карбонатная типичная (рендзина). По WRB [183] – Rendzic Leptosol.

Почва сформирована под сообществом ельника с примесью березы и осины. Растительность: ель, осина, береза, ед. рябина, подрост осины и ели; сныть,

костяника, иван-да-марья, осоки, клевер, земляника, на окраине минерального острова – багульник. Почвенный профиль (рис. 3.12) состоит из горизонтов:

- (0+1 см) Растительный опад, маломощный, состоит из листьев и хвои, мелкозема, корней.
- О (0–2 см) Подстилка, темного цвета. Рыхлая. Состоит из корней, веток. Сыроватая. Переход по цвету.
- АУ (2–8 см) Темно-серый с коричневым оттенком, супесчаный, комковато-порошистый, рыхлый. Много корней. Сыроватый. Переход по цвету, затеки гумуса в нижележащий горизонт. Содержит обломки карбонатных пород.
- АС'Ca (8–14 см) Бурый с сероватым оттенком, супесчаный. Локально затеки серого гумуса. Много корней и веток, мелкие камни (гравий), плохо распадается на отдельные. Свежий (холодит руку), переход по цвету и плотности.
- С'Ca (14–34 см) Светло-желтый с коричневатым оттенком, песчаный, свежий (холодит руку), много корней, камни (5 см и более), сильно уплотнен, белые потяжины на глубине 26 см, комковатый, рыхлый, локальные скопления серого песка, много корней. Переход по плотности.
- С''Ca (>34 см) Светлее, желтоватый с охристыми пятнами более рыхлый. Локальные скопления серого песка, разноцветные мелкие обломки твердой породы: красноватые, белые, зеленоватые, серые

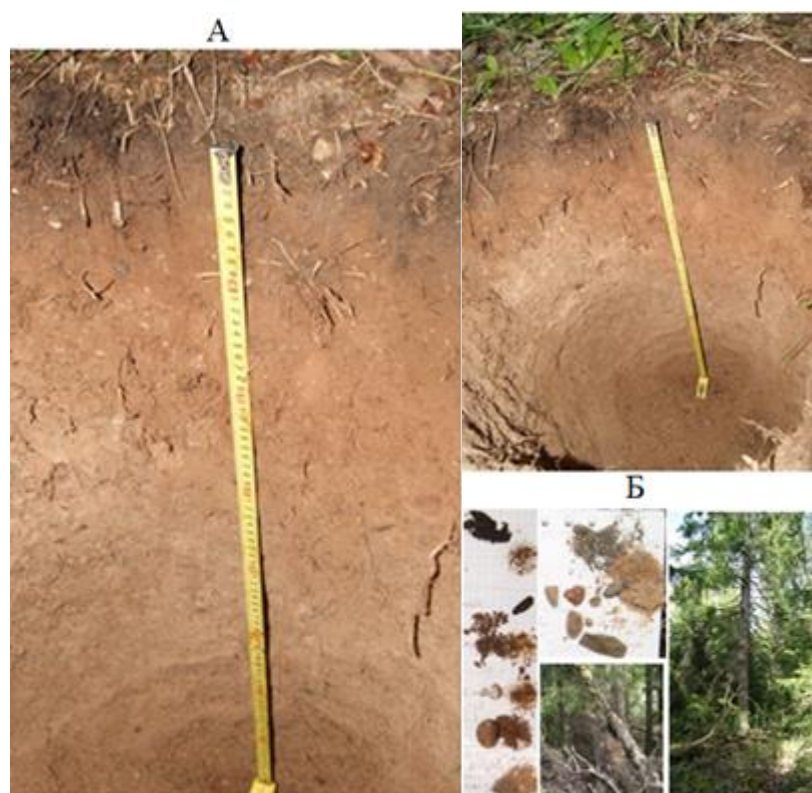


Рисунок 3.12. Почвенный разрез 5 (А). Включения серого песка, обломки породы в горизонте С (Б)

Наблюдается выпадание осины из состава древостоя, и постепенное зарастание минерального острова елью. Присутствует ветровал, сухостой. Опад маломощный, состоит из листьев, хвои, мелкозема, корней. Лесная подстилка имеет высокую степень разложенности. По всему почвенному профилю присутствует щебень и остаточные («породные») карбонаты, что оказывает влияние на кислотно-основные свойства почвы (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Содержание карбонатов в профиле дерновой остаточно-карбонатной почвы

Горизонт (см)	Карбонаты, %	Са _{р.к.} , смоль(+)/кг
АУ(2-7(9))	2,1±0,4	10,3±0,2
АС'Ca (7(9)-14)	2,2±0,4	16,1±0,4
С'Ca (14-34)	3,0±0,3	16,5±0,2
С''Ca (>34)	2,9±0,5	17,9±0,6

Содержание С_{орг} в горизонте АУ составляет 2,6% и резко убывает с глубиной. Рыхлый гумусовый горизонт резко сменяется элювием карбонатных пород. Очень сильное вскипание наблюдается по всему почвенному профилю; pH сменяется от слабощелочной до щелочной вниз по профилю (от 7,0 до 8,2, табл. 3.1). Степень насыщенности основаниями профиля почвы высокая (83,7–94,4%).

Гранулометрический состав меняется с глубиной: содержание физической глины уменьшается от 14,5-16,4% в верхних горизонтах до 7,8-9,5% в нижних (рис. 3.9).

Сравнительная характеристика автоморфных почв. По содержанию С_{орг} в гумусовых горизонтах максимальные значения установлены в ржавоземе типичном и дерновой остаточно-карбонатной почве (табл. 3.1), минимальные – в дерново-буро-подзолистой почве и буроземах, особенно в случае турбированности верхних горизонтов (разрез 1). По сравнению со ржавоземом типичным, содержание С_{орг} в горизонте АУ дерновой остаточно-карбонатной почвы ниже в 2 раза, а в дерново-буро-подзолистой почвы и бурозема ниже в 4–7 раз. Распределение С_{орг} по профилю (регрессивно-аккумулятивное) не отличается в зависимости от типов почв (табл. 3.1). При максимуме в гумусовых горизонтах, резкое снижение в нижних горизонтах и почвообразующей породе, что вполне закономерно [56, 138, 142]. Однако известно [15, 142], что имеются различия по

качественному составу гумуса: в буроземах в его составе преобладают фульвокислоты, а в дерновых остаточно-карбонатных – гуминовые кислоты.

Наблюдается увеличение абсолютных значений рН среды в ряду автоморфных почв: дерново-буро-подзолистые → буроземы → ржавоземы → дерновые. Причем значения рН в изученных автоморфных почвах возрастают от верхних к нижним горизонтам. Значения ЕКО дерновой остаточно-карбонатной почве в среднем в 2 раза ниже по сравнению с другими почвами. Величины ЕКО как правило максимальны в горизонте О, убывают по профилю. Небольшое увеличение значений ЕКО в горизонте С (табл. 3.1) обусловлено свойствами породы и литологической неоднородностью отложений.

Сумма обменных катионов в ржавоземе в среднем выше по сравнению с буроземом и дерновой остаточно-карбонатной почвой, что обусловлено составом почвообразующей породы. Степень насыщенности основаниями возрастает по профилю, достигая максимума в горизонте С закономерно убыванию значений кислотности (обменной и гидролитической).

Ржавозем типичный (разрез 4) и дерновая остаточно-карбонатная почва (разрез 5) сформированы на песчано-супесчаной толще моренных отложений, что усиливает проявление внутрипочвенного дренажа. Подстилающие почву разреза 4 среднесуглинистые отложения суглинки не способствуют застою влаги и переувлажнению в достаточной для проявления признаков оглеения степени. Своеобразие исследуемого ржавозема типичного – повышенные значения рН в горизонте О относительно всего профиля.

Отличительными чертами дерновой остаточно-карбонатной почвы является уменьшение содержания физической глины и ила от верхних к нижним горизонтам и высокие значения СНО по всему профилю. Эти особенности оказывают непосредственное влияние на распределение химических элементов по генетическим горизонтам.

Установлена схожесть свойств структурно-метаморфических (буроземов) и текстурно-дифференцированных (дерново-буро-подзолистых) почв, согласно полученным аналитическим данным. Это неслучайно, т.к. в более ранних

классификациях данные почвы соответствовали различным подтипам одного типа или разным типам, объединенным с общими подтиповыми признаками. Процессы оглинивания *in situ* и иллювиирования глинистых частиц по профилю этих почв хорошо диагностируются на макроморфологическом уровне. Так, оглинивание горизонтов ВМ и С бурозема типичного диагностируется на макроморфологическом уровне в виде лакировки на гранях педов. Наличие кутан иллювиирования по граням структурных отдельностей в горизонтах ВТ и частично С дерново-буро-подзолистой почвы служит диагностическим признаком протекания подзолистого процесса. Однако на процессы почвообразования (оглинивание *in situ*, иллювиирование глинистых частиц) накладывается литологическая неоднородность отложений и влияние подстилающей породы, что усложняет аналитическую диагностику упомянутых процессов.

Гидроморфные почвы. Торфяные почвы. Разрез 6 (рис. 3.13) заложен на краю небольшого возвышения (57°2'53,0" с.ш, 30°25'53,4" в.д.) рядом с минеральным островом Темный, расположенным в 3,4 км к СВ от урочища Несвино.

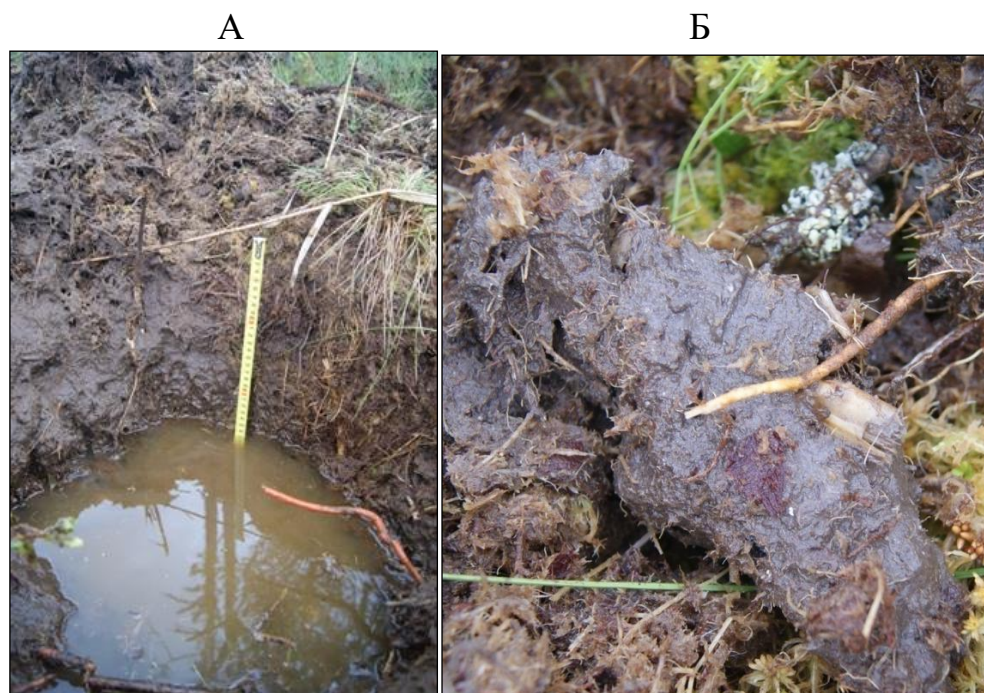


Рисунок 3.13. Разрез 6 (А). Подстилающие породы – серые суглинки (Б)

Почва – **торфяно-глеезём типичный** [152], болотная верховая торфяно-глеевая почва [54] на суглинистых отложениях или Gleysol Histic [183]. В рельефе

почва занимает мезоповышение до 30 см в диаметре и высотой до 50 см, которое сложено серыми мергелистыми тяжелосуглинистыми породами. Мезорельеф – склон юго-западной экспозиции; Микрорельеф – приствольные повышения. Мощность сфагнового очеса – около 20 см. С глубины 27 см сочится вода. Сообщество: сосняк кустарничково-пушицево-сфагновый, с развитым подростом сосны. Растительность: тростник, багульник, брусника, хамедафна, пушица, сфагнум. Тростник – индикатор близости минерального основания, которое вскрывается на глубине 45-55 см. Профиль почвы состоит из горизонтов:

- О (0-10 см) Сфагновый очес. Очень слабо разложившийся. Буроватый. Много корней пушицы, тростника и других растений, ветвей багульника.
- Т (10-45) Торфяной горизонт. Цвет темно-бурый, до черного, темнеет с глубиной. Состоит из слабо- и среднеразложившихся растительных остатков. Степень разложения увеличивается от 15% в верхней части горизонта до 25-35% - в нижней. Много корней тростника. Переход ясный по цвету.
- CG (>45) Подстиляющая порода – серые среднесуглинистые отложения. Много мелких корней, редкие камни.

Профиль почвы состоит из торфяных горизонтов различной степени разложения (Т1, Т2) и серой оглеенной суглинистой подстиляющей породы (CG). Содержание ФГ в горизонте CG – 67,3%, ила – 33,4%. В связи с неоднородностью строения профиля (сочетания органических и минерального горизонтов), почвенные свойства сильно варьируют по профилю. От торфяного к минеральному горизонту содержание $C_{орг}$ и ЕКО снижаются почти на порядок, уменьшается гидролитическая и обменная кислотность, а СНО – возрастает на порядок. Реакция среды торфяных горизонтов сильно кислая, горизонта CG – кислая.

3.3.2. Почвы Радиловского массива

Дерново-подзолистые (отдел: текстурно-дифференцированные) **почвы**. Разрез 7 заложен на моренной гряде, к северу от д. Радилово в сфагновом сосняке-черничнике. Координаты: 58°1'37,07" с.ш., 29°19'2,51" в.д. (рис. 3.14). Склон юго-западной экспозиции. Преобладающая растительность: сосна, сфагнум, черника, брусника. Почва: **дерново-палево-подзолистая** [152] песчаная мелкоподзолистая

малогумусовая на песчаных моренных отложениях. Дерново-слабоподзолистая [54], Albeluvisol [183]. Почвенный профиль состоит из следующих горизонтов:

- | | |
|-----------------|--|
| О (0-4 см) | Подстилка из опада листвы, хвои и очёса |
| ELf (4-13 см) | Темно-серый с белесым оттенком. Рыхлое сложение. Много корней. Влажный, пачкает руку. Кремнеземистая присыпка. |
| EL (13–20 см) | Серый песок, осветлен, затеки гумуса, структура непрочная, языковатый, с примесью бурого песка, присутствуют темные пятна, возможно следы турбации, переход по цвету и плотности. |
| BEL (20-40 см) | Желто-оранжевый, более плотный, затеки гумуса, слабо выраженные белесые пятна. Сложение глыбистое, плотное, влажный, сильно холодит руку, в нижней части более осветлен, переход по цвету. |
| BT (40–115 см) | Ярко-оранжевый песок, глыбистое сложение, холодит руку, единичные корни, уплотнен, переход по плотности, подразделяется по цвету на подгоризонты. |
| BC (115-165 см) | Оранжево-бурый с палевым оттенком, немного плотнее, железистые потяжины толщиной 1-2 мм. Глыбистое слоение, переход по плотности, влажности, цвету. |
| C (>165 см) | Бурый, усиливается палевый оттенок, плотный, глыбистое сложение. |



Рисунок 3.14. Почвенный разрез 7

Почвенный профиль, сформированный на линейном озе, заметно «растянут». В профиле почвы выделяется серогумусовый дерновый горизонт мощностью 7-10 см с неравномерной нижней границей. В профиле элювиальные горизонты сменяются текстурным BT. Содержание $C_{орг}$ в элювиальных горизонтах низкое –

0,2–0,3%, в ВТ, ВС и С – <0,1%. Наблюдается осветление элювиального горизонта и вынос железа, алюминия и других макроэлементов в иллювиальный текстурный горизонт, окрашенного в ярко-бурый цвет. Реакция почв в горизонтах верхней части профиля слабокислая, в нижней – нейтральная. Гранулометрический состав всего почвенного профиля песчаный (содержание ФГ низкое – 1,2-7,3%, рис. 3.9). Заметна дифференциация профиля по ФГ: более высокое содержание ФГ в горизонтах ВС и С по сравнению с верхними горизонтами. Также отмечено возрастание содержания ФГ в текстурном горизонте по сравнению с элювиальным. Значения ЕКО и СНО увеличивается по профилю, в то время как ГК и ОК – уменьшаются. Распределение суммы поглощенных оснований по профилю близко к равномерному. При этом, в поверхностном горизонте E_lf наблюдается увеличение значений ЕКО, ОК и уменьшение рН (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Физико-химические свойства почв Радиловского массива

Горизонт (см)	C _{орг} %	рН _{H2O}	ГК	ОК	ЕКО	S	V
					смоль (+)/кг		%
Автоморфные почвы:							
Разрез 7. Дерново-палево-подзолистая песчаная мелкоподзолистая слабогумусовая на песчаных моренных отложениях							
Elf (4-12)	0,3±0,1	4,6±0,1	1,8±0,1	11,4±0,2	14,0±0,4	6,9±0,0	21,5±3,2
BEL (12-40)	0,2±0,0	5,4±0,1	1,1±0,0	1,9±0,3	7,4±0,2	5,6±0,3	55,9±4,0
BT (40–125)	<0,1	5,2±0,2	1,2±0,0	1,7±0,2	8,3±0,0	6,9±0,2	72,5±0,9
BC (125-168)	<0,1	6,9±0,0	1,0±0,0	1,1±0,1	15,2±0,1	5,6±0,0	73,3±4,2
C (>168)	<0,1	6,8±0,1	1,0±0,0	1,0±0,2	19,2±0,0	7,5±0,2	70,6±5,0
Полугидроморфные почвы:							
Разрез 8. Подзол иллювиально-железистый неглубокоподзолистый иллювиально- среднегумусовый на песчаных моренных отложениях, подстилаемых суглинком							
O (0-6)	-	3,5±0,2	1,4±0,2	16,2±0,4	23,1±0,5	9,2±0,3	36,2±1,3
E (6-21)	0,4±0,1	3,9±0,3	1,3±0,1	8,84±0,2	14,0±0,3	4,00±0,2	31,2±1,5
BF (21-29)	0,6±0,1	3,9±0,2	1,3±0,1	6,61±0,1	12,9±0,4	3,0±0,2	31,2±1,0
BC (29-37)	0,2±0,0	5,5±0,4	1,1±0,1	5,95±0,1	11,5±0,3	2,6±0,2	30,4±0,9
C (37-88)	0,1±0,0	5,2±0,3	0,1±0,0	5,87±0,1	9,9±0,2	2,4±0,2	29,0±0,8
Гидроморфные почвы:							
Разрез 9. Торфяно-глеезём потечно-гумусовый на песчаных отложениях							
T ₁ (0-9)	39,7*±0,9	3,9±0,2	5,6±0,3	155,9±10,0	38,7±0,0	14,4±0,7	4,6±0,4
T ₂ (9-20)	21,1*±0,8	3,8±0,2	4,1±0,3	81,0±7,9	16,4±0,8	12,5±0,7	7,2±0,7
T ₃ (20-30)	11,7*±0,5	3,7±0,2	5,8±0,4	68,6±5,0	13,9±1,0	5,0±0,4	3,5±0,3
Ghi (30-43)	3,0±0,1	4,6±0,3	2,8±0,2	26,0±2,0	12,2±0,7	3,1±0,3	8,8±0,8
C (43-60)	1,2±0,1	5,1±0,4	2,7±0,2	11,6±1,1	16,3±0,9	8,0±0,5	24,7±2,2

* – потери при прокаливании; ГК – гидролитическая кислотность, ОК – обменная кислотность, S – обменные основания, V – степень насыщенности основаниями

Полугидроморфные почвы. Подзолы (отдел: текстурно-дифференцированные). Почвенный разрез 8 заложен на минеральном острове (58°1'46,68"с.ш., 29°18'56,93"в.д., рис. 3.15), к северо-востоку от оз. Радиловское, окруженном болотным массивом. Почва – *подзол иллювиально-железистый* [152] неглубокоподзолистый иллювиально-среднегумусовый на песчаных моренных отложениях, подстилаемых суглинком. Соответствует Podzol [183]. Почва сформирована на склоне южной экспозиции минерального острова высотой около 1 м (в центре), и 0,6 м – на месте заложения разреза. Сфагновый сосняк-брусничник с примесью березы. Растительность: сосна, сфагнум, брусника, черника, береза, тростник. Почва состоит из горизонтов:

- О (0-6) Коричневый горизонт из корней и грубогумусового органического материала. Примесь мелкозема и песка. В нижней цвет горизонта части более темный.
- Е (6-21) Белый. Сырой песок с затеками гумуса, комковатого сложения, рыхлый, холодит руку. Неравномерная мощность, переход в следующий горизонт языковатый.
- ВF (21-29) Желто-оранжевый песок, холодит руку, редкие черные пятна, включения неразложившихся древесных остатков, комковатое сложение, переход по цвету.
- ВC (29-37) Темно-оранжевый песок, холодит руку, комковатого сложения, железистые конкреции с 36 см и до конца горизонта, редкие черные пятна.
- С (37-88) Желто-оранжевый, с зеленоватым оттенком песок, сырой, пропитан влагой. Черные пятна диаметром до 2 см. Горизонт имеет заметный глеевый оттенок. С 60 см сильно сочится вода (уровень грунтовых болотных вод – 60 см.

Почвенный профиль, на контрасте с предыдущим (разрезом 7) имеет небольшую протяженность горизонтов в глубину. Особенность данного почвенного профиля – резко контрастная окраска почвенных горизонтов: от коричневого органогенного горизонта О, белого элювиального горизонта Е до ярко-оранжевых горизонтах ВF, ВC и желто-оранжевого с зеленоватым оттенком горизонта С. Элювиальный горизонт обладает очень неравномерной границей. В данной почве процесс выноса железистых красящих пигментов в горизонт ВF хорошо диагностируется по цвету последнего. Процесс оглеения замечен по цвету нижних горизонтов. Таким образом, цветовая гамма ярко демонстрирует такие

почвообразующие процессы в подзоле иллювиально-железистом как оподзоливание, оглеение и вынос железа в иллювиально-железистый горизонт.

Весь профиль отличается песчаным гранулометрическим составом, что маскирует характерную дифференциацию профиля по ФГ. Наибольшее содержание ФГ – в горизонте ВС (рис. 3.9). Содержание $C_{орг}$ низкое, картина его распределения по профилю имеет следующую особенность. Небольшое увеличение $C_{орг}$ в горизонте ВГ связано с иллювиированием органического вещества из верхних горизонтов. Реакция среды почвенных горизонтов – сильно кислая и кислая. ЕКО, сумма поглощенных оснований, СНО, гидролитическая и обменная кислотность уменьшаются по профилю.



Рисунок 3.15. Почвенный разрез 8, к северо-востоку от оз. Радиловское

Гидроморфные почвы. Торфяно-глеезёмы (глеевые почвы). Почвенный разрез 9 заложен в 500 м от тропы на оз. Ситенское, в сосняке с примесью ели. Координаты: 58°0'43,20"с.ш., 29°17'15,80"в.д. Почва продиагностирована как торфяно-глеезём потечно-гумусовый [152]. Болотная верховая торфяно-глеевая гумусово-железистая (по [54]), Gleysol Histic [183]. Разрез заложен на склоне восточной экспозиции. Преобладающая растительность: багульник, сфагнум, сосна, единична пушица. Почва состоит из следующих горизонтов:

$T_1(0-9)$ Верхний торфяной слой. Цвет торфа – от коричневого до темно-

- коричневого цвета. Разложенность – 20%. Присутствует примесь песка. Холодит руку. Вода при отжиме светло-коричневого цвета.
- T₂(9-20) Черный торфяной горизонт, сильно пачкает руку, много белого песка, частички мелкозема, корней, разложенность – 50%, переход по цвету.
- T₃(20-30) Коричневый торф с примесью большого количества песка, за счет чего менее влажный. Сильно пачкает руку.
- Ghi (30-43) Коричневый песок, сильно уплотненный, охристые железистые пятна, переход неравномерный, прокрашен затеками органического вещества торфяных горизонтов.
- C (43-60) Желтый песок, плотный, сложение комковатое, сырой, сочится вода, железистые потяжины (до 5 см в длину и 1 см в ширину), в верхней части с затеками, в нижней части – чистый песок.



Рисунок 3.16. Почвенный разрез 9

Окраска почвенных горизонтов довольно контрастна: от черной и коричневой – до желтой. Особенность данной почвы – интенсивное прокрашивание горизонта Ghi затеками органического вещества из верхних горизонтов (рис 3.16) и неравномерные границы. Большая часть профиля характеризуется следами оглеения в виде зеленоватых пятен.

Содержание $C_{орг}$ на порядок снижается от торфяных горизонтов к минеральным. Реакция среды почвенных горизонтов с глубиной возрастает – от кислой до слабокислой. Значения ЕКО, суммы

поглощенных оснований и СНО в торфяных горизонтах уменьшаются с глубиной, затем в минеральных горизонтах – снова возрастают. Это связано с различием кислотно-основных свойств торфяных и минеральных горизонтов. Особенность профиля торфяно-глеезёма иллювиально-железистого – неоднородность свойств торфяных и органогенных горизонтов, что отражается на варьировании физико-химических показателей.

Таким образом, гидроморфные и особенно полугидроморфные почвы характеризуются цветовым контрастом почвенных горизонтов. В их профилях по цвету хорошо диагностируются признаки оподзоливания и оглеения. Цветовой и

текстурной дифференциации исследуемых полугидроморфных почв по иллювиально-иллювиальном типу способствует не литологическая неоднородность отложений (как в Полистовском заповеднике), а внутрипочвенные процессы выщелачивания и выноса органо-минеральных компонентов в нижние горизонты. Выщелачиванию способствует как промывной водный режим, постоянное или периодическое переувлажнение, так и реакция среды (от кислой до слабокислой).

4. ГЕОХИМИЯ МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ЛАНДШАФТАХ БОЛОТ ПСКОВСКОЙ ОБЛАСТИ

В целях наиболее полной геохимической характеристики ландшафтов верховых болот исследуемого района, определены уровни содержания и распределения макро- и микроэлементов в почвах, растениях и донных отложениях. В целях определения региональных фоновых содержаний элементов изучен микроэлементный состав поверхностного слоя почв и донных отложений 0-15 см по глубинам 0-2,5, 2,5-5,5-10 и 10-15 см (Глава 4.1). Потоки элементов в системе «почва-растение» исследованы на примере типичного для данной территории растения *Ledum palustre* (Глава 4.2). Для полного изучения почвенных процессов были определены содержания химических элементов в почвенных горизонтах (Глава 4.3).

4.1. Геохимия макро- и микроэлементов в поверхностном слое почв и донных отложений

4.1.1. Почвы

Определены диапазоны и средние значения содержаний Fe и микроэлементов в почвах Полистовского заповедника и Радиловского массива (табл. 4.1). Наибольшие значения средних содержаний Fe наблюдаются в дерново-буро-подзолистой (3,85%) и железисто-метаморфической почве – ржавоземе (2,17%). Если содержания Fe, Cr и Mn в дерново-буро-подзолистых, дерновых остаточно-карбонатных почвах, ржавоземах, буроземах и донных отложениях имеют близкие значения, то в бедных элементами минерального питания торфяных почвах они значительно ниже (таблица 4.1). При этом, в затронутых пожаром торфяных олиготрофных почвах содержания элементов, особенно Fe, Pb (более чем на порядок), Cu (в 5 раз) повышены по сравнению с естественными почвами вследствие возрастания зольности почв после пожара. Содержания As, Pb в торфяных олиготрофных пирогенных почвах характеризуются близкими величинами к их значениям в почвах минеральных островов. Причем в почвах районов проводившихся ранее торфоразработок и на участках естественных пожаров содержания ТМ практически не отличаются.

Если сравнивать содержания элементов в изучаемых почвах с фоновыми значениями, то в буроземах типичных содержания элементов близки к фоновым, установленным для буроземов [114]. В дерново-буро-подзолистых значения Cu, Zn близки к фоновым, а Cr, Mn, Ni, Pb – ниже фоновых (табл. 4.1). Относительно высокие содержания Mn верхних горизонтах ржавозема типичного и дерновой остаточно-карбонатной почвы диагностируют поступление элемента из лесной подстилки. Увеличение содержания Ni и Cu в дерново-буро-подзолистой почве относительно других исследуемых почв определяется литологическими особенностями почвообразующей породы.

Таким образом, в пределах различных ПК с разнородными почвами, содержания элементов в поверхностном слое почв (0-15 см) сильно отличаются. В связи с этим важно нормирование состояния почвенного покрова исследуемой территории с учетом преобладания ландшафтов верховых болот. Отмечены довольно низкие содержания ТМ в почвах ландшафтов болот Псковской области (табл. 4.1), которые можно применить в качестве региональных фоновых для ландшафтов верховых болот Северо-Запада ЕТР, которые вычислены с учетом площадей распространения почв и данных, полученных нами ранее [137]. Не стоит исключать возможности аэрогенного привноса некоторых ТМ (Cd, Pb, As и Zn) в почвы Радиловского массива, так как он находится ближе к крупным промышленным городам Псковской области, тогда как Полистовский заповедник значительно отдален от них. Поэтому, за основу были использованы данные по почвам Полистовского заповедника.

Содержания подвижных форм микроэлементов (Mn, Zn, Cu, Ni, Pb) и Fe в верхнем 0-15 см слое почв (табл. 4.2) имеют очень низкие значения. Это подтверждает, что почвы данного района не загрязнены тяжелыми металлами и As.

Таблица 4.1 – Валовое содержание Fe (%), Al (%) и микроэлементов (мг/кг) в 0-15 см почв Полистовского заповедника и Радиловского болотного массива [138, 149, с дополнениями автора]

Участок исследования	Почвы	Fe	Al	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Cd	Pb
Полистовский заповедник	Торфяные олиготрофные	<u>0,002-0,04</u> 0,02	<u>0,4-0,44</u> 0,43	<u>2,7-2,8</u> 2,8	<u>5,6-216,5</u> 41,5	<u>0,5-15,6</u> 2,7	<u>0,3-4,1</u> 1,1	<u>3,1-22,9</u> 8,2	<u>3,1-3,3</u> 3,2	<u>0,1-0,5</u> 0,3	<u>0,02-0,76</u> 0,32
	Торфяные олиготрофные пирогенные	<u>0,27-2,84</u> 0,83	<u>0,4-1,6</u> 0,7	<u>2,3-3,3</u> 2,7	<u>43,9-216,5</u> 90,8	<u>4,9-6,6</u> 5,4	<u>1,2-34,0</u> 5,2	<u>6,9-23,8</u> 17,3	<u>0,3-3,6</u> 2,8	<u>0,9-2,4</u> 1,6	<u>9,0-16,6</u> 13,3
	Торфяно-глеезём типичный	<u>0,5-1,1</u> 0,8	-	30,6	128,8	3,26	8,9	11,9	2,8		1,3
	Дерново-буро-подзолистая типичная	<u>1,40-1,44</u> 1,43	<u>4,5-4,9</u> 4,7	<u>58,2-59,8</u> 58,9	<u>362-398</u> 379	<u>19,4-22,1</u> 20,9	<u>21,7-24,1</u> 22,9	<u>37,0-38,3</u> 37,8	<u>6,1-6,7</u> 6,4	-	<u>6,0-9,2</u> 7,5
	Ржавозем типичный	<u>1,43-4,15</u> 2,17	<u>1,2-3,5</u> 2,8	<u>3,2-5,9</u> 4,8	<u>347-4771</u> 1619	<u>0,7-2,7</u> 1,5	<u>0,3-1,7</u> 1,0	<u>0,7-4,1</u> 2,1	<u>0,5-1,5</u> 0,9	<u>1,4-4,2</u> 2,2	<u>0,1-5,2</u> 2,0
	Бурозем типичный	<u>1,56-1,95</u> 1,76	-	<u>52,3-55,9</u> 53,3	<u>502-1285</u> 813	<u>7,0-13,3</u> 9,7	<u>9,6-15,8</u> 13,5	<u>33,4-36,6</u> 34,5	<u>3,5-4,6</u> 4,1	<u>1,6-2,0</u> 1,8	<u>7,8-24,0</u> 16,2
	Дерновая остаточно-карбонатная	<u>3,05-4,76</u> 3,85	-	<u>5,7-7,2</u> 6,2	<u>1914-4055</u> 2947	<u>1,7-3,1</u> 2,4	<u>1,8-2,3</u> 2,1	<u>3,6-5,6</u> 4,5	<u>0,8-1,1</u> 1,0	<u>3,1-4,8</u> 3,8	<u>1,5-3,3</u> 2,4
Радиловский массив	Торфяно-глеезём потёчно-гумусовый	<u>0,3-1,1</u> 0,7	<u>1,5-5,1</u> 3,0	<u>33,2-41,4</u> 38,6	-	<u>0,9-6,8</u> 3,9	5,1	<u>10,0-20,7</u> 15,4	<u>0,7-3,7</u> 2,0	-	10,6
	Дерново-подзолистая	<u>0,16-0,29</u> 0,22	<u>1,1-1,6</u> 1,4	<u>28,3-40,0</u> 33,4	<u>73,2-114,0</u> 93,6	-	6,5	<u>22,4-30,2</u> 26,3	<u>1,7-6,1</u> 3,5	-	<u>8,8-30,0</u> 17,8
	Подзол иллювиально-железистый	<u>0,2-0,4</u> 0,3	<u>1,4-2,3</u> 1,7	<u>30,5-35,7</u> 33,7	<u>51,9-95,2</u> 64,7	-	<u>1,5-10,6</u> 6,7	-	<u>1,2-2,8</u> 2,3	-	<u>0,6-8,8</u> 4,8
Среднее		1,61	-	3,7	91,1	2,4	1,9	8,4	-	1,0	2,8
Кларк в почвах [20]		3,8		200	850	40,0	20,0	50,0	4,0	0,5	10,0

Таблица 4.2 – Содержание подвижных форм Fe (%) и микроэлементов (мг/кг с.м.) в 0-15 см почв Полистовского заповедника

	Fe	Mn	Ni	Cu	Zn	Pb
Содержание в почве	<u>0,5-16,3</u> 4,6	<u>1,1-58,7</u> 7,7	<u>0,1-1,5</u> 0,5	<u>0,1-1,3</u> 0,7	<u>0,5-4,3</u> 1,3	<u>0,2-1,4</u> 0,7

- – не установлено; в числителе – диапазоны, в знаменателе – средние содержания

4.1.2. Донные отложения

Данные по содержанию макро- (Al, Fe) и микроэлементов (Mn, Ni, Cu, Zn, As, Pb), полученные для Полистовского заповедника и Радиловского болотного массива, приведены в таблице 4.3. Физические свойства отложений обусловили различия в накоплении элементов. В опесчаненных донных отложениях озер содержания элементов ниже по сравнению с донными отложениями рек. В условно фоновых ненарушенных районах, содержания элементов ниже по сравнению с участками, затронутыми антропогенной деятельностью. В донных отложениях реки Цевла (район проводившихся торфоразработок), выявлены относительно высокие содержания элементов, что является следствием комплекса факторов: минералогические особенности и гранулометрический состав отложений, аллохтонное поступление вещества и его сосредоточение на геохимическом барьере (сорбционном и механическим). Учитывая подчиненное положение реки Цевла в пределах катены (субаквальные ландшафты) относительно окружающих ее плакоров, возрастает значение аллохтонного поступления органического вещества, что характерно для гумидных районов [97]. В составе донных отложений р. Цевла имеется большое количество тонкодисперсных частиц в виде ила и органики, которые, как известно [94], активно сорбируют микроэлементы. Также на уровне содержания элементов в донных отложениях реки оказало влияние перемещение грунта в результате дноуглубительных работ.

В настоящее время в России действующих нормативных документов, устанавливающих нормы для оценки степени загрязнения донных отложений, нет. Поэтому для этих целей часто используют нормативы содержания в почвах или воде. Также, есть региональный норматив, разработанный в г. Санкт-Петербурге [107].

Содержание As и Pb в донных отложениях рек выше кларка земной коры [20] (таблица 4.3). Причем, эта закономерность проявляется для донных отложений рек. Возможно повышенные содержания As и Pb объясняются

существованием механического и сорбционного барьера, которому благоприятствует высокое содержание глинистых частиц и органики в донных отложениях рек. Необходимо также учитывать их подчиненное положение в рельефе данных аккумулятивных ландшафтов и поступление в них поверхностного и грунтового стока со склонов. Содержание большинства элементов (таблица 4.3) имеет низкие значения, что подтверждает отсутствие загрязнения тяжелыми металлами и мышьяком донных отложений исследуемых водных объектов. Значения, полученные для Fe, также ниже кларка земной коры по А.П. Виноградову [20].

Таблица 4.3 – Содержание Fe, Al (%) и микроэлементов (мг/кг) в поверхностном слое (0-15 см) донных отложений водных объектов Полистовского заповедника и Радиловского массива

	Al	Fe	Mn	Ni	Cu	Zn	As	Pb
Полистовский заповедник								
Донные отложения озер	<u>0,62-4,08</u> 3,04	<u>0,66-1,29</u> 1,03	<u>149,6-420,6</u> 248,4	<u>1,2-17,8</u> 8,2	<u>1,1-31,7</u> 9,6	<u>3,7-34,3</u> 17,9	<u>0,4-5,5</u> 1,8	<u>0,2-27,3</u> 8,4
Донные отложения рек	<u>2,40-7,07</u> 3,84	<u>0,80-2,36</u> 1,34	<u>115,0-347,0</u> 184,0	<u>27,3-53,4</u> 43,4	<u>4,7-30,0</u> 20,1	<u>22,7-82,7</u> 48,6	<u>3,1-9,5</u> 6,7	<u>5,1-40,0</u> 22,7
Радиловский массив								
Донные отложения рек	<u>2,40-2,89</u> 2,66	<u>0,86-1,21</u> 1,01	<u>168,9-348,0</u> 235,6	-	<u>4,7-12,5</u> 9,6	<u>22,7-34,2</u> 27,8	<u>3,1-4,4</u> 4,0	<u>5,1-23,4</u> 14,1
Кларк земной коры [20]	-	4,65	1000	58	47	83	1,7	16

- – не определено

4.2. Накопление микроэлементов багульником болотным

Растения обладают избирательным эффектом накопления химических элементов в зеленой массе (табл. 4.4). Согласно установленным значениям, наблюдалось накопление Cu, Zn, Mn багульником (табл. 4.4). Выявлены низкие значения Кн для Pb (табл. 4.4) и высокие Cu относительно данных [115]. Установленный ряд содержания элементов в багульнике ($Mn > Fe > Zn > Cu > Ni > Pb$) имеет сходство с рядом содержаний подвижных форм элементов в почве и с рядом содержаний элементов в травянистых растениях степной зоны [194]. Содержание большинства элементов (Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Pb) в багульнике исследуемого района ниже относительно их содержания в багульнике зоны тундр

[102]. Однако содержание Fe в багульнике возрастает с увеличением содержания его подвижных форм в почве, что наблюдается в местах замкнутых депрессий с наличием создаваемого подстилающими глинами и суглинками водоупора [151].

Исходя из средних содержаний в багульнике и установленных фоновых содержаний элементов в исследуемых почвах, рассчитаны КБП. По значениям КБП (табл. 4.4) Fe, Cr, Pb, Cd относятся к элементам слабого захвата, Mn, Zn, Cu, Ni – слабого накопления по А.И. Перельману [112]. Cu, Zn, как халькофильные элементы, более активно поглощаются багульником, чем сидерофильные элементы (Fe), что согласуется с данными других авторов работы [101].

Особенность багульника исследуемых ландшафтов – более высокие коэффициенты накопления Cu и низкое Cd по сравнению с данными [115] – объясняется зональными ландшафтно-геохимическими особенностями [149]. Биогеохимическая активность вида (БХА) *Ledum palustre* равна 5,14, что ниже, чем для региона тундр, и близка к данному показателю растений болот Томской области [34]. Возможно, в более южной области ареала произрастания биогеохимическая активность багульника ниже [149].

Таблица 4.4 – Содержание (мг/кг) в зеленой массе и коэффициенты накопления элементов багульником [149, с дополнениями]

Cu			Zn		Mn		Fe]		Pb		Ni	
Содержание микроэлементов в багульнике, мг/кг золы												
<u>2,2-4,8</u> 3,6			<u>9,8-18,8</u> 14,3		<u>46,9-165,0</u> 103,2		<u>7,4-42,2</u> 17,4		<0,05		<u>0,1-1,0</u> 0,4	
Коэффициенты накопления (Кн) элементов багульником												
12,0			11,0		13,4		3,8		<0,1		0,8	
Биогеохимическая активность вида (БХА) и коэффициенты биологического поглощения (КБП) элементов багульником												
БХА	Cr	Cd	Cu	Zn	Mn		Fe	Pb		Ni		
5,14	0,01	0,17	1,91	1,71	1,13		0,03	0,02		1,70		

В числителе – диапазон; в знаменателе – среднее содержание

Установлены ряды средних содержаний Fe и микроэлементов в компонентах ландшафтов верховых болот Псковской области (Полистовский заповедник, Радиловский болотный массив) для багульника (мг/кг):

Mn (103,2) > Fe (17,4) > Zn (14,3) > Cu (3,6) > Ni (0,4) > Pb (<0,05);

для автоморфных и полугидроморфных почв минеральных островов (микроэлементы – мг/кг, Fe – %):

Fe (1970) > Mn (1245) > Cr (39,2) > Zn (24,6) > Ni (12,1) > Pb (10,8) > Cu (10,1) > As (3,2);

для полугидроморфных почв болотных массивов:

Fe (300) > Mn (64,7) > Cr (33,7) > Cu (6,7) > Pb (4,8) > As (2,3);

для гидроморфных почв:

Fe (700) > Mn (97,7) > Cr (20,3) > Zn (13,1) > Pb (9,0) > Cu (6,4) > Ni (4,9) > As (2,4) > Cd (1,0);

для донных отложений водных объектов:

Fe (970) > Mn (221,0) > Zn (41,3) > Cr (34,7) > Ni (33,4) > Pb (19,7) > Cu (16,9) > As (5,5).

Наблюдается сходство рядов концентраций элементов в почвах минеральных островов и в донных отложениях водных объектов. В гидроморфных почвах Ni занимает менее значимое место в ряду концентраций элементов. Уровни Pb не сильно отличаются в различных типах почв.

4.3. Содержание и распределение макро- и микроэлементов в почвах

4.3.1. Валовое содержание элементов

В различных типах исследуемых почв отмечена значительная естественная вариабельность содержаний микроэлементов, что согласно [84], обусловлено контрастностью геохимических условий в вертикальных и горизонтальных структурах почв.

Содержание элементов в почвообразующих породах. Литологическая неоднородность определяет вариации содержания элементов в различных почвообразующих и подстилающих породах Полистовского заповедника: V – 23,1–134,1, Cr – 44,7–269,1, Mn – 142–1230, Co – 6,5–56,4, Ni – 0,1–57,7, Cu – 7,4–61,4, Zn – 11,5–63,3, As – 3,6–9,3, Sr – 88,0–210,4, Pb – 2,1–29,9). При сопоставлении содержаний элементов с кларками в почвах и почвообразующих породах мира по А.П. Виноградову [20] выявлено, что в буроземе, дерново-буро-

подзолистой и дерновой остаточно-карбонатной почвах содержание микроэлементов близко к среднестатистическим величинам. Содержание Sr во всех исследуемых почвах в несколько раз меньше кларка для почв мира (табл. 4.5). Содержание As в почвообразующих породах выше по сравнению с кларком земной коры по [20], что определяется химическими особенностями почвообразующего материала, его неоднородностью и наличием механического и сорбционного геохимического барьера.

С одной стороны, на невысокое содержание отмеченных микроэлементов в суглинистых моренных отложениях Северо-Запада России и прилегающих территорий указывали многие авторы [6, 93]. С другой стороны, отмечена высокая вариабельность химического состава почвообразующих пород данной территории [94]. В нижних горизонтах ржавозема типичного (разрез 4) повышенные относительно кларка по А.П. Виноградову [20] содержания большинства микроэлементов (V, Cr, Mn, Cu, As, Pb) и Fe, объясняются как влиянием суглинистой подстилающей породы, так и геохимическим барьером, на котором могут осаждаться элементы [149, 150]. Тип геохимического барьера – механический и сорбционный. Контрастность химического состава почвообразующей (С) и подстилающей (D) породы приведена в таблице 4.5. Если в горизонте С содержания элементов близки к кларку земной коры, то в горизонте D установлено значительное превышение их величин относительно кларков.

Почвообразующие породы Полистовского заповедника и Радиловского болотного массива имеют разные уровни накопления макро- и микроэлементов. Их величины определяются химическим и механическим составом отложений. Содержания Ni, Cu, Zn в суглинистых отложениях дерново-буро-подзолистых почв Полистовского заповедника в 3,5-5 раз выше, чем в песчаных отложениях дерново-подзолистых почв Радиловского массива (табл. 4.5). Содержание большинства элементов (за исключением Cr) в песчаных подзолах Радиловского массива также невысокое. Содержание микроэлементов в почвообразующих породах торфяно-глееземов во много раз ниже кларков земной коры (табл. 4.5),

вне зависимости от мехсостава отложений: суглинистого (профиль 6) или песчаного (профиль 9).

Таблица 4.5 – Содержание элементов в почвообразующих породах Полистовского заповедника (А) и Радиловского болотного массива (Б)

Почвы	Fe	V	Cr	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	As	Sr	Pb
	%	мг/кг									
Буроземы (А)	3,6	121,3	80,4	412	19,3	32,1	31,6	61,0	9,1	111,9	13,0
Дерново-буро-подзолистые (А)	2,9	94	72,1	280	17,0	28,1	24,3	48,0	8,8	88,0	18,0
Дерново-подзолистые (Б)	0,61	-	88,1	191	-	4,7	7,0	10,9	3,9	-	18,1
Подзолы (Б)	0,96	-	37,4	131	-	10,2	17,1	15,8	3,0	-	0,9
Ржавоземы (А)	3,38	87,5	75,4	920	13,7	27,7	29,9	50,4	8,9	131,5	18,0
<i>почвообразующая порода</i>											
<i>подстилая порода</i>	7,2	134,1	269,1	1230	56,4	57,7	61,4	63,3	9,3	210,4	29,9
Дерновые остаточнокarbonатные (А)	1,4	23,1	44,7	533	8,1	24,3	26,5	26,4	3,6	134,8	6,6
Торфяно-глееземы (А)	0,7	86,1	52,0	142	6,5	0,1	7,4	11,5	5,7	137,3	2,1
Торфяно-глееземы (Б)	0,53	-	42,8	103	-	2,5	7,5	3,4	4,8	-	0,9
Кларк земной коры [20]	4,65	90	83,0	1000	18,0	58,0	47,0	83,0	1,7	340	16,0

- – не определено

Содержание и распределение макро- и микроэлементов в почвах.

Выявлены вариации уровней накопления как микро-, так и макроэлементов в различных типах почв минеральных гряд и холмов Полистовского заповедника и Радиловского массива (табл. 4.6, рис. 4). Диапазоны их содержаний в почвах Полистовского заповедника (мг/кг): V – 19,6–113,5, Cr – 30,6–82,2, Mn – 129–2107, Co – 0,1–19,4, Ni – 3,3–35,2, Cu – 8,9–33,1, Zn – 11,9–59,2, As – 2,8–9,5, Sr – 31,9–147,7, Pb – 1,3–20,7.

Макроэлементы. Содержание Al в почвах определяется количеством ФГ: в почвах суглинистого мехсостава (разрезы 1-3) его содержание в 2 раза больше, чем в супесчаных и песчаных почвах (разрезы 4,5,7,8). При литологической неоднородности разрезов 1-4, возрастание содержания Al в нижних горизонтах соответствует возрастанию ФГ.

Таблица 4.6 – Макроэлементный состав почв Полистовского заповедника и Радиловского болотного массива, %

Горизонт (см)	SiO ₂	Al	Fe	Ca	Mg	Ti	P	K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Автоморфные почвы Полистовского заповедника:								
Разрез 1. Бурозем типичный малогумусный маломощный легкосуглинистый на среднесуглинистых моренных отложениях								
О (0-2)	75,39	3,41	1,47	0,44	0,25	0,38	0,05	1,76
АУра (2-13)	78,84	4,51	1,72	0,28	0,28	0,50	0,03	1,81
АВ (13-21)	78,48	4,91	1,74	0,26	0,33	0,49	0,03	1,93
ВМ (21-39)	69,67	7,49	3,13	0,21	0,55	0,52	0,04	2,40
С (>39)	67,72	7,76	3,49	0,26	0,59	0,52	0,04	2,50
Разрез 2. Бурозем типичный малогумусный маломощный легкосуглинистый на среднесуглинистых моренных отложениях								
О (0-1,5 см)	71,29	3,14	1,50	0,86	0,46	0,66	0,15	2,07
АУ (1,5-7 см)	80,69	3,95	1,23	0,52	0,38	0,79	0,06	2,23
АВ (7-25 см)	82,06	4,40	1,37	0,51	0,46	0,79	0,05	2,41
ВМ (25-40 см)	72,00	5,91	2,53	0,44	0,77	0,78	0,07	2,67
С (>40 см)	67,49	8,06	3,67	0,45	1,02	0,85	0,10	3,01
Разрез 3. Дерново-буро-подзолистая типичная малогумусная маломощная легкосуглинистая на среднесуглинистых моренных отложениях								
АУ (2-12)	78,19	4,56	1,42	0,67	0,48	0,89	0,09	2,0
BEL (12-19)	79,97	4,77	1,44	0,42	0,46	0,86	0,08	2,26
ВТ (19-29)	77,86	5,39	1,82	0,53	0,60	0,88	0,14	2,36
ВС (29-34)	66,48	7,92	3,80	0,43	1,01	0,86	0,17	2,95
С (>34)	76,1	8,06	2,94	0,30	0,54	0,52	0,06	1,95
Разрез 4. Ржавозем типичный среднегумусный маломощный супесчаный на среднесуглинистых моренных отложениях								
О (2-5)	44,85	2,45	5,51	5,27	1,3	0,48	0,42	1,5
АУао (5-12)	72,22	1,57	2,07	0,75	0,64	0,49	0,13	1,63
ВFM (12-33)	71,71	2,19	2,89	0,97	0,82	0,71	0,11	1,55
С (33-53)	68,55	2,56	3,38	1,17	0,99	0,73	0,14	1,46
Д (>53)	52,02	5,44	7,18	1,81	1,63	1,04	0,2	1,43
Разрез 5. Дерновая остаточно-карбонатная малогумусная маломощная каменистая супесчаная на рыхлых карбонатных супесях								
АУ (2-8)	67,05	4,56	3,33	1,67	0,87	0,63	0,22	2,10
АС'Ca (8-14)	66,06	4,96	3,47	2,58	1,11	0,67	0,24	2,06
С'Ca (14-34)	63,14	3,40	2,07	6,81	1,63	0,43	0,16	1,71
С''Ca (>34)	68,55	2,57	1,37	5,90	1,27	0,28	0,23	1,68
Автоморфные почвы Радиловского массива:								
Разрез 7. Дерново-палево-подзолистая песчаная мелкоподзолистая слабогумусовая на песчаных моренных отложениях								
ELf (4-12)	80,6	1,87	0,48	0,24	0,07	-	0,05	1,19
BEL (12-40)	83,3	1,81	0,24	0,09	-	-	0,05	1,06
ВТ (40-125)	77,0	3,48	0,9	0,37	0,17	-	0,08	1,14
ВС (125-168)	89,3	2,17	0,48	0,24	0,06	-	0,07	0,99
С (>168)	80,9	2,13	0,61	0,3	0,1	-	0,07	1,2
Полугидроморфные почвы Радиловского массива:								
Разрез 8. Подзол иллювиально-железистый неглубокоподзолистый иллювиально-среднегумусовый на песчаных моренных отложениях, подстилаемых суглинком								
О (0-6)	53,4	0,66	0,69	0,77	0,14	-	0,15	0,76
Е (6-21)	85,7	1,23	0,23	0,09	-	-	0,02	1,00
ВF (21-29)	79,6	3,06	0,7	0,24	0,08	-	0,09	1,23

Продолжение таблицы 4.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
BC (29-37)	74,0	4,11	1,08	0,19	0,13	-	0,14	1,11
C (37-88)	77,2	2,99	0,96	0,26	0,13	-	0,1	1,13
Гидроморфные почвы Полистовского заповедника:								
Разрез 6. Торфяно-глеезём типичный на суглинистых отложениях								
T (10-45)	51,8	0,43	0,51	1,11	0,23	0,19	0,25	0,64
CG (>45(50))	77,1	3,74	0,73	0,84	0,41	0,78	0,08	2,00
Гидроморфные почвы Радиловского массива:								
Разрез 9. Торфяно-глеезем потёчно-гумусовый на песчаных отложениях								
T ₁ (0-9)	-	0,80	0,25	-	-	-	-	-
T ₂ (9-20)	75,99	1,38	0,27	0,18	0,04	-	0,07	1,08
T ₃ (20-30)	76,16	1,93	0,2	0,16	0,02	-	0,17	1,04
Ghi (30-43)	73,35	3,35	0,37	0,29	0,07	-	0,09	1,08
C (43-60)	79,01	4,07	0,53	0,41	0,13	-	0,04	1,52

- – ниже предела обнаружения

По содержанию Fe среди рассматриваемых почв выделится ржавозем типичный (2,01-7,18%). Данные величины в буроземе (1,23-3,67), дерново-буроподзолистой (1,42-3,80) и дерновой остаточно-карбонатной почве (1,36-3,47%) сопоставимы между собой. Содержание Fe определяется как составом пород, так и процессами железистого метаморфизма, которые способствуют увеличению его содержаний в почве разреза 4. Гранулометрический состав отложений становится второстепенным фактором в накоплении Fe почвой. С другой стороны, увеличение содержания Al в нижних горизонтах бурозема и дерново-буроподзолистой почв объясняется более интенсивным превращением алюмосиликатов во вторичные минералы *in situ* в кислой и слабокислой среде.

Величины Ca в почвах согласуются с pH и большим (дерновая остаточно-карбонатная) или меньшим (ржавозем) присутствием обломочных карбонатов в почве. В случаях хорошо разложенной лесной подстилки наблюдается слабое возрастание содержаний Ca в горизонте O за счет комплексообразования с органическим веществом. Более высокие содержания Ca, Mg и P в почвах разрезов 4 и 5 согласуются с наибольшими высокими значениями pH среди исследуемых почв и значением биогенного роступления из мощной лесной подстилки. Уровни K определяются минералогическими особенностями слагающего материала.

Распределение по профилю элементов в буроземе, дерново-буро-подзолистой почве и ржавоземе отличается от дерновой остаточно-карбонатной почв. Если в дерновой остаточно-карбонатной почве содержания элементов уменьшаются, то буроземе, дерново-буро-подзолистой и ржавоземе увеличиваются от верхних к нижним горизонтам.

Уровни содержаний макроэлементов Al, Fe, Mg дифференцируются по профилю бурозема, дерново-буро-подзолистой почвы и ржавозема следующим образом: наблюдается увеличение содержаний в нижних горизонтах, особенно в ВС, С(D). В горизонте ВС дерново-буро-подзолистой почвы содержание Al и Fe увеличивается в 1,5-2 раза (табл. 4.6) по сравнению с поверхностными горизонтами, что диагностируется на макроморфологическом уровне наличием кутан иллювиирования по граням педов. На характерное для дерново-буро-подзолистой почвы иллювиирование глинистых частиц в горизонт ВТ и свойственное для буроземов оглинение горизонта ВМ накладывается литологическая неоднородность. Это подтверждают значения отношений TiO_2/Al_2O_3 (табл. 4.7). Высокое содержание ФГ и химических элементов в почвообразующей и подстилающей породе маскирует их накопление в текстурном горизонте ВТ. Распределение Ti, P, Ca в буроземе и дерново-буро-подзолистой близко к равномерному; распределение K – со слабым увеличением в горизонтах ВМ(ВС) и С. Значения коэффициентов SiO_2/R_2O в большинстве почв минеральных островов уменьшается в 2 раза от верхних к нижним горизонтам (табл. 4.7) вследствие сокращения доли SiO_2 и увеличения R_2O_3 ($Fe_2O_3 + Al_2O_3$) в горизонтах ВМ и С(D). Литологическая неоднородность и влияние подстилающей породы осложняет оценку тренда распределения элементов с помощью коэффициентов выноса-накопления (K) и коэффициента миграции (K_m). В связи с с большим содержанием ФГ, ила и химических элементов в почвообразующей и подстилающей породе, значения K по профилю несколько занижены, они меньше 1 в структурно-метаморфическом (ВМ) и текстурном горизонте (ВТ).

Таблица 4.7 – Геохимические коэффициенты отношений различных оксидов в почвах
Полистовского заповедника и Радиловского массива

Горизон- ты почв	$\frac{\text{TiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\text{CIA} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 100\%}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}$	$\frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	K**	Kм***
1	2	3	4	5	6	7	8
Автоморфные почвы Полистовского заповедника:							
Разрез 1. Бурозем типичный малогумусный маломощный легкосуглинистый на среднесуглинистых моренных отложениях							
О (0-2)	0,10	73,2	0,34	0,41	16,5	0,39	1,59
АУ (2-13)	0,10	78,5	0,22	0,34	13,3	0,49	1,05
АВ (13-21)	0,09	79,0	0,22	0,26	12,3	0,53	1,03
ВМ (21-39)	0,06	83,0	0,20	0,25	7,0	0,93	0,94
С (>39)	0,06	82,7	0,21	0,26	6,4	1,00	1,00
Разрез 2. Бурозем типичный малогумусный маломощный легкосуглинистый на среднесуглинистых моренных отложениях							
О (0-1,5)	0,11	70,8	0,46	0,47	16,6	0,37	2,06
АУ (1,5-7)	0,10	74,4	0,26	0,23	16,0	0,39	1,14
АВ (7-25)	0,09	75,0	0,25	0,23	14,6	0,42	1,13
ВМ (25-40)	0,07	79,4	0,25	0,28	9,1	0,68	1,10
С (>40)	0,05	82,9	0,22	0,28	6,2	1,00	1,00
Разрез 3. Дерново-буро-подзолистая типичная малогумусная маломощная легкосуглинистая на среднесуглинистых моренных отложениях							
АУ (2-12)	0,10	78,3	0,28	0,23	13,4	0,54	1,42
BEL (12-19)	0,09	78,8	0,21	0,23	13,2	0,55	1,08
Bt (19-29)	0,09	80,7	0,24	0,24	11,2	0,65	1,23
BC (29-34)	0,06	84,1	0,22	0,27	6,1	1,18	1,13
С (>34)	0,06	86,8	0,20	0,21	7,2	1,00	1,00
Разрез 4. Ржавозем типичный среднегумусный маломощный супесчаный на среднесуглинистых моренных отложениях							
О (2-5)	0,10	46,2	2,78	3,05	7,9	0,67	3,85
АУао (5-12)	0,16	60,2	1,01	0,94	25,3	0,21	1,39
BFM (12-33)	0,17	65,6	0,93	1,23	18,0	0,29	1,29
С (33-53)	0,15	69,0	0,96	0,99	14,7	0,36	1,33
Д (>53)	0,10	79,9	0,72	0,86	5,2	1,00	1,00
Разрез 5. Дерновая остаточно-карбонатная малогумусная маломощная каменистая супесчаная на рыхлых карбонатных супесях							
АУ (2-8)	0,07	73,8	0,61	0,78	9,8	1,95	0,21
АС'Ca (8-14)	0,07	70,8	0,80	0,76	9,0	2,13	0,28
С'Ca (14-34)	0,07	44,5	2,57	0,53	12,9	1,48	0,90
С''Ca (>34)	0,06	41,5	2,87	0,46	19,1	1,00	1,00
Автоморфные почвы Радиловского массива:							
Разрез 7. Дерново-палево-подзолистая песчаная мелкоподзолистая слабогумусовая на песчаных моренных отложениях							
ELf (4-12)	-	71,9	0,25	0,12	52,5	0,87	0,84
BEL (12-40)	-	77,0	-	-	66,9	0,77	0,65
BT (40-125)	-	83,3	0,25	0,12	26,9	1,70	0,85
BC (125-168)	-	79,8	0,21	0,11	52,6	0,90	0,70
С (>168)	-	74,4	0,30	0,14	44,5	1,00	1,00
Полугидроморфные почвы Радиловского массива:							
Разрез 8. Подзол иллювиально-железистый неглубокоподзолистый иллювиально-среднегумусовый на песчаных моренных отложениях							
О (0-6)	-	58,6	2,07	0,51	47,5	0,42	9,70

Продолжение таблицы 4.7

1	2	3	4	5	6	7	8
E (6-21)	-	65,8	-	-	93,4	0,35	1,67
BF (21-29)	-	83,3	0,16	0,11	32,9	0,95	0,75
BC (29-37)	-	93,1	0,13	0,13	21,7	1,40	0,62
C (37-88)	-	84,7	0,21	0,16	28,9	1,00	1,00
Гидроморфные почвы Полистовского заповедника:							
Разрез 6. Торфяно-глеезём типичный на суглинистых отложениях							
T (10-45)	-	-	-	-	-	0,25	8,81
CG (>45)	0,23	46,7	3,20	0,87	-	1,00	1,00
Гидроморфные почвы Радиловского массива:							
Разрез 9. Торфяно-глеезем потечно-гумусовый на песчаных отложениях							
T2(9-20)	-	71,0	0,23	0,09	73,3	0,36	1,11
T3(20-30)	-	94,8	0,14	0,05	60,2	0,49	0,68
Ghi (30-43)	-	86,2	0,16	0,05	33,1	0,88	0,78
C (43-60)	-	78,4	0,21	0,06	28,4	1,00	1,00

Примечание: * – $\text{CaO} = \text{CaO} - \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 10/3$

** – Коэффициент выноса-накопления по Ковде ($\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ порода)/($\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ горизонт)

*** – Коэффициент миграции ($\text{CaO} + \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ горизонт)/($\text{CaO} + \text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ порода)

Поэтому, по абсолютным значениям коэффициента К в профиле горизонты ВМ и ВТ четко не диагностируются. Однако горизонт ВМ в буроземах можно выявить по общей тенденции возрастания абсолютного значения в сравнении с вышележащими горизонтами. При этом морфологических признаков элювиирования по профилю тонкодисперсного материала не проявляется, значит, изменение структуры «инситу» (in situ). Следовательно, тренд распределения элементов по профилю можно охарактеризовать как литологически неоднородный с разницей содержаний в верхних и нижних горизонтах почвы. О текстурной метаморфизации в процессе лёссивирования в дерново-буро-подзолистой почве можно предположить по максимуму коэффициента выноса-накопления (К) и кутанам иллювиирования в горизонте ВС. Следовательно, тренд распределения элементов по профилю в дерново-буро-подзолистой почвы – элювиально-иллювиальный, осложненный литологической неоднородностью.

В профиле дерново-подзолистой почвы (разрез 7, Радиловский болотный массив) дифференциация по элементному составу проявляется более наглядно (табл. 4.7, рис. 4). Элювиальный горизонт ВЕЛ обеднен как макро, так и микроэлементами, которые мигрируют в результате кислотного гидролиза в нижележащие горизонты. В текстурном горизонте ВТ, напротив, содержания Al, Fe, Са и микроэлементов увеличивается. Данная почва демонстрирует

классический элювиально-иллювиальный тренд распределения элементов по профилю. Это вполне закономерно при литологической однородности отложений, на которых сформирована данная почва, что заметно как на макроморфологическом, так и на аналитическом уровне исследований.

В профиле ржавозема содержание Са и Ti увеличивается с глубиной вследствие неоднородности химического состава двучлена, на котором сформирована почва. Это подтверждается большим разбросом значений коэффициента TiO_2/Al_2O_3 , характеризующего однородность слагающего материала (табл. 4.7). При этом, в горизонте О ржавозема типичного – повышенные содержания Fe, Са, Mg, Р относительно всего профиля (табл. 4.6). Тренд распределения элементов по профилю – неоднородный с литологической разницей содержаний в верхних и нижних горизонтах почвы и участием органогенного накопления Zn, Ni, Pb.

Дерновая остаточно-карбонатная почва отличается уменьшением содержания макроэлементов (Al, Fe, Ti, К) и возрастанием значений SiO_2/R_2O , Км от верхних к нижним горизонтам. Данная почва имеет однородный литологический состав (значения TiO_2/Al_2O_3 по профилю не сильно меняются). Содержание Са в ней до 5-10 выше, чем в буроземах, соответственно карбонатности почвообрабатываемой породы. Содержание Al снижается с глубиной (табл. 4.6). Значения коэффициента выноса-накопления (К) и коэффициента миграции (Км) в данной почве соотносятся с накоплением полуторных оксидов в верхних горизонтах почвы, что хорошо диагностирует регрессивно-аккумулятивный тренд распределения элементов по профилю.

Торфяные горизонты торфяно-глеезёма обеднены макроэлементами по сравнению с подстилающим оглеенным суглинком (табл. 4.6-4.7) вследствие разного химического состава торфа и подстилающих пород.

Значения коэффициента CIA в профиле почв Полистовского заповедника дифференцированы и увеличиваются от верхних горизонтов к нижним (табл. 4.7). Это может быть следствием большего количества осадков на ранних стадиях формирования почв (условия преобразования глинистых минералов были более

гумидными), а также влияния подстилающих глинистых и тяжелосуглинистых пород, уменьшающих дренаж и создающих условия для периодического переувлажнения нижних горизонтов.

Низкие значения коэффициента окисления $((\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MnO})/\text{Al}_2\text{O}_3)$ по профилю почв минеральных островов указывают на низкую биологическую активность и слабую переработку первичных минералов. Преобладание первичных минералов в составе почвы также диагностируется по равномерному распределению Ti по профилю. Однако, несмотря на относительную «молодость» почвенного покрова, который, как известно, начал формироваться после отступления Валдайского оледенения, некоторые почвы отличаются интенсивностью почвообразовательных и сопутствующих им процессов. Высокое значение коэффициента окисления в горизонте BFM разреза 4 подтверждает протекание процесса железистого метаморфизма и интенсивную переработку первичных минералов, что является особенностью данной почвы.

Микроэлементы. Наибольшие, по сравнению с другими почвами минеральных островов, диапазоны содержаний микроэлементов наблюдались в *ржавоземе типичном*. Валовые значения V в нем варьировали от 52,0 до 134,1 мг/кг; Cr – 55,0-269,1, Mn – 484-4885, Co – 7,4-56, Ni – 15,3-57,7, Cu – 15,7-61,4, Zn – 30,1-63,3, As – 5,6-9,3, Pb – 12,9-29,9 мг/кг. В *буроземе типичном* и *дерново-буро-подзолистой типичной* почве содержания элементов имели близкие содержания и диапазоны значений. В буроземе: V – 72,8-121,4 мг/кг, Cr – 52,2-82,7, Mn – 328-775, Co – 7,0-22,3, Ni – 8,5-33,0, Cu – 9,0-35,0, Zn – 25,9-63,2, As – 6,1-9,5, Sr – 91,8-117,6, Pb – 2,3-15,6 мг/кг. В дерново-буро-подзолистой: V – 84,4-103,6 мг/кг, Cr – 57,2-82,8, Mn – 280-406, Co – 2,4-19,4, Ni – 20,3-35,2, Cu – 20,2-33,1, Zn – 38,1-55,2, As – 6,0-9,0, Sr – 78,3-111,1, Pb – 6,8-20,7 мг/кг; в дерновой остаточно-карбонатной почве: V – 23,1-81,4 мг/кг, Cr – 44,7-67,9, Mn – 553-2110, Co – 8,1-16,8, Ni – 19,7-30,8, Cu – 12,8-28,7, Zn – 26,4-43,1, As – 3,6-8,6, Sr – 107,6-152,5, Pb – 6,6-16,6 мг/кг. Большие диапазоны содержаний элементов в ржавоземе типичном по сравнению с другими почвами объясняются контрастностью состава почвообразующей и подстилающей пород. С другой стороны, их высокие содержания в нижних горизонтах соответствуют высоким содержаниям

макроэлементов.

Согласно рассчитанным значениям (табл. 4.8), вариации величин КК Co (1,3-2,4), As (1,7-2,1), Pb (1,1-1,8), Cu (1,2-1,5) и КР Cr (1,9-3,4), Sr (2,1-3,0), Fe (1,1-2,8), Ni (1,2-2,2), V (1,1-1,7), Zn (1,1-1,3) в почвах Полистовского заповедника связаны с разнообразием почвообразующих пород и особенностями их химического состава. Таким образом, наблюдается накопление Co, As, Pb, Cu и рассеивание Cr, Sr, Fe, Ni, Zn, V в почвах Полистовского заповедника. Накопление Fe в ржавоземе типичном связано со свойствами материнской породы. Накопление Mn (КК=1,6-1,9) в ржавоземе и дерновой остаточно-карбонатной почве определяется поступлением из лесной подстилки. В почвах буроземного типа наблюдается пониженное содержание Mn относительно кларка почв мира (КР=1,7-2,5). Полученные результаты согласуются с данными других исследователей [24-25, 213] для схожих условий в районах распространения моренных и водно-ледниковых отложений. Максимальное значение Mn наблюдаются в горизонтах О и АУ (рис. 4) почв минеральных островов. Однако выявлено обеднение Mn опесчаненного горизонта АУ ржавозема типичного и горизонтов C'_{Ca}, C''_{Ca} дерновой остаточно-карбонатной почвы. Уменьшение содержаний Mn по профилю бурозема типичного менее заметно, чем в ржавоземе и дерновой остаточно-карбонатной почве (рис. 4). Значения Co и Sr во всех изучаемых почвах, напротив, увеличиваются от верхних к нижним горизонтам.

Таблица 4.8 – Ряды концентрации и рассеяния элементов в почвах Полистовского заповедника

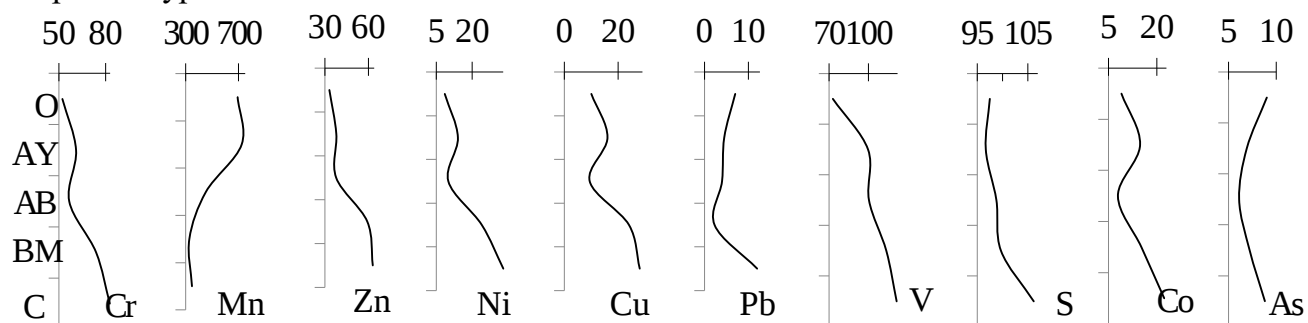
Почва	Кларки концентрации (КК)	Кларки рассеяния (КР)
Бурозем типичный	As (2,0) > Co (1,6) > Pb, V (1,0)	Cu, Fe (1,1) < Zn (1,2) < Mn (1,7) < Ni (2,2) < Sr (2,9) < Cr (3,1)
Дерново-буро-подзолистая типичная	As (1,8) > Pb (1,4) > Co (1,3) > Cu (1,2)	V, Zn (1,1) < Fe (1,3) < Ni (1,6) < Mn (2,5) < Cr, Sr (3,0)
Ржавозем типичный	Co (2,4) > As, Mn (2,1) > Fe (1,9) > Pb (1,8) > Cu (1,5)	Zn (1,1) < V, Ni (1,2) < Cr (1,9) < Sr (2,1)
Дерновая остаточно-карбонатная	As (1,7) > Mn (1,6) > Co (1,5) > Cu (1,2) > Pb (1,1)	Zn (1,3) < Ni (1,6) < V (1,7) < Sr (2,3) < Cr (3,4) < Fe (2,8)

В почвах минеральных островов (бурозем, дерново-буро-подзолистая, ржавозем) отмечена дифференциация валового содержания микроэлементов с увеличением концентраций к горизонту С. В дерновой остаточно-карбонатной почве оно, напротив, уменьшается от верхних к нижним горизонтам (рис. 4).

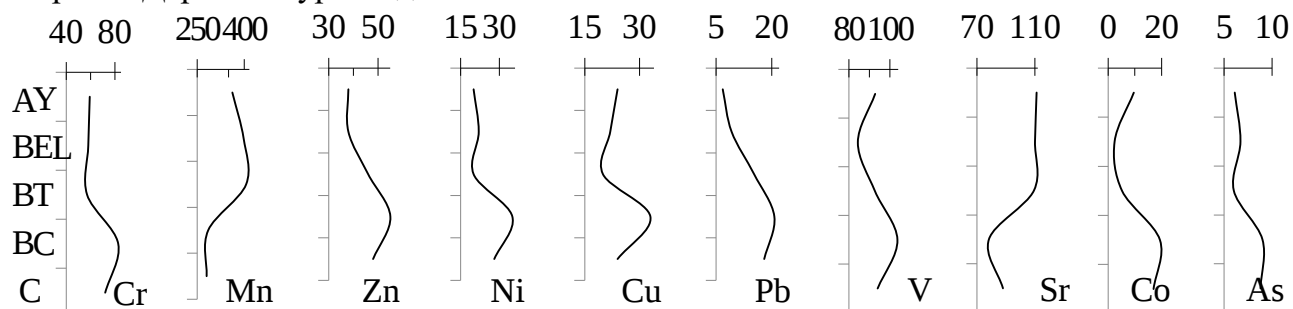
В целом, картина распределения микроэлементов в почвах соответствует распределению в них макроэлементов. В буроземах оно литологически неоднородное: от близкого к равномерному в верхних горизонтах почвы до возрастания содержаний в структурно-метаморфическом горизонте ВМ и особенно в почвообразующей породе. В дерново-буро-подзолистой почве – возрастание содержания элементов в горизонте ВС и С, осложненное влиянием подстилающих пород. В почвообразующей (С) и подстиляющей (D) породах ржавозема типичного наблюдается резкое увеличение содержания микроэлементов (рис. 4) вследствие контраста отложений и создаваемого им механического и сорбционного геохимического барьера [210]. В дерновой остаточно-карбонатной почве наблюдается накопление микроэлементов в верхних горизонтах, соответствующее регрессивно-аккумулятивному тренду. Образование слабоподвижных соединений микроэлементов с гуминовыми кислотами (преобладающими в составе органического вещества данных почв) способствует накоплению элементов в гумусовом горизонте [38].

Полугидроморфные почвы болотных массивов. Распределение Zn, Cu, Pb, Mn по профилю дерново-подзолистой почвы (разрез 7) имеет элювиально-иллювиальный тренд (рис. 4), кроме Cr, Ni, распределение которых по профилю близко к равномерному. *Подзол иллювиально-железистый* характеризуется элювиально-иллювиальным характером распределения микроэлементов и, как следствие, контрастной окраской почвенного профиля, который в свою очередь дифференцирован по содержанию элементов. Содержания Al, Mn возрастают от верхних к нижним горизонтам, согласно [110] накапливаясь в иллювиальном горизонте на глеевом барьере. Zn, Cu, As концентрируются в органогенном горизонте и частично выносятся в нижние горизонты ВС, С (рис. 4). Перемещение Cr, Pb, Mn в нижние горизонты обусловлено выносом продуктов разрушения почвенных минералов фульвокислотами [38], которые преобладают в составе органического вещества данных почв. Таким образом подзол иллювиально-железистый и дерново-подзолистая почва имеют типичный для данных почв элювиально-иллювиальный тренд распределения элементов.

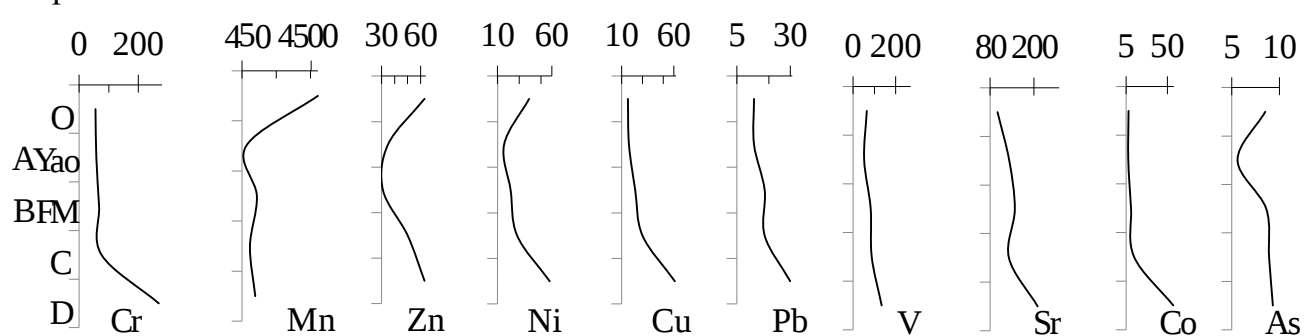
Разрез 1. Бурозем



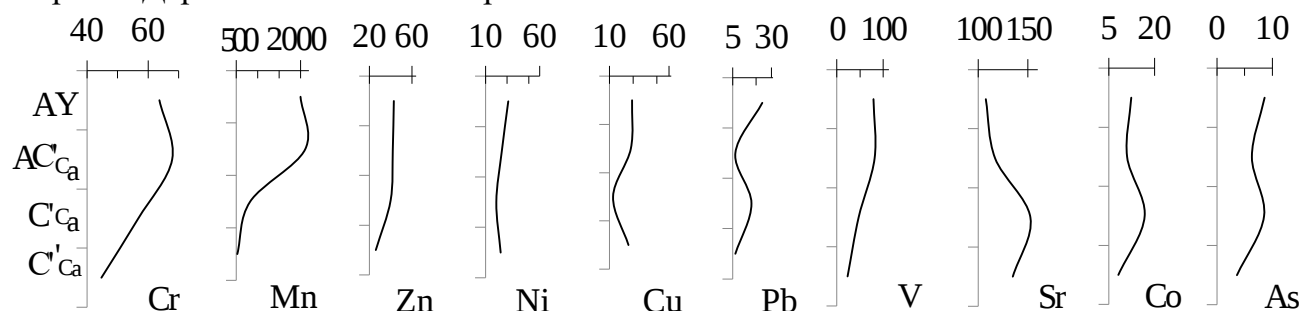
Разрез 3. Дерново-буро-подзолистая



Разрез 4. Ржавозём типичный



Разрез 5. Дерновая остаточно-карбонатная



Разрез 6. Торфяно-глеезем типичный

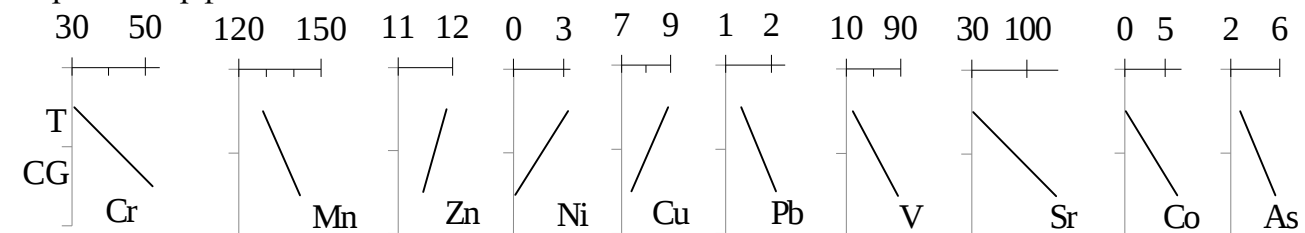
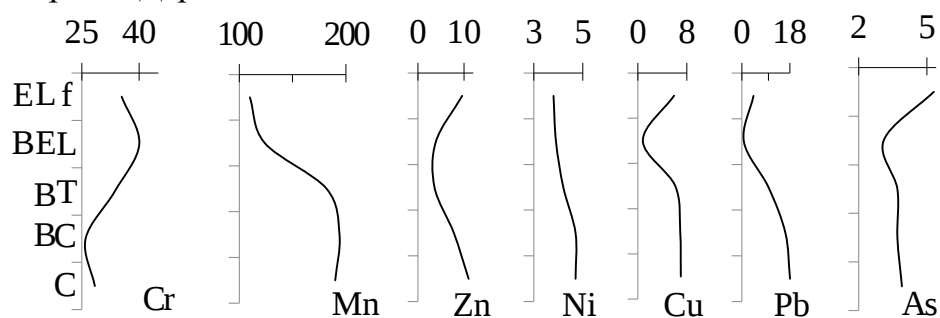
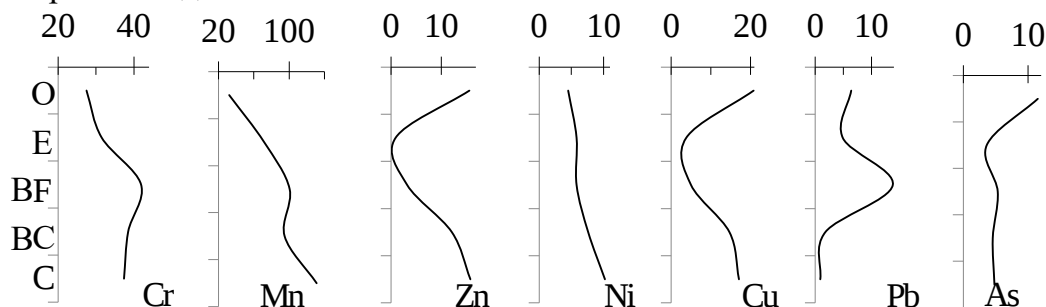


Рисунок 4. Распределение содержаний микроэлементов (мг/кг) по профилю почв Полистовского заповедника и Радиловского болотного массива

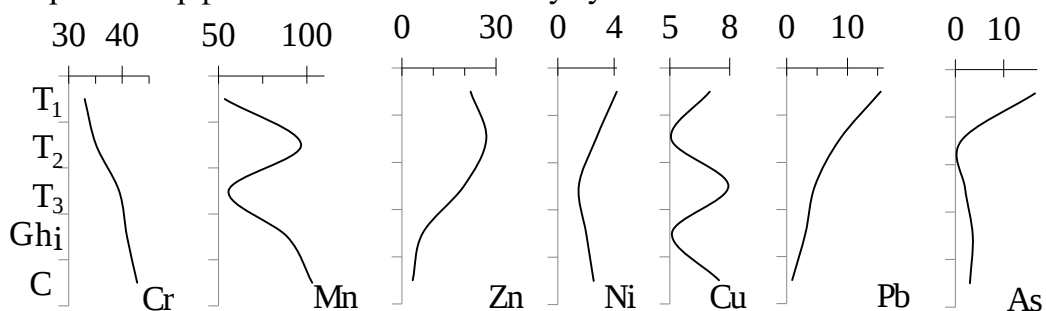
Разрез 7. Дерново-подзолистая



Разрез 8. Подзол иллювиально-железистый



Разрез 9. Торфяно-глеезем потечно-гумусовый



Гидроморфные почвы. В гидроморфных почвах установлены невысокие содержания микроэлементов. В торфяно-глееземе типичном (разрез 6, Полистовский заповедник): V – 19,6–86,1 мг/кг, Cr – 30,6–52,0, Mn – 129–142, Co – 0,1–6,5, Ni – 0,1–3,3, Cu – 7,4–8,9, Zn – 11,5–11,9, As – 2,8–5,7, Sr – 31,9–137,3, Pb – 1,3–2,1 мг/кг; Fe – 0,51–0,73%. Содержания элементов в торфяно-глееземе потёчно-гумусовом (разрез 9, Радиловский массив) варьируют: Cr – 33,0–42,8 (38,2) мг/кг, Mn – 53,5–103 (79,6), Ni – 1,5–4,2 (2,6), Cu – 5,1–7,9 (6,5), Zn – 3,4–26,9 (15,7), As – 3,6–11,5 (6,0), Pb – 0,9–15,5 (6,6) мг/кг; Fe – 0,20–0,53%.

В торфяно-глееземе типичном (разрез 6) Полистовского заповедника содержания макро- и микроэлементов возрастают в минеральном горизонте относительно торфяного горизонта: Al в 9, K, Ti – в 3–4 раза (табл. 3.9),

TOP/BOT<1. Исключение составляет Ni (TOP/BOT=32,6) и Cu (TOP/BOT=1,2), для которых установлено накопление в торфяных горизонтах (рис. 4). Химический состав торфяных горизонтов исследуемых почв обоих районов практически однороден, за исключением величин Zn, Pb, As. В торфяных горизонтах торфяно-глееземов Радиловского болотного массива по сравнению с Полистовским заповедником установлены более высокие содержания элементов: Pb (в 7,2 раза), As (в 2,5), Zn (в 2 раза). Отношение TOP/BOT для торфяно-глееземов Радиловского болотного массива составляет: Pb – 4,8, Zn – 4,5, As – 1,5, Cu – 1,1, Ni – 1,2. Торфяно-глееземы Радиловского болотного массива аккумулируют данные элементы в поверхностных горизонтах. Из-за разницы содержания элементов в оглеенной минеральной толще (CG), коэффициенты TOP/BOT районов исследования отличаются. Таким образом, для торфяно-глееземов, сформированных на песчаных моренных отложениях, выявлен органо-аккумулятивный тренд распределения микроэлементов по профилю.

Дифференциация профиля полугидроморфных и гидроморфных почв по содержанию элементов проявляется наиболее сильно (рис. 4). В подзолах за счет подзолистого процесса, в торфяно-глееземах – глеевого процесса и дифференциации органической и минеральной части профиля. Содержания элементов увеличивается от элювиальных к иллювиальным горизонтам (подзол иллювиально-железистый), от торфяных к минеральным (торфяно-глеезем типичный на суглинистых отложениях), от минеральных к торфяным (торфяно-глеезем потёчно-гумусовый на супесчаных отложениях).

Зависимость распределения элементов в почвах от свойств почв. В большинстве исследуемых почв распределение $C_{орг}$ по профилю отличается регрессивно-аккумулятивным типом, однако в виду литологической неоднородности элементы концентрируются в нижней части профиля. В связи с данной особенностью наблюдается отрицательная корреляция содержания большинства микроэлементов (при $p<0,05$) с содержанием органического вещества ($C_{орг}$): особенно Ni (-0,56...-0,87), Zn (-0,45...-0,79), Pb (-0,64...-0,89). Напрямую от количества органического вещества зависит содержание Mn ($r=0,76$) в почвах минеральных островов, особенно в дерново-карбонатных и ржавоземах

($r=0,73-0,80$) и содержание As в дерново-буро-подзолистых и подзолистых почвах ($r=0,64-0,97$). В дерново-подзолистой почве со сфагновым покровом поступление Mn из опада, по-видимому, не происходит (коэффициент корреляции с $C_{орг}$, $r= -0,95$), источником Mn служит почвообразующая порода.

Корреляция большинства элементов (Ni, Cu, Pb и Cr) с величиной pH в буроземах, дерново-буро-подзолистых и дерново-подзолистых почвах положительна, в ржавоземах и дерново-карбонатных почвах – отрицательна (табл. 4.9). Данная связь зависит от величин pH: при значениях 4,6-5,8 (соответствующих кислой и слабокислой среде), значения r положительны, при 6,0-8,2 (слабокислой близко к нейтральной, нейтральной и слабощелочной) – отрицательна. В большинстве почв As и Mn отрицательно соотносятся с pH.

Связь микроэлементов с содержанием физической глины прямая, особенно в буроземах и ржавоземах – для Cr, Ni, Cu, Zn ($r=0,77-0,99$, $p<0,05$), в дерново-буро-подзолистых почвах – для Cr, Ni, Zn, As, Pb ($r=0,80-0,99$), в дерновых остаточно-карбонатных – для Cr, Mn, Ni, Cu ($r=0,71-0,92$). Распределение Mn в почвах минеральных островов Полистовского заповедника отрицательно соотносится с величинами СНО и содержанием макроэлементов (Fe, Al, Mg), в дерново-подзолистой почве (Радиловский болотный массив) – положительно (табл. 4.9).

Связь содержания микроэлементов с величинами Al, Fe положительна в буроземах, ржавоземах, дерново-карбонатных и дерново-буро-подзолистых почвах. Выявлена отрицательная связь Cr, Ni, Cu, Zn в большинстве почв с содержанием Ca, в дерново-карбонатной – с содержанием Ca и Mg (табл. 4.9). Связь содержания микроэлементов со степенью насыщенности основаниями положительная (от слабой ~ 0 до $r=0,62-0,91$, $p<0,05$) в почвах с неоднородным литологическим составом (бурозем, дерново-буро-подзолистая и ржавозем) или отрицательная (от слабой ~ 0 до $r=-0,52...-0,99$, $p<0,05$) в почвах с однородным литологическим составом (дерново-карбонатная, дерново-подзолистая).

Таблица 4.9 – Коэффициенты корреляции Спирмена (r) между содержанием химических элементов и физико-химическими свойствами почв Полистовского заповедника и Радиловского массива

№№	C _{орг}	pH	ФГ	СНО	Mg	Al	Ca	Fe	
1,2	-0,53	0,60	0,77	0,62	0,95	0,95	-0,55	0,96	Cr
3	-0,54	0,73	0,8	0,61	0,95	0,9	-0,50	0,98	
4	-0,44	-0,60	0,98	0,86	0,78	0,97	-0,10	0,77	
5	0,58	-0,82	0,71	-0,99	-0,44	0,98	-0,74	0,97	
7	0,64	-0,81	-0,93	-0,52	0,34	-0,14	-0,52	-0,35	
6,9	-0,83	0,83	0,98	0,89	0,60	0,85	~0	0,63	
8	0,23	0,53	0,24	-0,73	-0,80	0,88	-0,60	0,46	
6,8,9 ²	-0,36	0,62	0,87	0,41	0,50	0,82	0,01	0,24	
1,2	0,44	-0,43	-0,42	-0,20	-0,45	-0,57	0,62	-0,39	Mn
3	0,35	-0,81	-0,65	-0,52	-0,89	-0,91	0,38	-0,87	
4	0,80	0,80	0,58	-0,40	0,41	~0	0,98	0,44	
5	0,73	-0,87	0,92	-0,92	-0,74	0,98	-0,94	0,99	
7	-0,95	0,78	0,77	0,88	0,33	0,52	0,63	0,58	
6,9	0,26	0,48	0,96	0,66	0,88	0	0,84	0,89	
8	-0,51	0,72	-0,53	-0,93		0,77	-0,66	0,46	
6,8,9 ²	-0,08	0,57	0,66	0,27	0,66	0,48	0,38	0,44	
1,2	-0,56	0,66	0,87	0,63	0,92	0,93	-0,53	0,91	Ni
3	-0,61	0,71	0,82	0,62	0,93	0,88	-0,59	0,97	
4	~0	-0,21	0,99	0,62	0,99	0,93	0,42	0,99	
5	0,87	-0,72	0,91	-0,35	-0,98	0,52	-0,88	0,59	
7	-0,84	0,95	0,90	0,77	~0	0,15	0,41	0,29	
6,9	0,77	-0,53	-0,98	-0,72	0,47	0,57	0	-0,5	
8	-0,88	0,85	-0,50	-0,81	0	0,63	-0,43	0,58	
6,8,9 ²	-0,35	0,39	-0,88	-0,20	-0,50	0,39	-0,51	0,18	
1,2	-0,50	0,57	0,79	0,66	0,91	0,92	-0,50	0,92	Cu
3	-0,30	0,41	0,57	0,32	0,78	0,67	-0,27	0,85	
4	-0,59	-0,73	0,99	0,91	0,73	0,96	-0,21	0,71	
5	0,48	-0,35	0,78	-0,17	-0,91	0,38	-0,77	0,42	
7	0,37	0,39	0,81	0,20	0,26	0,34	0,81	0,65	
6,9	0,25	-0,11	0,46	0,10	0,39	-0,23	0,64	0,33	
8	-0,90	0,25	-0,13	0,37	0,44	0	0,73	0,62	
6,8,9 ²	-0,27	0,19	-0,21	0,31	0,22	-0,03	0,29	0,66	
1,2	-0,45	0,67	0,78	0,69	0,97	0,92	-0,51	0,98	Zn
3	-0,79	0,76	0,94	0,86	0,95	0,88	-0,50	0,95	
4	0,25	~0	0,90	0,23	0,92	0,68	0,68	0,90	
5	0,60	-0,84	0,56	-0,95	-0,26	0,87	-0,58	0,87	
7	0,14	0,37	0,72	-0,26	-0,72	-0,48	0,16	~0	
6,9	0,59	-0,74	0,92	-0,40	-0,51	-0,63	0,45	-0,65	
8	-0,87	0,39	0,24	0,20	0,37	-0,55	0,61	0,72	
6,8,9 ²	0,54	-0,26	0,24	-0,43	-0,13	-0,41	-0,10	-0,17	
1,2	0,21	0,	0,51	0,25	0,35	0,22	0,28	0,37	As
3	0,97	-0,79	0,95	0,8	0,94	0,95	0,88	-0,68	
4	-0,33	-0,12	0,69	0,60	0,71	0,63	0,27	0,66	
5	0,58	-0,73	0,26	-0,65	~0	0,53	-0,27	0,55	
7	0,64	-0,44	0,10	-0,77	-0,45	-0,19	0,25	0,11	
6,9	0,39	0	0,97	~0	0,24	0,77	-0,33	0,28	
8	-0,59	-0,42	0,24	0,89	0,37	-0,55	0,98	0,12	
6,8,9 ²	0,19	-0,29	0,79	0,04	0,03	-0,36	0,19	-0,02	
1,2	-0,20	0,10	0,21	-0,11	0,17	0,12	0,24	0,14	Pb
3	-0,89	0,86	0,99	0,95	0,93	0,91	-0,62	0,91	
4	-0,64	-0,75	0,99	0,96	0,71	0,95	-0,24	0,69	

5	0,18	-0,25	-0,29	-0,13	0,44	~0	0,30	~0	Pb
7	-0,76	0,84	0,96	0,65	~0	0,23	0,60	0,46	
6,9	0,65	-0,48	~0	-0,40	-0,65	-0,39	-0,70	-0,64	
8	0,95	-0,68	0,15	0,31	-0,74	-0,15	0,11	0,35	
6,8,9 ²	0,39	-0,56	-0,27	-0,23	-0,49	-0,39	-0,44	-0,36	
1-5,7 ¹	0,14	0,20	0,48	0,50	0,71	0,64	0,17	1,0	Fe
6,8,9 ²	-0,50	0,66	-0,01	0,62	0,52	0,54	0,26	1,0	

Номера разрезов: 1–2 – буроземы, 3 – дерново-буро-подзолистая почва, 4 – ржавозем, 5 – дерновая остаточно-карбонатная, 7 – дерново-подзолистая; 8 – подзол иллювиально-железистый; 6, 9 – торфяно-глеезёмы. Курсивом выделены коэффициенты корреляции $|r| < 0,60$. По классификации (рис. 2.2) ¹ – соответствуют минеральным почвам, ² – торфяным

Отмечены сходные зависимости содержания микроэлементов от свойств почв, близких по степени литологической однородности, либо кислотно-основным показателям. В литологически неоднородных почвах величины микроэлементов отрицательно соотносятся с $C_{орг}$ и положительно со СНО. В почвах однородного литологического состава, напротив, прямо $C_{орг}$ и обратно СНО. В кислых и слабокислых почвах содержания микроэлементов при увеличении pH возрастают, а в нейтральных до слабощелочных – уменьшаются. Для всех почв установлена положительная зависимость концентрации микроэлементов от уровня ФГ, а Mn – от величин $C_{орг}$. В почвах минеральных островов Полистовского заповедника установлена тесная положительная связь содержания микроэлементов с содержанием Fe и Al, в почвах Радиловского массива – с содержанием Ca (табл. 4.9).

В торфяных почвах величины микроэлементов напрямую зависят от $C_{орг}$, pH, уровней макроэлементов (кроме Al), в то время как связь с содержанием ФГ менее выражена, чем в почвах минеральных островов.

Содержание Pb согласуется с величиной $C_{орг}$ ($r=0,65-0,95$, $p<0,05$), Cr и Mn – с pH ($r=0,48-0,83$, $p<0,05$).

В торфяно-глеезёмах установлена положительная корреляция между содержанием Ni, Pb и $C_{орг}$ ($r=0,65-0,77$, $p<0,05$). Тесная положительная связь установлена между содержанием ФГ и Cr, Mn, Zn, As ($r=0,92-0,97$, $p<0,05$); и отрицательная между ФГ и Ni ($r=-0,98$, $p<0,05$).

В подзоле иллювиально-железистом содержание Ni, Mn напрямую зависит от pH ($r=0,72-0,85$, $p<0,05$), Cr, Mn, Ni, Cu, Zn – от Fe ($r=0,46-0,72$, $p<0,05$); Mn, Ni отрицательно коррелирует с ФГ ($-0,50...-0,53$).

Таким образом, особенностью большинства исследованных почв минеральных островов является неоднородный литологический состав, который определяет литологически неоднородный тренд распределения элементов по профилю почв. Это делает использование геохимических методов исследования недостаточным для диагностики почвообразовательных процессов, которая возможна с применением комплекса методов (полевых, лабораторных и геохимических), среди которых на первый план выходит полевая (макроморфологическая диагностика), которая подкрепляется аналитическими методами; использование геохимических коэффициентов при исследовании буроземов на двучленах не всегда ясно отражает закономерности распределения элементов, однако в дерново-буро-подзолистых почвах подзолистый процесс ясно диагностируется с помощью геохимических коэффициентов.

В полугидроморфных и гидроморфных почвах установлен классический тренд распределения макро- и микроэлементов по профилю (элювиально-иллювиальное распределение элементов в подзоле и регрессивно-аккумулятивное в торфяно-глеезёмах). Высокие содержания большинства химических элементов в почвообразующей и подстилающей породе ржавозёма типичного определяется химическим составом пород и наличием механического и сорбционного геохимического барьера. Повышенные содержания Pb, As и Zn в торфяных почвах Радиловского массива относительно аналогичных почв Полистовского заповедника может быть объяснено более приближенным положением массива по отношению к путям аэрогенного переноса ТМ [151] и крупным городам как источникам загрязнения атмосферы. Однако уровень аэрогенного привноса ТМ невысокий, территорию Радиловского массива можно условно отнести к незагрязненным.

4.3.2. Подвижные формы Fe и микроэлементов

Определено содержание подвижных форм Ni, Cu, Zn, Pb, Mn и Fe в почвах минеральных островов Полистовского заповедника (табл. 4.10). Изучение распределения подвижных форм элементов по профилю также важно для диагностики почвенных процессов. Процент подвижных форм от общего (валового) содержания характеризует степень подвижности микроэлементов в исследуемых ландшафтах.

Исследуемые почвы отличаются низким содержанием подвижных форм Cu и Pb и высоким содержанием Mn (табл. 4.10). Содержание подвижных форм Mn возрастает при увеличении количества органического вещества – до 10,85–58,75 мг/кг в верхних горизонтах ржавозема и дерновой остаточно-карбонатной почвы. Среди исследуемых почв максимальное содержание подвижных Cu, Ni отмечено в дерновой остаточно-карбонатной, что согласуется с данными других исследователей [218], установленными для однотипных почв другого района. Относительно высокие значения величин подвижного Fe отмечены в почвах буроземного типа (разрезы 1–3), а также в железисто-метаморфическом горизонте BFM ржавозема типичного. Подвижность Fe снижается в дерновой остаточно-карбонатной почве (0,02–0,28%). Подвижность Mn варьирует от 0,3% до 1,6, для Ni, Cu, Zn и Pb – возрастает до 10,7%.

Для подвижного Mn выявлен аккумулятивный тип распределения по профилю всех почв минеральных островов (табл. 4.10). Содержание подвижного Pb в почвах слабо уменьшается с глубиной, распределение подвижных Ni, Cu, Zn – от равномерного до выноса в нижние горизонты при низких значениях pH или легком гранулометрическом составе. Элювиально-иллювиальное распределение подвижного Fe в большинстве почв минеральных островов, выражено в снижении содержания от горизонтов O, AY к срединным горизонтам, последующим увеличением в почвообразующей породе.

Таблица 4.10 – Содержание подвижных форм микроэлементов и Fe (мг/кг) в профиле почв минеральных островов Полистовского заповедника

Буроземы			Дерново-буро-подзолистая		Ржавозем		Дерновая остаточно-карбонатная	
Горизон-ты	Разрез 1	Разрез 2	Разрез 3		Разрез 4		Разрез 5	
Mn	O	7,51 (1,1)	7,51 (1,0)	AY	1,79 (0,5)	O	58,73 (1,2)	
	AY	6,48 (0,9)	5,11 (1,6)	BEL	2,14 (0,5)	AYao	15,01 (3,1)	AY
	AB	3,62 (0,8)	2,15 (0,6)	BT	1,70 (0,4)	BFM	6,84 (0,5)	AC _{Ca}
	BM	1,28 (0,4)	1,57 (0,4)	C	1,13 (0,4)	BC	7,78 (0,9)	C' _{Ca}
	C	1,13 (0,3)	1,57 (0,3)	D	1,00 (0,4)	C	5,33 (0,4)	C'' _{Ca}
Fe	O	2,02 (0,14)	12,11 (0,81)	AY	10,79 (0,76)	O	0,90 (0,02)	
	AY	3,47 (0,20)	8,59 (0,70)	BEL	4,56 (0,32)	AYao	0,53 (0,03)	AY
	AB	3,34 (0,19)	2,28 (0,17)	BT	5,87 (0,32)	BFM	8,13 (0,28)	AC' _{Ca}
	BM	2,09 (0,07)	3,66 (0,14)	C	16,26 (0,43)	BC	1,59 (0,05)	C' _{Ca}
	C	1,72 (0,05)	7,62 (0,21)	D	12,0 (0,41)	C	1,68 (0,02)	C'' _{Ca}
Ni	O	0,36 (4,2)	0,34 (3,8)	AY	0,29 (1,4)	O	0,42 (1,1)	
	AY	0,33 (2,5)	0,26 (2,3)	BEL	0,38 (1,7)	AYao	0,29 (1,9)	AY
	AB	0,10 (1,0)	0,22 (1,1)	BT	0,72 (3,5)	BFM	0,94 (1,6)	AC _{Ca}
	BM	0,24 (1,0)	0,27 (1,1)	C	0,86 (2,4)	BC	0,44 (1,6)	C' _{Ca}
	C	0,30 (0,9)	0,25 (0,8)	D	0,72 (2,6)	C	0,91 (1,6)	C'' _{Ca}
Cu	O	0,27 (2,6)	0,11 (1,2)	AY	0,16 (0,7)	O	0,11 (0,8)	
	AY	0,47 (2,9)	0,26 (2,4)	BEL	0,38 (1,8)	AYao	0,23 (1,3)	AY
	AB	0,11 (1,2)	0,22 (1,2)	BT	0,25 (1,2)	BFM	0,18 (0,8)	AC _{Ca}
	BM	0,40 (1,7)	0,37 (1,6)	C	0,33 (0,7)	BC	0,11 (0,4)	C' _{Ca}
	C	0,27 (1,0)	0,41 (1,2)	D	0,25 (1,0)	C	0,22 (0,4)	C'' _{Ca}
Zn	O	0,96 (2,9)	0,69 (4,7)	AY	0,68 (1,8)	O	1,12 (1,8)	
	AY	1,37 (3,6)	1,43 (5,5)	BEL	0,59 (1,5)	AYao	0,55 (1,8)	AY
	AB	1,64 (4,4)	0,82 (3,0)	BT	0,70 (1,5)	BFM	0,46 (1,5)	AC _{Ca}
	BM	1,39 (2,3)	1,23 (2,5)	C	0,74 (1,3)	BC	1,0 (4,6)	C' _{Ca}
	C	3,47 (5,5)	0,86 (1,5)	D	0,70 (1,5)	C	1,36 (2,1)	C'' _{Ca}
Pb	O	0,54 (7,8)	1,00 (10,7)	AY	0,67 (9,8)	O	1,45 (8,6)	
	AY	0,35 (7,5)	0,59 (4,4)	BEL	0,63 (6,9)	AYao	0,90 (6,5)	AY
	AB	0,32 (8,2)	1,04 (8,1)	BT	0,52 (9,9)	BFM	1,43 (7,7)	AC _{Ca}
	BM	0,23 (9,9)	0,39 (2,5)	C	0,51 (1,7)	BC	0,30 (1,5)	C' _{Ca}
	C	0,45 (3,8)	0,71 (5,0)	D	0,52 (2,9)	C	1,23 (3,9)	C'' _{Ca}

Примечание: содержание подвижных форм элементов, в скобках – подвижность, % (доля подвижных форм элементов от их валового содержания)

Низкая доля (в процентах) подвижных форм Fe от его валового содержания (0,02-0,81) говорит о его слабой подвижности, особенно в почвах с относительно высокими значениями pH – дерновой остаточно-карбонатной и ржавозёме (0,02-0,28). Подвижность Mn составляет 0,3–1,6%, а Ni, Cu, Zn и Pb – возрастает до 10,1–10,7%; причем, подвижность Cu возрастает в слабощелочной и нейтральной среде, а Pb – в кислой и слабокислой.

Выявлена прямая зависимость подвижных форм элементов не только от процента физической глины, но и от валовых содержаний Fe, Al и Mg ($r=0,41$ -

0,99), емкости катионного обмена и степени насыщенности основаниями ($r=0,31-0,91$), что подтверждается данными [158].

Выявлены высокие валовые содержания Fe, Ni, Pb в ржавоземе типичном. В почвах минеральных островов наблюдается накопление Co, As, Pb, Cu, рассеивание Cr, Sr, Fe, Ni, Zn, V. В большинстве почв валовое содержание Ni, Cu, Zn, Pb, Fe, Al возрастает от верхних горизонтов к нижним, а в дерновой остаточно-карбонатной – уменьшается, согласуясь с распределением физической глины. Это отличает регрессивно-аккумулятивный тренд накопления элементов в профиле дерновой остаточно-карбонатной почвы от литологически неоднородного в большинстве почв буроземного типа и элювиально-иллювиального в дерново-подзолистых почвах.

В почвах минеральных островов установлена положительная связь элементов с содержанием ФГ, Fe, Al. В кислых и слабокислых условиях ($pH=4,6-5,8$) связь содержания микроэлементов и величин pH прямая, в слабощелочных – обратная. В литологически неоднородных почвах связь содержания микроэлементов со значениями СНО положительная, в однородных – отрицательная. Корреляция с содержанием Са в почвах Радиловского массива прямая, для Полистовского заповедника – обратная. Данные различия определяются типами и свойствами почв.

Органогенное накопление Mn валового и подвижного коррелирует с количеством $C_{орг}$ и наблюдается во всех почвах; Zn, Ni накапливается в верхних горизонтах почв с мощной и разложенной лесной подстилкой. Наибольшее содержание подвижных форм Mn, Fe, Ni, Pb отмечено в органогенных горизонтах почв. В слабощелочной среде дерновой остаточно-карбонатной почвы происходит увеличение содержания подвижных форм Cu и Ni, а в кислых горизонтах бурозема и дерново-буро-подзолистой почвы – Fe.

По сравнению с почвами минеральных островов, в почвах болотных массивов связь микроэлементов с содержанием ФГ менее выражена, этим почвам характерен контраст химического состава торфяных и минеральных горизонтов. Величины некоторых микроэлементов напрямую зависят от $C_{орг}$ (в торфяно-

глеезёмах), pH (в подзоле иллювиально-железистом), уровней макроэлементов (кроме Al). Для Ni (от 1,2 до 32,6) и Cu (1,1–1,2) установлено накопление в органогенных горизонтах, Zn – равномерное распределение либо накопление (TOP/BOT=1,0–4,5), для Mn равномерное распределение по профилю. Pb накапливается в верхних горизонтах гидроморфных почв Радиловского массива (TOP/BOT=4,8–5,4). Содержание Cr и Mn согласуется с pH, Pb – с $C_{орг}$.

В торфяно-глеезёмах выявлена положительная корреляция величин Ni, Pb с $C_{орг}$; прямая связь установлена между Cr, Mn, Zn, As и ФГ и отрицательная между Ni и ФГ ($r=-0,98$, $p<0,05$). В подзоле иллювиально-железистом содержание Ni, Mn напрямую зависит от pH ($r=0,72-0,85$, $p<0,05$), Cr, Mn, Ni, Cu, Zn – от Fe ($r=0,46-0,72$, $p<0,05$); Mn, Ni отрицательно коррелируют с ФГ ($-0,50...-0,53$).

Вывод. В целом, почвы Полистовского заповедника не загрязнены ТМ и их уровни, в основном, можно использовать в качестве фоновых значений при проведении регионального почвенно-экологического мониторинга.

Для почв минеральных островов Полистовского заповедника выявлено сильное влияние литологической неоднородности пород на элементный состав, физические свойства почв, ЭПП. В них установлена прямая связь содержания макро- и микроэлементов с физической глиной, а Mn – с содержанием $C_{орг}$. Содержание элементов растёт при увеличении pH в кислой и слабокислой почвенной среде и при уменьшении pH в слабощелочной среде. Концентрация химических элементов с осаждением их на геохимическом барьере происходит в нейтральной среде и в нижних суглинистых горизонтах почв. На литологическую неоднородность накладывается механический барьер (в ржавозёме типичном) и механический + сорбционный барьер (в донных отложениях рек).

В отличие от Полистовского заповедника, в почвах Радиловского массива цветовая и текстурная дифференциация по иллювиально-иллювиальному типу – результат внутрипочвенных процессов выщелачивания и выноса органо-минеральных компонентов в нижние горизонты.

Исходя из этого, на поведение и распределение элементов по профилю литогенных почв минеральных островов больше всего влияют литологические и

кислотно-основные факторы. В органогенных почвах для Pb, Ni, Cu, Zn на первый план выходит органогенное накопление, на поведение Mn влияют кислотно-основные свойства, на макроэлементы – литология (химический состав почвообразующего материала).

Содержание подвижных форм элементов тесно коррелирует с количеством физической глины, валового Fe, Al, Mg. Подвижность химических элементов в почвах возрастает в кислой среде, Cu – в слабощелочной. *Ledum palustre*, наряду с халькофильными Cu и Zn, активно накапливает Ni и слабо сидерофильное Fe и Cd. Биогеохимическая активность вида (БХА) багульника на территории Псковской области ниже, чем в более северных районах его произрастания [149].

5. СОДЕРЖАНИЯ И ПОТОКИ МЕТАНА ИХ ВЗАИМОСВЯЗЬ С МАКРО- И МИКРОЭЛЕМЕНТАМИ В КОМПОНЕНТАХ ЛАНДШАФТОВ

5.1. Содержание метана в компонентах исследуемых ландшафтов

Согласно полученным нами данным [137] содержание метана в пробах болотных вод, отобранных с поверхности различных типов ландшафтов Полистово-Ловатской болотной системы и Радиловского болотного массива, варьирует в значительных пределах – от 17,0 до 7600,0 мкл/л (табл. 5.1). Максимум содержаний (1300,0–7600,0 мкл/л) установлен в сильно обводненных черных (юнгерманиевых) мочажинах ГМК и на переходных топях. Высокие содержания также отмечены в воде пушицево-сфагновых мочажин ГМК (424,0–520,6 мкл/л) и сфагновых топей (227,0–433,0 мкл/л).

Содержание метана в пробах, отобранных в верхнем 15-сантиметровом горизонте торфяной залежи и почв, изменялось в диапазоне от <0,01 до 33,0 мг/кг влажной массы (в.м.). Его максимальные концентрации приурочены к торфам озерно-денудационного комплекса (2,71–29,8 мг/кг) и топяных микроландшафтов (1,84–33,0 мг/кг), минимальные – к торфам, расположенным на приподнятых в рельефе участках (гряды и бугры), и почвам лесных и лесоболотных ландшафтов. Приподнятость в рельефе, а значит, меньшая обводненность участков, способствует большей аэрации поверхности, увеличению мощности метанотрофного барьера в поверхностном слое болотных почв и, как следствие, снижению интенсивности образования метана [28, 40]. Развитие процесса аэрации также способствует усилению окисления метана, и, следовательно, его содержания в болотных почвах и потока в атмосферу.

Для воды и донных отложений озер и рек болот Псковской области характерны повышенные концентрации метана (17,0–433,0 мкл/л и 8,31–70,0 мг/кг соответственно) по сравнению с водоемами и водотоками Северо-Запада Европейской территории России за пределами болотных массивов [140]. Наиболее высокие концентрации метана (425,7–433,0 мкл/л) зафиксированы в воде покрытых осоками прибрежных территорий озер и рек.

Таблица 5.1 – Результаты экспериментальных определений потоков метана и его содержания в воде, торфе и донных отложениях [137]

Станции	Координаты, с.ш./ в.д.	Ландшафты и микроландшафты	Содержание метана в				Поток CH ₄ , мг/м ² час	
			воде (мкл/л)	торфе, почвах, донных отложениях (мг/кг в.м.) по глубинам				
				0-2 см	2-5 см	5-10 см		10-15 см
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Водно-болотные ландшафты: Грядово-мочажинные комплексы:								
1	57°14'3"/30°27'4"	Черная мочажина с выходами воды на поверхность	7600,0	–	–	–	–	21,8
2	57°3'45"/30°27'29"		1315,7	–	–	–	–	12,8
3	57°6'29"/30°24'29"	Пушицево-сфагновая мочажина сильно увлажненная, ковер	424,0	–	–	–	–	–
4	57°3'27"/30°27'1"		520,6	–	–	–	–	–
6	57°1'42"/30°24'24"	Выходы подмоховой речки на поверхность	17,3	0,04	0,28	0,46	1,30	1,5
41	57°5'34"/30°30'40"	Черная мочажина, обводненная	158,6	0,54	1,0	1,1	1,2	0,34–3,83
Озерно-денудационные комплексы:								
7	57°12'35"/30°34'57"	Озерко	134,3	2,71	10,1	29,8	13,2	18,2
8	57°14'6"/30°39'42"	Гряда кустарничково-сфагновая	–	0,01	–	–	–	0,7
Мохово-травяные группы топяных микроландшафтов: Топи сфагновые:								
9	57°6'51"/30°26'44"	Вахтово-шейхцери́евая сильно увлажненная, ковер	–	–	–		15,0	
31	58°1'9"/29°16'27"		227,0	1,84	5,60	11,0	13,6	6,2
10	57°3'45"/30°27'27"	Осоково-шейхцери́ево-сфагновая сильно увлажненная, ковер	433,0	–		–		4,5
38	57°05'40"/30°30'26"	Шейхцери́ево-сфагновая		0,33	1,0	2,1	2,5	2,2– 12,5
43	57°05'41"/30°30'21"		149,1	2,4	2,9	3,0	2,9	7,4
39	57°05'35"/30°30'42"	Очеретниково-вахтово-сфагновая, черная мочажина	37,1	–		–		28,2
40	57°05'35"/30°30'44"	Выход подмоховой речки на поверхность, черная мочажина	188,9	3,1	3,0	2,9	2,9	12,0
Топи переходные:								
11	57°14'56"/30°41'53"	Очеретниково-шейхцери́евая с выходами воды на поверхность	–	10,4	13,1	33,0		87,7
12	57°15'22"/30°42'50"	Вахтово-осоковая переходная сильно увлажненная	–	–		–		31,3
36	58°1'41"/29°18'57"	Осоковая черная мочажина	1300,0	–		–		52,1
30	58°0'58"/29°16'21"	Березняк осоковый, заболоченный	3132,0	1,9	2,7	5,4		76,8
13	57°1'49"/30°24'11"	Сосняк кустарничковый	–	0,05	0,04	0,06		2,0
Лесоболотные ландшафты. Вершинные сосново-сфагновые комплексы:								
33	58°1'46"/29°18'57"	Сосняк брусничник сфагновый	185,8	0,23	0,7	2,1	2,70	7,5
34	58°4'57"/29°25'20"	сосняк черничник сфагновый		0,13	0,02	0,03	–	6,9
Сосново-пушицево-сфагновые комплексы:								
5	57°2'55"/30°15'4"	Гряда травяно-сфагновая	–	<0,01	0,01	–	–	<0,1–0,9
14	57°2'53"/30°14'58"	Кустарничково-пушицево- сфагновое болото, облесенное	25,7	0,11	0,34	–	–	3,6
15	57°2'51"/30°15'17"	Сосняк травяно-сфагновый	–	–	–	–	0,9	
Лесные ландшафты:								
16	57°15'17"/30°38'7"	Дубрава липняковая, о. Криман	–	0,05	0,04	0,01	0,01	1,1
17	57°13'32"/30°27'50"	Березняки сфагновые	–	0,01	–	–	–	<0,1–0,6
32	58°1'37"/29°19'2"	Березняк с примесью ольхи	–	2,5	11,5	37,0	11,5	0,04
Водные ландшафты: Озера:								
18	57°12'52"/30°25'47"	Оз. Полисто, прибрежная зона	17,0–36,4	–	–	–	–	1,6–10,2
19	57°06'29"/30°28'33"	Оз. Долгое, прибрежная зона	25,7	62,0	70,0	–	–	–
20	57°4'15"/30°19'54"	Оз. Озерявское, прибрежная зона	124,0	16,0	61,7	36,5	–	–
29	58°0'58"/29°16'20"	Оз. Радиловское, прибрежная зона	119,0	–	–	–	–	24,8
42	57°5'53"/30°30'11"	Оз. Круглое, прибрежная зона	25,6	–	–	–	–	0,34
Реки:								
21	57°9'29"/30°23'47"	Впадение р. Цевлы в оз. Полисто	113,9	–	–	–	–	24,1

Продолжение табл. 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
22	57°7'529"/ 30°20'17"	Р. Цевла, прибрежная зона	101,4	17,0	30,2	42,3	49,4	–
35	58°0'23"/29°23'41"	Р. Коломенка, прибрежная зона	142,5	8,31	9,4	20,4	23,2	–
23	57°15'21"/30°42'49"	Выходы р. Порусь на поверхность	68,9	–	–	–	–	–
<i>Мелиоративные пруды и каналы:</i>								
24	57°03'04"/30°16'50"	Дренажные каналы	134,5– 254,7	0–2	–	1,9–7,4	–	11,5–16,2
<i>Впадение реки в озеро (тростниково-осоковое сообщество):</i>								
25	57°04'42"/30°20'4"	Вблизи выхода р. Цевлы из оз. Озерявское	425,7– 433,0	–	–	–		22,9– 24,1

Примечание. Здесь и далее прочерк (–) – измерения не проводились.

По вертикальному профилю торфяной залежи водно-болотных ландшафтов, а также донных отложений водных объектов на фоне высоких концентраций метана по всему профилю наблюдается увеличение содержания газа с глубиной, обусловленное более восстановленными условиями среды нижних горизонтов, что благоприятствует деятельности метаногенного сообщества бактерий [19, 28, 140].

Распределение метана по глубинам 0–15 см слоя лесных и лесоболотных ландшафтов, напротив, наряду с низкими концентрациями метана характеризовалось уменьшением его концентраций от поверхности к нижним горизонтам, что обусловлено главным образом снижением в этом направлении количества и лабильности органического вещества, содержащегося в почвах, а также их влажности [28]. Заболоченные леса (березняк с примесью ольхи на оторфованном подзоле, станция 34) отличаются относительно высокими содержаниями метана, увеличивающимися с глубиной.

5.2. Потоки метана в различных типах микроландшафтов

В исследованных болотных ландшафтах скорость эмиссии метана в атмосферу варьировала от $<0,1$ до $87,7 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$, в среднем $16,3 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ (табл. 5.2, рис. 5.1). Наибольшие потоки газа наблюдались в водных и водно-болотных ландшафтах с максимальными значениями в переходных топях ($31,3$ – $87,7 \text{ мг}/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$) с выходами воды на поверхность (слой воды над торфяной залежью до 10 см), а также обводненных черных мочажин, характеризующихся угнетенным состоянием сфагновых мхов и высокой активностью микроорганизмов [28]. Относительно высокая скорость выделения метана зафиксирована с поверхности

озерков, озер и рек. Количество и степень разложенности органического вещества, диагностируемые непосредственно в полевых условиях по темному цвету, и обводненность благоприятно сказывались на уровне содержания и потоков метана. С обводненной поверхности микроландшафтов болот и водных объектов в жаркую погоду часто выделялся газ в виде крупных схлопывающихся пузырей.

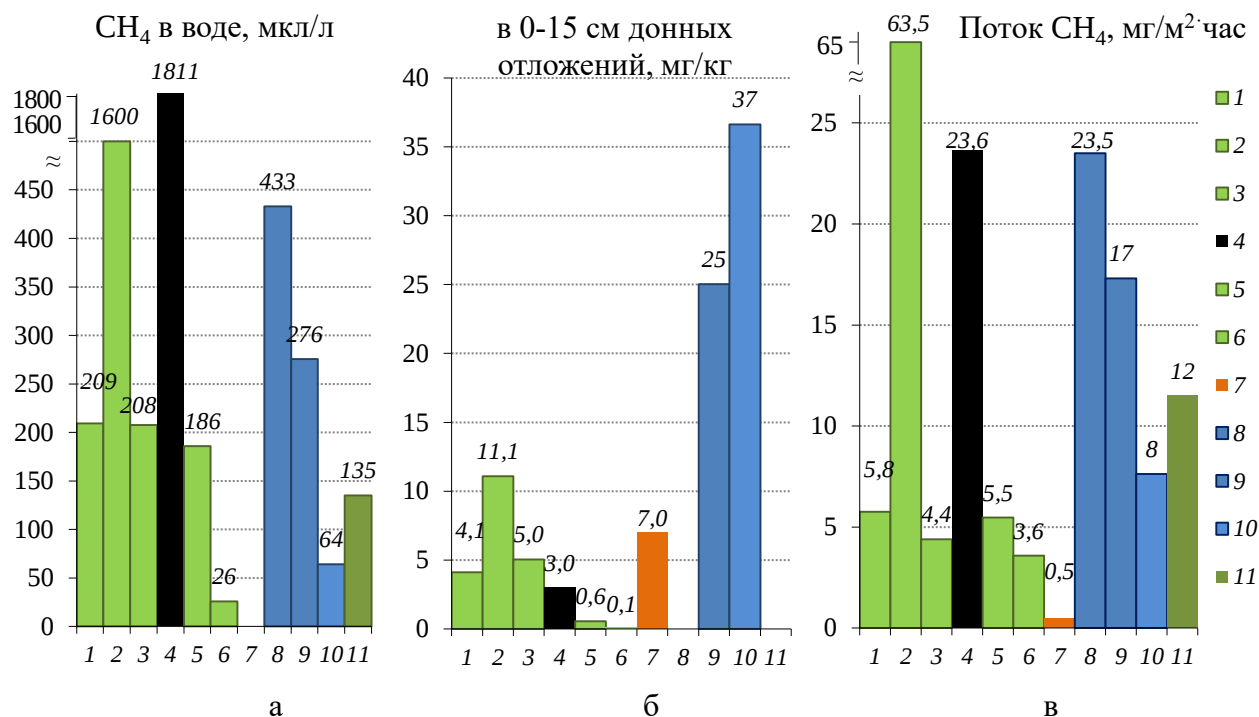


Рисунок 5.1. Средние содержания (а, б) и поток (в) CH_4 в различных микроландшафтах. 1 – топи сфагновые, 2 – топи переходные, 3 – ГМК, 4 – черные мочажины, 5 – вершинно-сосново-сфагновые сообщества, 6 – сосново-пушицево-сфагновые сообщества, 7 – леса, 8 – тростниково-осоковые сообщества, 9 – реки, 10 – озера, 11 – мелиоративные каналы

Минимальные скорости выделения метана в атмосферу (от $<0,1$ до $1,1$ мг/(м²·ч)) в большей степени характерны для аэрированных гряд грядово-мочажинного и озерно-денудационного комплексов, а также лесных ландшафтов. Скорость эмиссии метана с поверхности лесоболотных ландшафтов ($2,0$ – $7,5$ мг/м²·ч) принимала промежуточные значения между его эмиссией с поверхности водных и водно-болотных ландшафтов и лесных ландшафтов.

Таблица 5.2 – Эмиссия метана в атмосферу микроландшафтами Полистово-Ловатской болотной системы и Радиловского болотного массива [137]

Ландшафты и микроландшафты	Площадь микроландшафта		Содержание CH ₄		Поток CH ₄ , мг/м ² час	Общий поток CH ₄ со всей площади микроландшафта, кг/сут
	км ²	%	вода, мкл/л	почвы, донные осадки, мг/кг		
1	2	3	4	5	6	7
<i>Водно-болотные ландшафты:</i>						
<i>Грядово-мочажинные комплексные микроландшафты:</i>						
мочажины (70 %)	502	25,1	<u>424,0–7600</u> 2465 (4)	–	<u>12,8–21,8</u> 17,3 (2)	208430
гряды, бугры (30 %)	214	10,7	–	<u><0,01–0,01</u> 0,01 (3)	<u><0,1–0,9</u> 0,5 (3)	2568
<i>Озерно-денудационные комплексные микроландшафты:</i>						
озерки (10 %)	10	0,5	134,3	<u>2,71–29,8</u> 14,0 (4)	18,2	4368
ковры (67 %)	64	3,2	–	–	5,4	8294
гряды, бугры (23 %)	20	1,0	–	<u><0,01–0,01</u> 0,01 (3)	<u>н.об.–0,9</u> 0,5 (3)	240
<i>Мохово-травяные группы топяных микроландшафтов:</i>						
Топи сфагновые	640	32,0	<u>227,0–433,0</u> 330,0 (2)	<u>1,84–13,6</u> 8,01 (4)	<u>4,5–15,0</u> 8,6 (3)	132096
Топи переходные	88	4,4	<u>1300–3132</u> 2866 (2)	<u>1,94–33,0</u> 11,1 (6)	<u>31,3–87,7</u> 62,0 (4)	130944
<i>Лесоболотные ландшафты:</i>						
Вершинные сосново-сфагновые ПК	214	10,7	185,8	<u>0,02–2,70</u> 0,61 (10)	<u>2,0–7,5</u> 5,5 (3)	28248
Сосново-пушицево-сфагновые ПК	54	2,7	25,7	<u>0,11–0,34</u> 0,23 (2)	<u>0,9–3,6</u> 2,3 (2)	2981
<i>Водные ландшафты:</i>						
Озера	28	1,4	<u>17,0–124,0</u> 64,4 (6)	<u>16,0–70,0</u> 49,2 (5)	<u>0,3–24,8</u> 12,2 (4)	8198
Водотоки (реки, мелиоративные каналы)	6	0,3	<u>17,3–254,7</u> 119,0 (7)	<u>1,92–49,4</u> 21,0 (10)	<u>11,5–24,1</u> 17,3 (3)	2491
Впадение реки в озеро (тростниково-осоковое сообщество)	102	5,1	433,0	–	<u>22,9–24,1</u> 23,5 (2)	57528
<i>Лесные ландшафты</i>						
Дубравы липняковые, березняки сфагновые и др.	46	2,3	–	<u>0,01–0,05</u> 0,03 (6)	<u><0,1–1,1</u> 0,6 (3)	662
Луговые ландшафты	12	0,6	–	–	–	–
Итого	2000	100	<u>17,0–7600,0</u> 667,0 (24)	<u><0,01–70</u> 11,7 (53)	<u><0,1–87,7</u> 16,3 (33)	587048

Примечание. В числителе приведены пределы изменения, в знаменателе – средние значения, в скобках количество измерений, н.об. – не обнаружено.

Установлена тесная положительная связь между содержанием метана в воде ГМК и сфагновых топей и температурой воздуха ($r=0,74-0,86$, $p<0,05$), менее тесная связь наблюдалась с температурой воды ($r=0,43$, $p<0,05$). Для воды озер и рек подобная связь проявлялась слабо ($r=0,1-0,28$). Содержание метана в 0-15 см как торфа верховых болот, так и донных отложений водных объектов зависело от температуры воды и воздуха. Для 0-15 см торфа коэффициенты корреляции равны $r=0,49-0,61$ ($p<0,05$), для 0-15 см донных отложений ($r=0,63-0,84$, $p<0,05$), а для 0-5 см слоя корреляция еще более тесная ($r=0,71-0,91$, $p<0,05$). Если рассматривать суточный ход изменений содержания и эмиссии метана, то в основном их связь с метеоусловиями обратная или слабо выраженная.

5.3. Суточные изменения потоков метана

Одни авторы [129, 155] говорят о возрастании эмиссии метана с поверхности болот в атмосферу днем, другие [41, 193] – в ночное время суток, или об отсутствии ярко выраженной суточной динамики [28]. Мы исследовали суточную динамику потоков метана в наиболее распространенных в районе исследования микроландшафтах – на сфагновых топиях и грядово-мочажинных комплексах в течение суток с 31.08 по 1.09.2013. Согласно результатам, максимальные потоки наблюдались в период 7:30–13:30 и 18:30–0:30. На топиях наблюдалось резкое повышение уровня потока метана в период с 7 до 8 часов утра; в то время как на ГМК суточное изменение отличалось более плавным ходом (рис. 5.2). Подсчитано, что в дневное время (07:00–23:00) средние потоки метана выше, чем ночью (23:00–07:00) на 14% (на топиях) и на 26% (в ГМК).

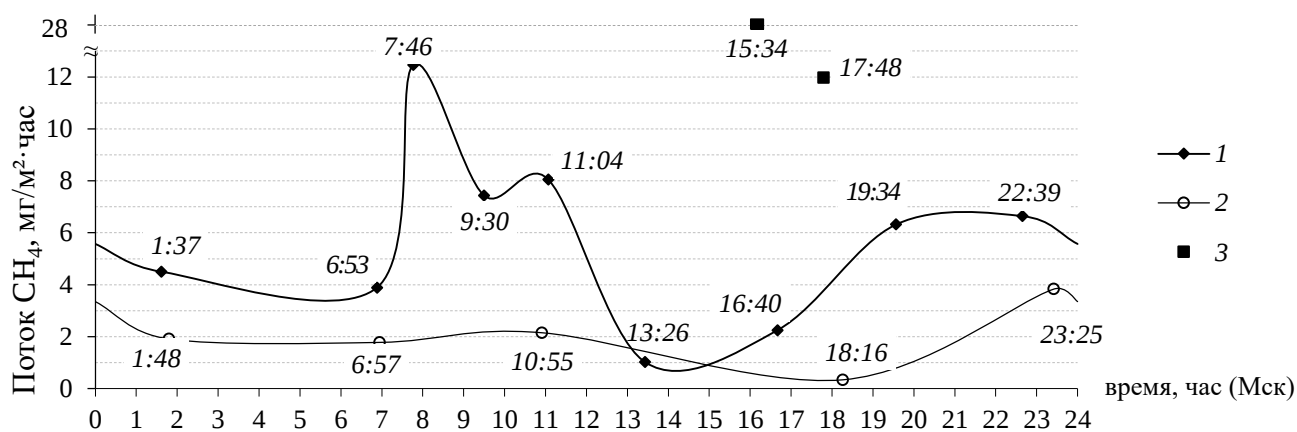


Рисунок 5.2. Суточное изменение величины потока CH₄ в различных микроландшафтах. 1 – топи сфагновые, 2 – ГМК, 3 – черные мочажины с угнетенным сфагнумом. 7:46 – московское время (час:мин)

Так, в болотных ПК в зависимости от станций наблюдения, содержание метана в воде увеличивалось с ростом температуры воды и воздуха, в суточном ходе тесной прямой связи не обнаружено. Содержание метана в 0-15 см слое торфа и донных отложений положительно соотносились с температурой воды и воздуха. Для потока подобных зависимостей не обнаружено, в виду «запаздывания» пиков его эмиссии относительно суточной активности микроорганизмов и хода температур (рис. 5.2).

5.4. Моделирование содержания и потоков метана в компонентах ландшафтов Полистовского заповедника

В целом отмечается тесная связь между скоростью выделения метана в атмосферу и его концентрациями в воде ($r=0,72$; $P < 0,01$) и 0–2 сантиметровом слое почв и донных отложений ($r = 0,86$; $P < 0,01$) изученных микроландшафтов. При наложении графиков, приведенных в работе [140], которые характеризуют зависимости потока метана от его концентраций в воде и донных осадках водных объектов, с данными полученными авторами в ходе исследований болотных ландшафтов Псковской области, кривые зависимостей располагаются близко друг к другу (рис. 5.3а). Данные, полученные при изучении уровня содержания метана и его потоков в атмосферу с торфяных залежей Иласского болотного массива Архангельской области [136], очистных сооружений Ростовской станции аэрации [30] и почв Ростовской области [30, 33], также очень близко легли к этим прямым. Это свидетельствует о том, что приведенные в работе [140] формулы универсальны и могут быть использованы для прогнозных оценок эмиссии метана в атмосферу не только неглубокими водными объектами, но и такими наземными источниками, как почвы и болота, а также очистные сооружения и иловые площадки станций аэрации.

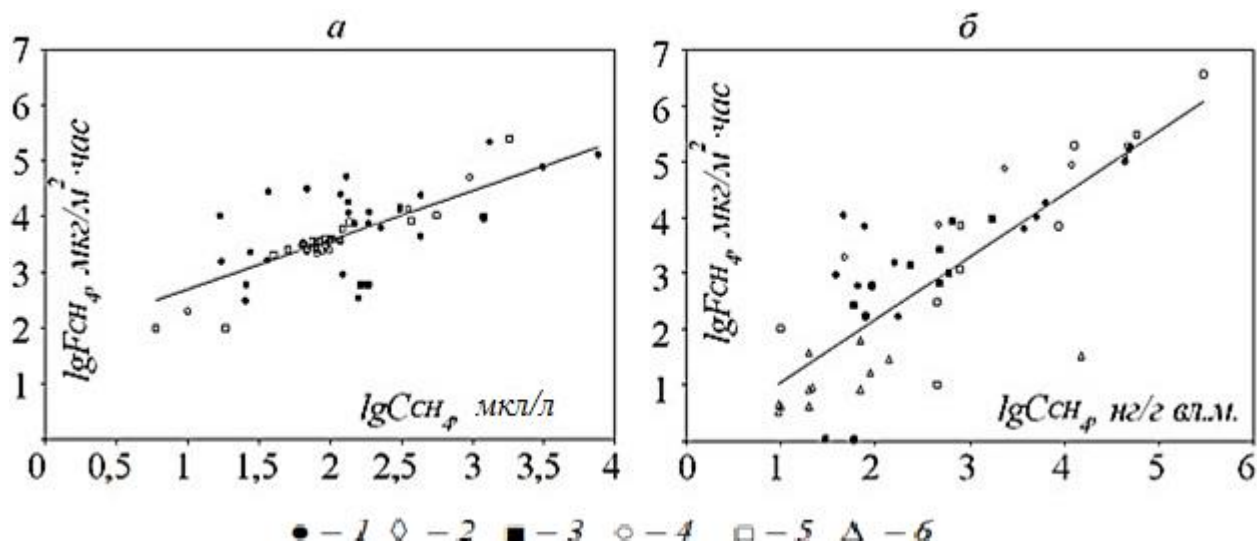


Рисунок 5.3. Зависимость интенсивности эмиссии метана в атмосферу от его содержания в поверхностном слое воды (а) и в 0-5-сантиметровом горизонте почв и донных отложений (б): 1 – Полистово-Ловатская болотная система и Радиловский болотный массив, 2 – Иласский болотный массив, 3 – очистные сооружения и иловые площадки Ростовской станции аэрации, 4 – водные объекты Ростовской области, 5 – почвы Ростовской области [173]

После нанесения полученных данных на график (см. рис. 5.3а) уравнение, аппроксимирующее зависимость между концентрацией метана в поверхностном слое воды и его потоком в атмосферу приобрело следующий вид:

$$\lg F_{CH_4} = 0,882 \cdot \lg C_{CH_4} + 1,821 \quad (r = 0,72; P < 0,01), \quad (5.1)$$

где $\lg F_{CH_4}$ – логарифм потока метана в атмосферу, мкг/м² час,

$\lg C_{CH_4}$ – логарифм содержания метана в воде, мкл/л.

Уравнение, аппроксимирующее зависимость между концентрацией метана в 0-5-сантиметровом горизонте почв и донных отложений (донные отложения, почвы, торф, канализационный осадок иловых площадок) и его потоком в атмосферу приняло вид (см. рис. 5.3б):

$$\lg F_{CH_4} = 1,13 \cdot \lg C_{CH_4} - 0,095 \quad (r = 0,86; P < 0,01), \quad (5.2)$$

где $\lg F_{CH_4}$ – логарифм потока метана в атмосферу, мкг/м² час,

$\lg C_{CH_4}$ – логарифм содержания метана в почвах и донных отложениях, нг/г влажной массы.

Воспользуемся данными наших измерений, чтобы провести ориентировочную их экстраполяцию на всю территорию Полистово-Ловатской

болотной системы. Для этого предположим, что данные, характеризующие скорость эмиссии метана с поверхности изученных типов микроландшафтов, могут быть распространены на однотипные микроландшафты неисследованной территории.

По средним значениям потока метана рассчитана его эмиссия в атмосферу с поверхности основных типов микроландшафтов и результирующая (суммарная) ее величина с территории Полистово-Ловатской болотной системы (табл. 5.2). При расчете было принято, что выделение метана с поверхности ковров озерно-денудационных комплексов соответствует его осредненному потоку с ковров сфагновых топей и составляет $5,4 \text{ мг/м}^2$ в час.

По нашим расчетам суммарная эмиссия метана со всей территории Полистово-Ловатской болотной системы составляет ~ 587 т в сутки. Наибольший вклад в суммарный поток вносят топяные (44,8%) и грядово-мочажинные комплексные (35,9%) микроландшафты, а в целом вклад водно-болотных ландшафтов в суммарную эмиссию составляет 83%. На лесоболотные и водные ландшафты приходится 5,3 и 11,7% соответственно. Доля лесных и луговых ландшафтов, занимающих 2,9% площади болотной системы, незначительна ($\sim 0,1\%$). Если пересчитать величину суточной эмиссии метана на продолжительность бесснежного периода (6 месяцев, или 180 дней с мая по ноябрь), то эмиссия метана Полистово-Ловатской болотной системой за бесснежный период составит ~ 106 тыс. т (или 152 млн м^3). Скорости выделения метана в атмосферу микроландшафтами Полистово-Ловатской системы сопоставимы с данными по эмиссии метана микроландшафтами Васюганской торфяно-болотной области Западно-Сибирской низменности ($14,5\text{--}34,6 \text{ мг/(м}^2\cdot\text{ч)}$) [111]. Сравнение данных по содержанию метана и его эмиссии в атмосферу для изученных болот Псковской области с аналогичными показателями, определенными в однотипных ландшафтах Иласского болотного массива [136], расположенного значительно севернее – свыше 1 тыс. км (Архангельская область, бассейн р. Северная Двина), показало в целом более низкие скорости эмиссии газа ландшафтами Иласского массива (до $9,84 \text{ мг/(м}^2\cdot\text{ч)}$, в среднем $2,24$) при

достаточно близких его концентрациях в почвах, донных отложениях и болотных водах. По всей видимости, повышенная скорость потоков метана с поверхности болот Псковской области обусловлена главным образом более высокими температурами приземного воздуха и, как следствие, воды (13,0–26,5°C) и почв и донных отложений, что благоприятно сказывается на деятельности метаногенного сообщества бактерий [133, 136, 140]. Нельзя также исключить влияние увеличения растворимости метана в воде при снижении температуры окружающей среды, что, например, по мнению [78], было причиной существенно более низких концентраций газа в воздушных потоках над заболоченными территориями Западной Сибири в вечернее время по сравнению с дневным. При пересчете эмиссии метана Полистово-Ловатской системой на всю площадь, занятую болотами в Псковской области (~6430 км²), эмиссия последними за бесснежный период составит 340 тыс. т. Эта величина сопоставима с эмиссией метана болотами Архангельской области (~521 тыс. т за период без снега) [136], занимающими площадь (82,6 тыс. км²), на порядок большую, чем площадь болот Псковской области.

5.5. Геохимические закономерности связи содержания и распределения макро- и микроэлементов с содержанием метана в компонентах ландшафтов

Актуальность изучения влияния содержания макро- и микроэлементов на процесс метаногенеза и его ингибирование состоит в том, что с одной стороны оно представляет интерес при разработке технологии производства биогаза в промышленных масштабах, а с другой методов снижения генерации и соответственно эмиссии газа в атмосферу из болотных экосистем в условиях низких температур. Вышеизложенное (см. главу 1.1.5), стимулировало наши исследования, направленные на изучение биогеохимической связи между концентрацией микроэлементов с одной стороны и содержанием метана и его потоками с другой в болотных ландшафтах. Изучены связи между валовым содержанием макро- (Fe, Al) и микроэлементов (Zn, Ni, Cu, Pb, As, Mn, Cd, Cr) с одной стороны и содержанием метана в почвах и донных отложениях с другой.

Для наглядности на графиках (Приложение 1: рис. 5.4–5.13) представлены содержания химических элементов, так же как и метана, в % и мг/кг влажной массы (в.м.). Анализ литературных источников показал, что полученные результаты экспериментальных исследований *in vitro* о влиянии содержания химических элементов на активность бактериального сообщества и процесс метаногенеза противоречивы. Этот вывод получил косвенное подтверждение на основании анализа регрессионных моделей и тесноты связей между содержанием химических элементов и CH_4 .

При проведении регрессионного анализа зависимости содержания CH_4 от содержания микроэлементов и важнейших биомаркеров Fe, Al в большинстве случаев эти связи оказались значимыми, для других элементов проявлялись слабо или практически не проявлялись. Ввиду неоднородности и разного химического состава субстрата, целесообразно построение регрессионных уравнений и выявление зависимостей для следующих массивов данных: I – торфяные почвы, II – минеральные почвы, III – донные отложения, IV – минеральные почвы и донные отложения. На рис. 5.4 представлены регрессионные модели зависимости содержания CH_4 от валового содержания Fe. Их анализ свидетельствует о существовании обратной зависимости между этими ингредиентами для массива данных по торфяным почвам, минеральным почвам низкими с коэффициентами корреляции ($r=-0,27$). Еще ниже коэффициенты корреляции ($r\sim 0$) указывают на отсутствие связи для пар содержание CH_4 – содержание Fe в донных отложениях и в паре минеральные почвы + донные отложения. Таким образом, можно сделать заключение, что между содержанием CH_4 и валовым содержанием Fe наблюдается или обратная несущественная прямолинейная связь, либо она отсутствует вообще. Отсюда следует вывод, что содержание валового Fe оказывает слабое ингибирующее влияние непосредственно на процесс метаногенеза и/или это обусловлено тем, что соединения Fe усиливают окисление CH_4 на границах раздела «почва – атмосфера» и «донные осадки – вода», что согласуется с представлениями [219].

Ниже рассмотрим связь между содержанием CH_4 и другого литофильного (типоморфного) элемента – Al в почвах и донных отложениях. Отметим, что между содержанием валовых Fe и Al отмечена значимая прямолинейная корреляция ($r=0,46-0,64$, таблица 4.9). Это сродство проявляется и в особенностях связи Al с содержанием CH_4 . На рис. 5.5 обнаруживается обратная линейная связь с $r=-0,26...-0,46$. На графике, где представлены пробы донных отложений и минеральных почв + донных отложений отмечена незначимая обратная связь. Таким образом, обнаружен близкий характер связи валового содержания Fe и Al с содержанием CH_4 . Обратная связь содержания CH_4 и Al, скорее всего, обусловлена литогенным фактором. Он проявляется в том, что чем больше слои почв содержат глинистых минералов и меньше органического вещества, тем выше в них содержание Al и ниже CH_4 . В этом смысле, Al проявляет по отношению к бактериям-метаногенам и процессу метаногенеза свойства ингибитора. Авторами работы [134] установлена прямолинейная связь между содержанием глинистых частиц и концентрацией CH_4 в донных отложениях озера Байкал. И это, казалось бы, должно противоречить сделанному выше выводу. Но, дело в том, что в донных осадках озера содержание пелитовой фракции тесно коррелирует с содержанием свежего органического вещества. Литологический состав торфяных почв (торфяных олиготрофных, торфяно-глеезёмов, подзолов) оказывает на процесс метаногенеза меньшее влияние, поскольку доминирующими здесь являются другие факторы – прежде всего органическое вещество и степень его разложенности. Чем сильнее в торфяной залежи развит процесс оглеения, тем выше её плотность и содержание глинистых частиц, ниже влажность и больше содержание восстановленных соединений Fe и, соответственно, ниже содержание лабильного органического вещества и CH_4 в слоях. Это хорошо соответствует другой закономерности, установленной в работе [132], когда в соленых озерах при переходе от черных, богатых свежим органическим веществом сульфидных грязей в грязно-серые и стально-серые и затем желто-бурые глинистые отложения наблюдается снижение их биогеохимической активности и, как следствие, содержания как общего сероводорода, так и CH_4 .

Содержание As и CH_4 обнаруживают слабую обратную связь для массивов данных по торфяным почвам ($r=-0,43$). Тесная прямо пропорциональная связь установлена для пары ингредиентов As – CH_4 для минеральных почв ($r=0,7$). Незначимая связь обнаружена для массивов данных для донных отложений и суммы значений для минеральных почв и донных отложений (рис. 5.6). Валовое содержание Cr проявляет тесную обратную прямолинейную связь с содержанием CH_4 в донных отложениях и паре минеральные почвы – донные отложения ($r=-0,7\dots-0,74$; рис. 5.7). Содержания с одной стороны CH_4 и валового содержания Cu и Ni с другой связаны обратной прямолинейной зависимостью с r - от $-0,29$ до $-0,47$ (рис. 5.8) и от $-0,14$ до $-0,41$ (рис. 5.9). Содержание Zn имеет слабую отрицательную связь с содержанием CH_4 ($r = -0,43$) в торфяных почвах; близка к 0 в минеральных почвах ($r = 0,05$) или отмечена слабой положительной тенденцией в донных отложениях ($r = 0,19$). Связь содержания Mn с содержанием CH_4 также слабая отрицательная в торфяных почвах ($r=-0,46$); практически отсутствует (слабая отрицательная тенденция, $r=-0,11\dots-0,26$) в минеральных почвах и донных отложениях (рис. 5.11). Валовое содержание Pb в целом для массива данных по почвам и торфяным почвам обнаруживает обратную слабую прямую связь с содержанием CH_4 и тесную ($r = 0,75$) для минеральных почв (рис. 5.12). Валовое содержание Cd не проявляет значимой связи с содержанием CH_4 для всех массивов данных (рис. 5.13).

Таким образом, установлено, что в почвах и донных отложениях валовые содержания макроэлементов Fe, Al и микроэлементов Mn, Ni, Cu, Cr проявляли слабую значимую обратную связь с содержанием CH_4 , а теснота связи содержания Pb, As, с содержанием CH_4 носила более сложный и противоречивый характер, а связь Cd с CH_4 была в основном незначимой.

Высокие содержания валового Fe и Al оказывают слабое ингибирующее влияние непосредственно на процесс метаногенеза и/или это обусловлено тем, что соединения данных химических элементов способствуют усилению окисления CH_4 на границах раздела «почва – атмосфера» и «донные осадки – вода» и в болотных водах. Не исключено также опосредованное влияние литогенного

фактора, обусловленного ростом содержания этих химических элементов с увеличением содержания минерального субстрата и, соответственно, снижением содержания CH_4 .

Существование слабой отрицательной связи между содержанием Fe, Al, большинства микроэлементов и содержанием CH_4 в торфяных почвах стоит объяснять физико-химическими процессами, с одной стороны благоприятствующими накоплению Fe и связанных с ним микроэлементов, с другой стороны – уменьшению содержания лабильного органического вещества и CH_4 в слоях.

Тесная прямолинейная зависимость между содержанием Pb, As и CH_4 в минеральных почвах, возможно, имеет литохимическую природу (сорбция Pb, As на тонкодисперсных частицах) либо имеет случайный характер.

Установленные не значимые обратные корреляционные зависимости между содержанием Pb, As, Mn и Cd и высокие отрицательные коэффициенты корреляции между содержанием Cr и CH_4 в донных отложениях и паре минеральные почвы – донные отложения возможно имеют случайный характер и требуют выполнения более масштабных и углубленных исследований, включая синхронное изучение поведения археобактерий и других микроорганизмов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Впервые проведены комплексные ландшафтные исследования, результатом которых стала сеть ландшафтных профилей с ключевыми участками, позволившими изучить структуру природных комплексов и их экологическое состояние. Было проведено описание растительности, почв и геоморфологии участков, построена карта распространения различных типов ПК Полистовского заповедника и Радиловского болотного массива Псковской области, проведена диагностика почв, изучены почвы, ранее не исследованные на предмет содержания макро- и микроэлементов, изучено состояние экосистем болот. Преобладающие на территории Полистовского заповедника грядово-мочажинные комплексы (35,8% площади) и сфагновые переходные топи (32,0%) представляют собой ненарушенные антропогенной деятельностью участки и важны в экологическом отношении. Ландшафтная структура прилегающих к заповеднику участков, изменённых торфопромышленными или под влиянием хозяйственной или рекреационной деятельности, иная. На этих преобразованных участках доминируют менее устойчивые в сукцессионном отношении сосняки и березняки-зеленомошники, вершинные сосново-сфагновые и сосново-пушицево-сфагновые ПК. Наиболее интенсивное изменение облика ландшафтов болот происходит при искусственном осушении территории в целях торфопромышленных: происходит быстрая деградация сфагнового и кустарничкового покрова, а после прекращения торфопромышленных (через 30 лет) болотные сообщества сменяются сосняками и березняками-зеленомошниками, происходит зарастание заболачивание и зарастание берегов озера. При антропогенном преобразовании весьма уязвимых болотных экосистем происходит деградация мохового покрова, что сопровождается появлением черных мочажин, в которых деструкция органического вещества и процесс метанообразования проходят с большей интенсивностью. Поэтому, важно обеспечивать режим постоянной охраны болот, чтобы сохранить их экологическую, гидрологическую и газовую функцию.

2. Впервые подробно исследованы доминирующие интразональные торфяные олиготрофные почвы, торфяно-глеезёмы и подзолы. Перечень почв

участков исследования дополнен ранее не диагностированными азональными почвами внутриболотных минеральных островов (буроземы, дерново-буропodzолистые, ржавоземы и дерново-карбонатные почвы). Пестрота почвенного покрова наблюдается вследствие природной литологической неоднородности отложений районов распространения моренных ландшафтов, которая особенно сильно накладывается на почвообразовательные процессы большинства изученных почв минеральных островов Полистовского заповедника. В нижних горизонтах ржавозема типичного повышены содержания большинства микроэлементов (V, Cr, Mn, Cu, As, Pb) и Fe относительно других почв района исследования объясняются как влиянием суглинистой подстилающей породы, так и геохимическим барьером (механическим и сорбционным), на котором могут осаждаться элементы. Различия свойств почвообразующих пород объясняют более высокие содержания большинства микроэлементов в почвах Полистовского заповедника по сравнению с почвами Радиловского массива. В отличие от Полистовского заповедника, в почвах Радиловского массива цветовая и текстурная дифференциация по иллювиально-иллювиальному типу – результат внутрипочвенных процессов выщелачивания и выноса органо-минеральных компонентов в нижние горизонты.

3. Геохимические исследования компонентов ландшафтов выявили невысокие содержания элементов в почвах Полистовского заповедника. Содержания элементов в почвах Полистовского заповедника невысокие. Установленные для его территории уровни содержания элементов в 0-15 см слое почв растений и донных отложениях рек и озер могут быть использованы как региональные фоновые содержания микроэлементов. Установленные более высокие содержания элементов Pb, As, Zn в торфяных горизонтах торфяно-глееземов Радиловского болотного массива, возможно, объясняются более приближенным его положением по сравнению с Полистовским заповедником по отношению к крупным городам как потенциальным источникам аэрогенного переноса ТМ. Выявлены особенности накопления химических элементов багульником: наряду с халькофильными Cu и Zn, он активно накапливает Ni и

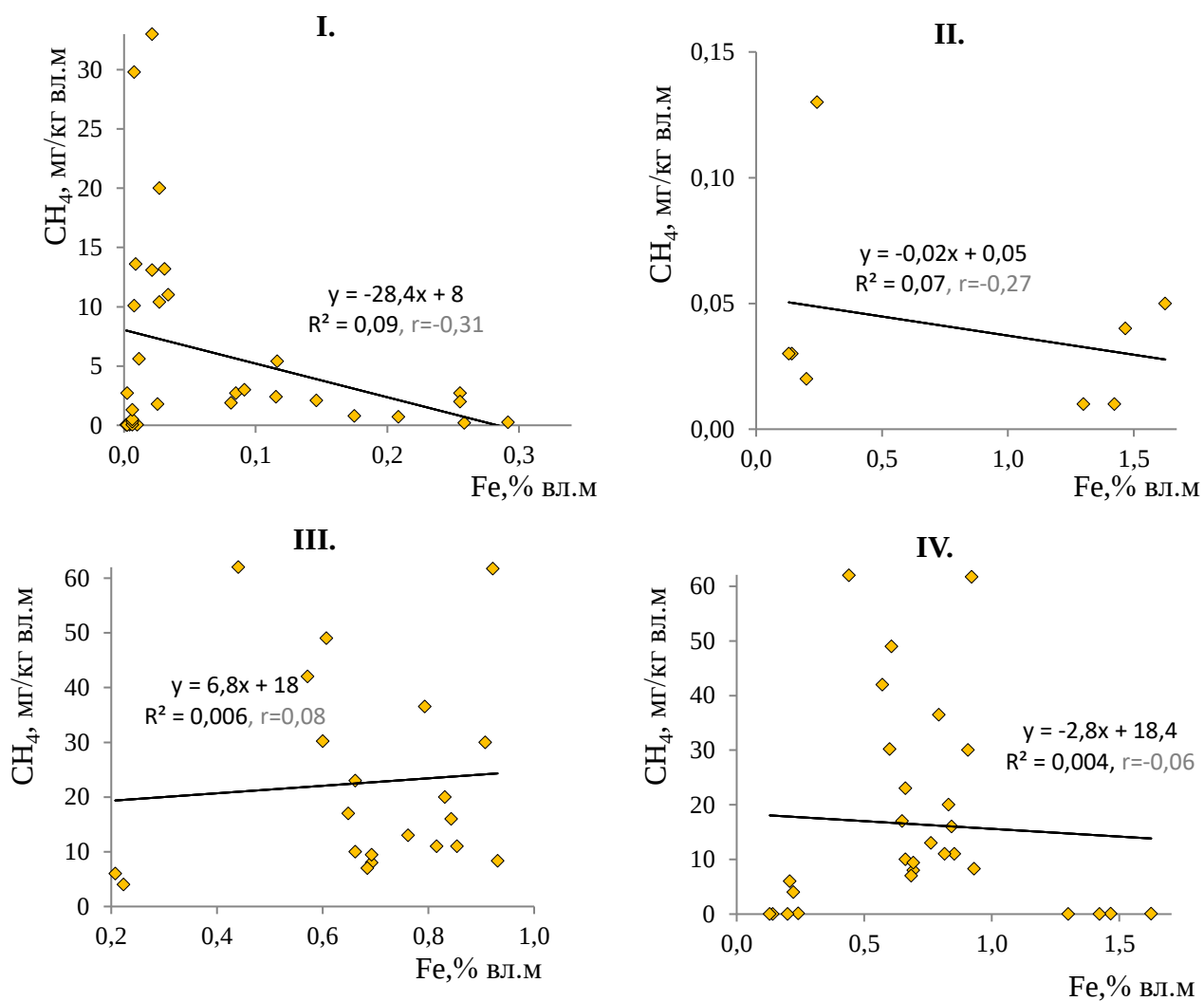
слабо сидерофильное Fe и Cd. Показатели биохимической активности вида для данного растения более низкие, чем в северных районах его произрастания. Наблюдается сходство рядов концентраций элементов в почвах минеральных островов и донных отложениях; в гидроморфных почвах Ni занимает менее значимое место в ряду концентраций.

4. Определены содержания и потоки метана с поверхности крупнейшей в Европе Полистово-Ловатской системы верховых болот, которые важны для оценки потоков метана на региональном уровне. Определены средние скорости ($5,4 \text{ мг/м}^2 \text{ в час}$) и рассчитана величина потока метана за бесснежный период с территории Полистово-Ловатской болотной системы (340 тыс. т). Наибольший вклад вносят сфагновые переходные топи (44,8%) и грядово-мочажинные комплексы (35,9%). Скорость эмиссии метана тесно связана с его концентрациями в воде и в поверхностном слое почв и донных отложений. В болотных ПК содержание метана в воде увеличивалось с ростом температуры воды и воздуха, в суточном ходе тесной прямой связи не обнаружено. Содержание метана в 0-15 см слое торфа и донных отложений положительно соотносились с температурой воды и воздуха. Подсчитано, что в дневное время (07:00-23:00) средние потоки метана выше, чем ночью (23:00-07:00) на 14% (на топиях) и на 26% (в ГМК). На топиях наблюдалось резкое повышение уровня потока метана с 7 до 8 часов утра; в то время как на ГМК суточное изменение отличалось более плавным ходом.

5. В почвах и донных отложениях валовые содержания макроэлементов Fe, Al и микроэлементов Mn, Ni, Cr, Cu проявляли значимую обратную связь с содержанием метана, а теснота связи содержания Pb, As с содержанием метана носила противоречивый характер, а связь Cd с CH_4 была в основном незначимой. Существование слабой отрицательной связи между содержанием Fe, Al, большинства микроэлементов и содержанием CH_4 в торфяных почвах стоит объяснять физико-химическими процессами, с одной стороны благоприятствующими накоплению Fe и связанных с ним микроэлементов, с другой стороны – уменьшению содержания лабильного органического вещества и CH_4 в слоях.

Приложение 1. Зависимость между содержанием химических элементов и метана в компонентах ландшафтов болот Псковской области

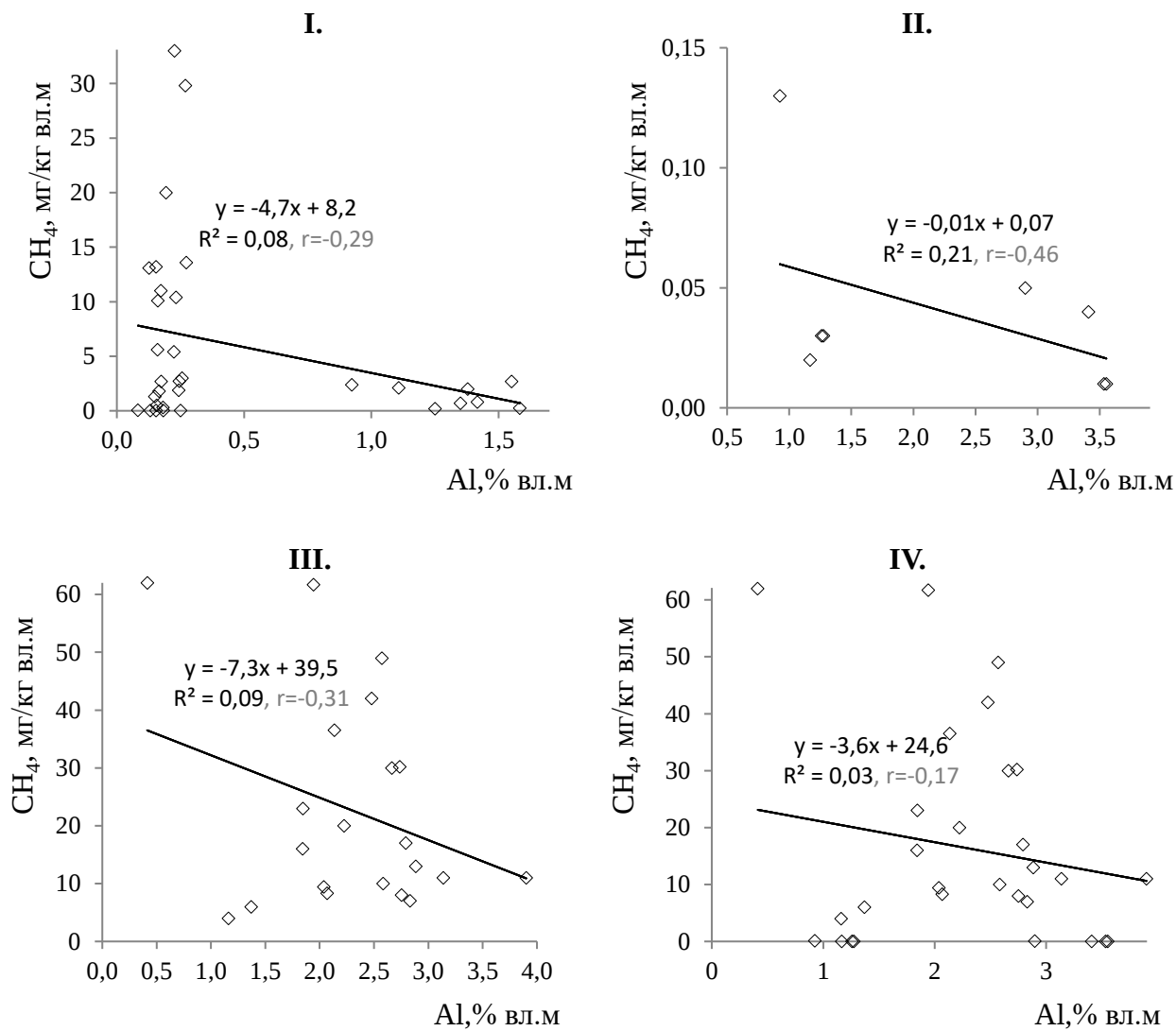
Железо (Fe)



Условные обозначения:

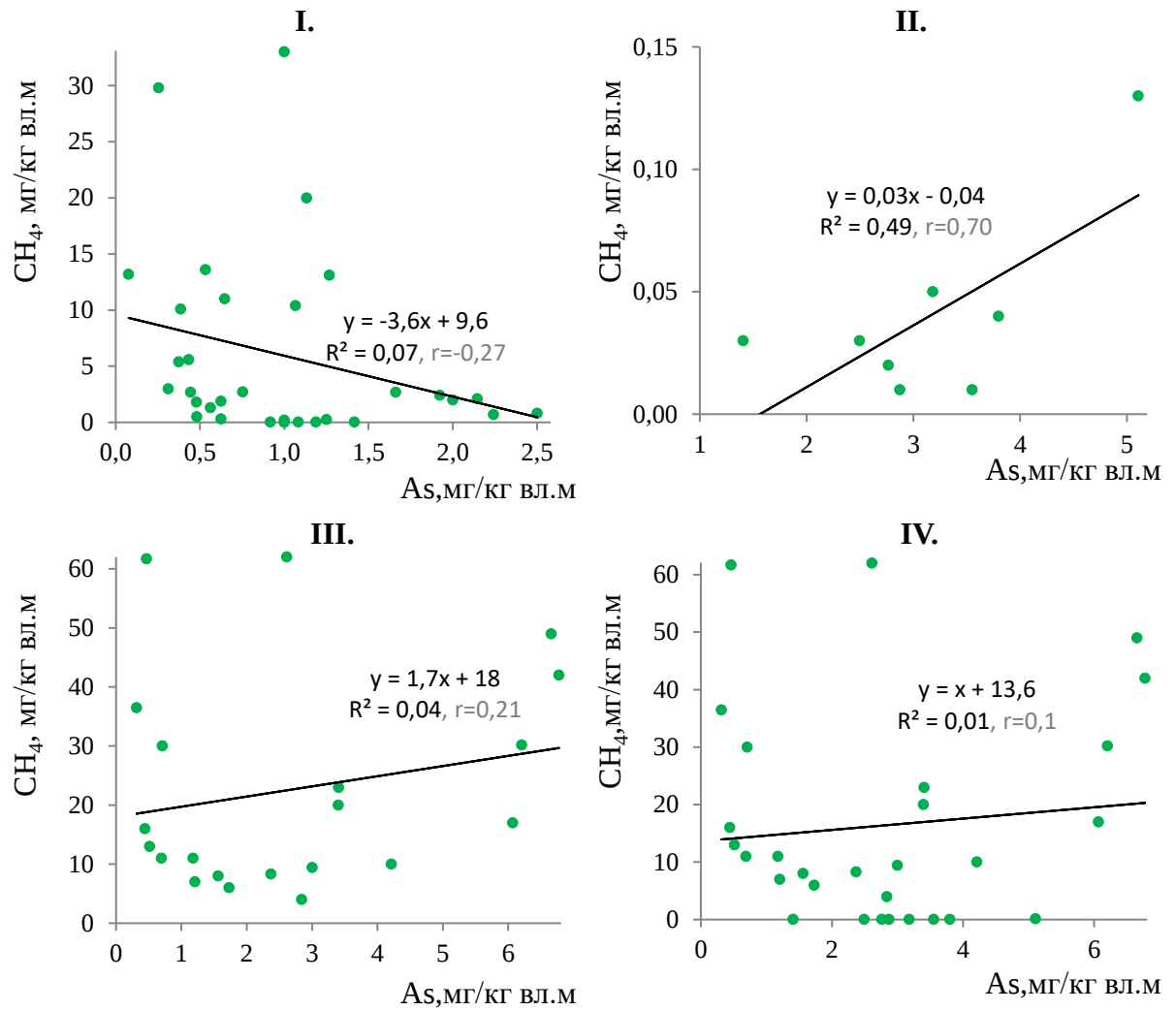
- I. Торфяные почвы
- II. Минеральные почвы
- III. Донные отложения
- IV. Минеральные почвы и донные отложения

Алюминий (Al)

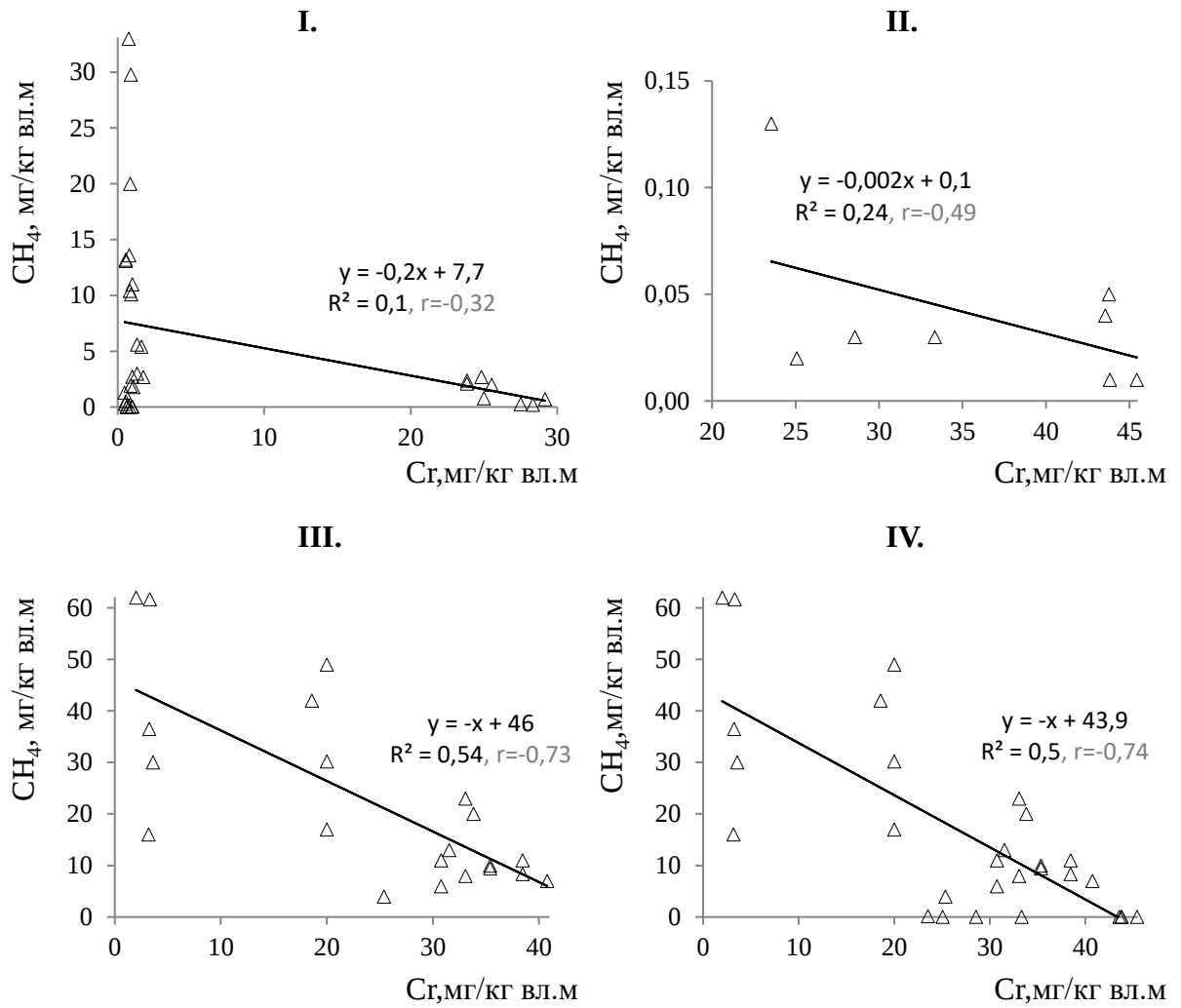


(условные обозначения на с.174)

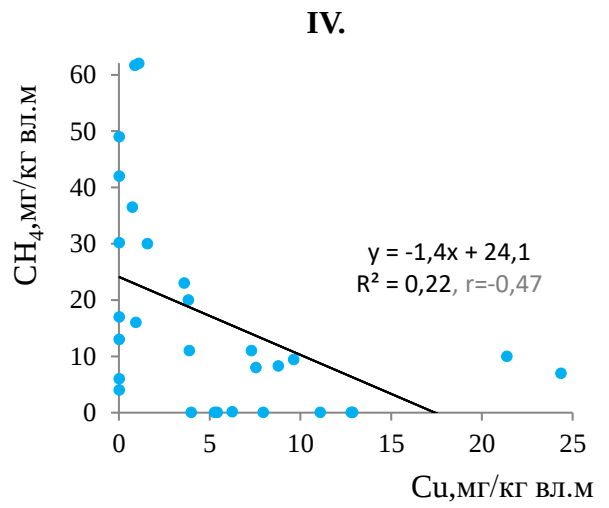
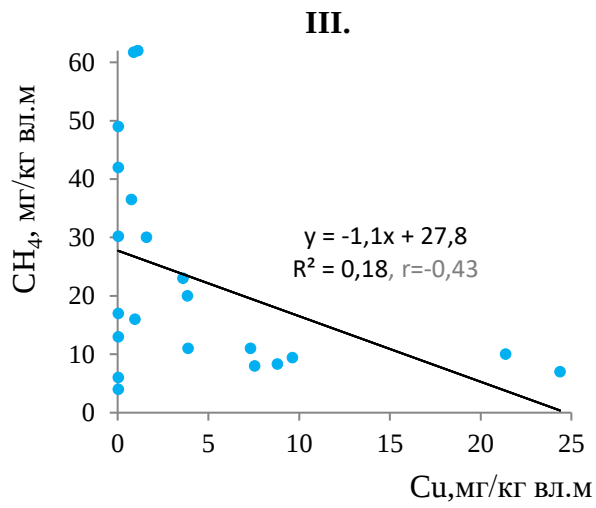
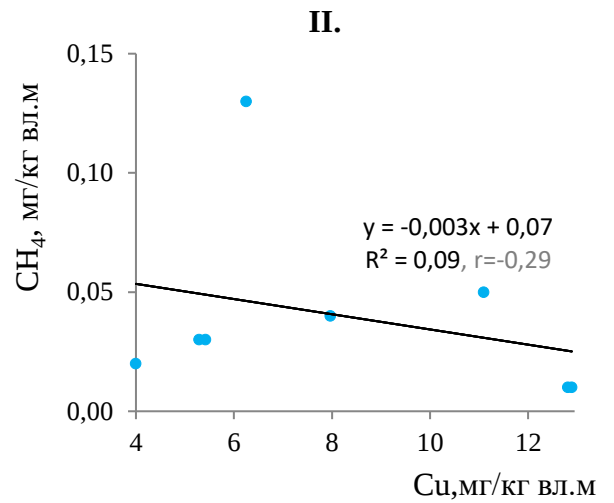
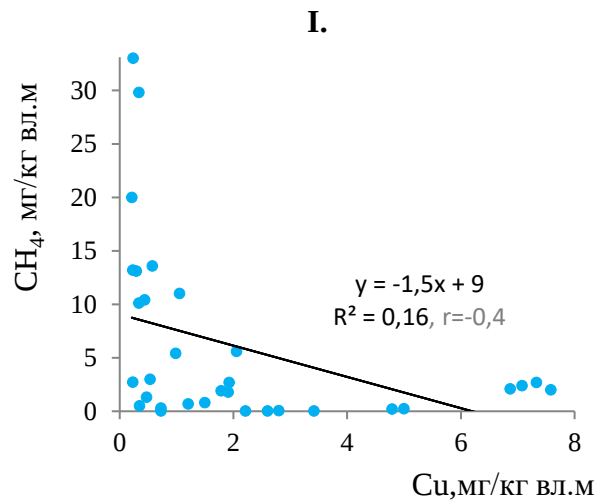
Мышьяк (As)



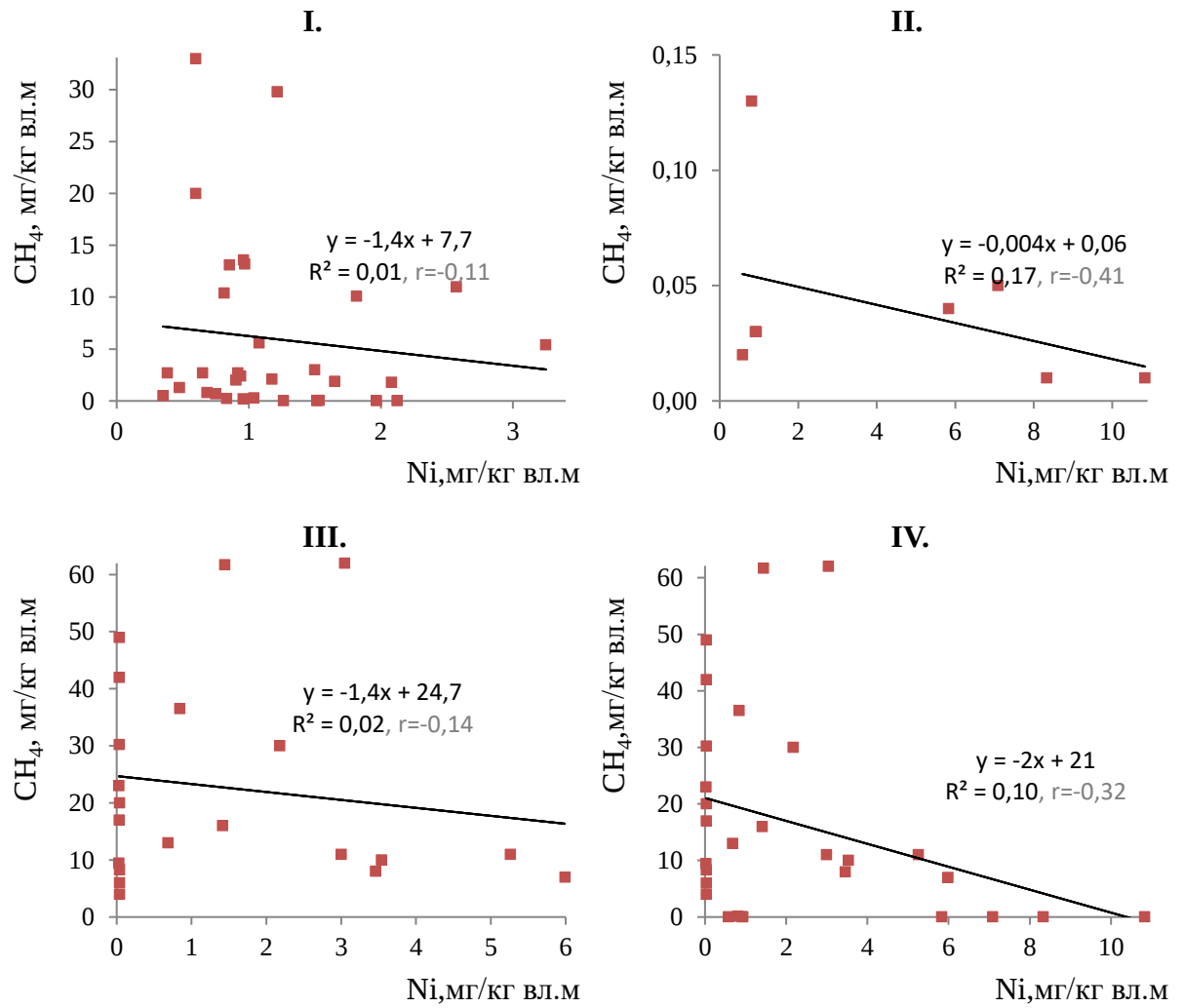
Хром (Cr)



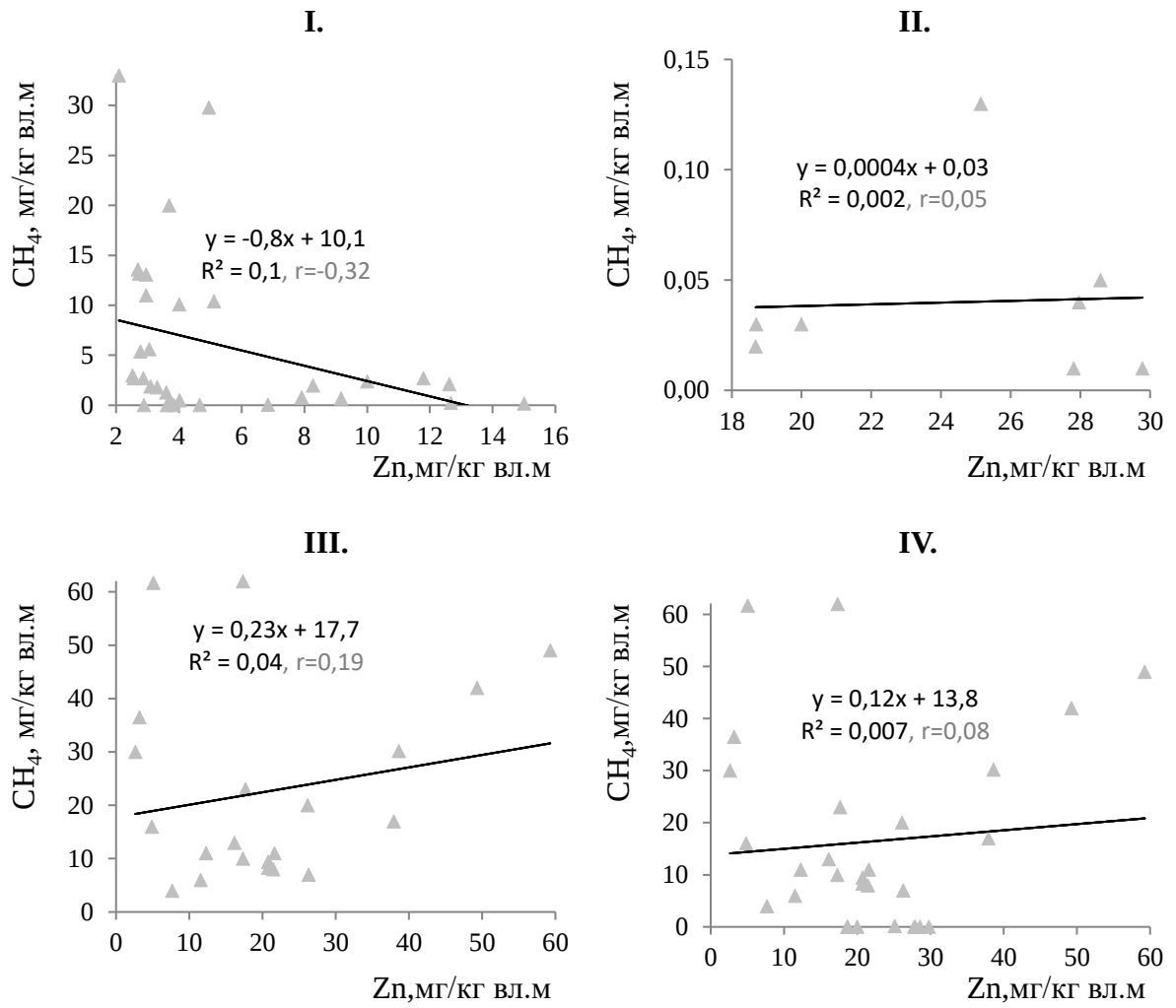
Медь (Cu)



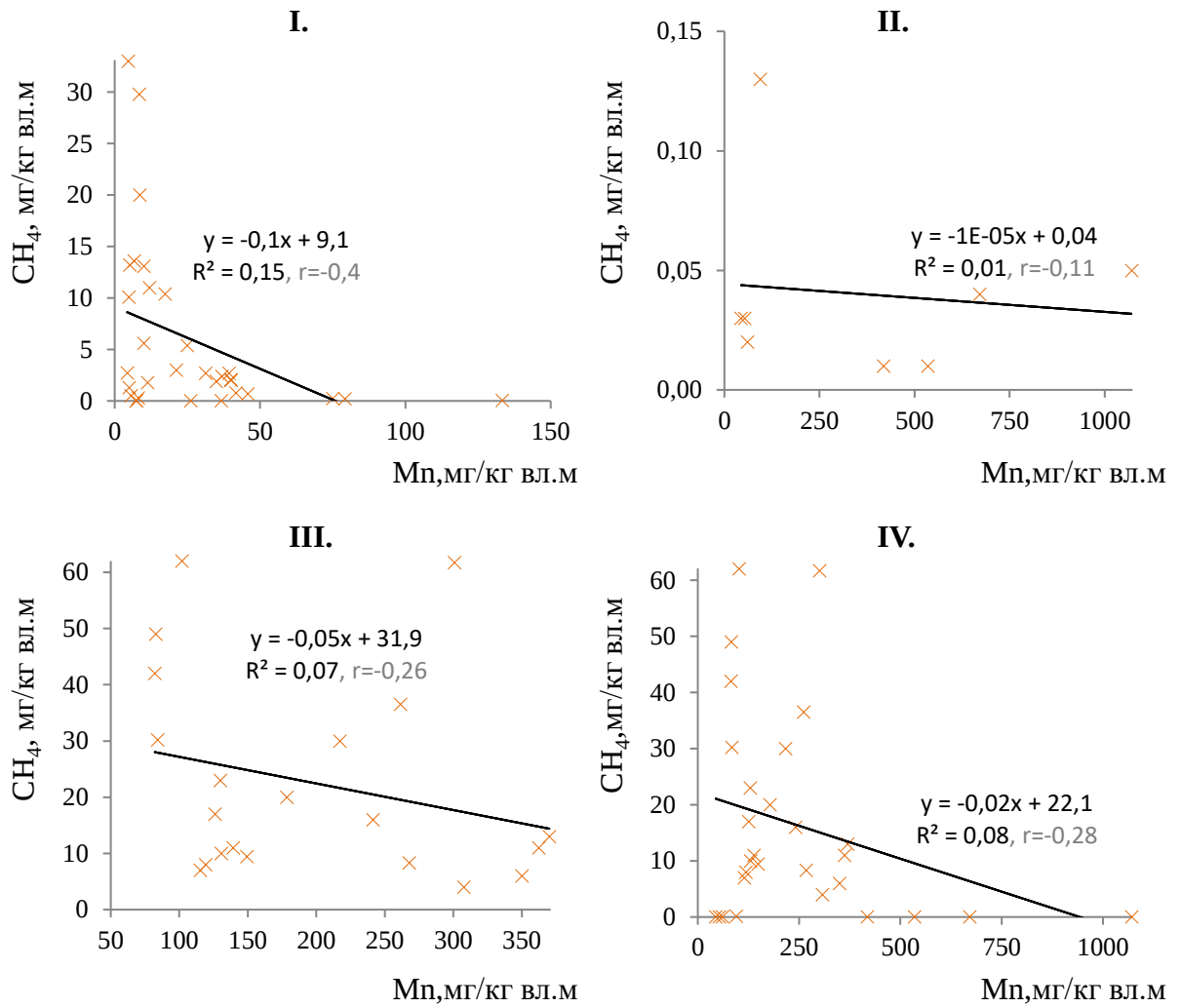
Никель (Ni)



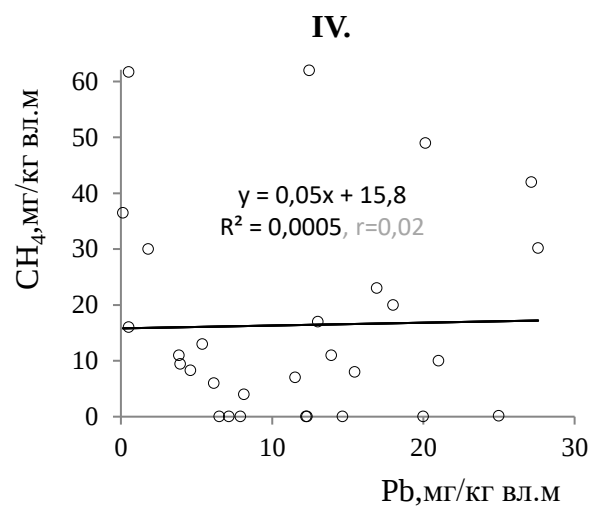
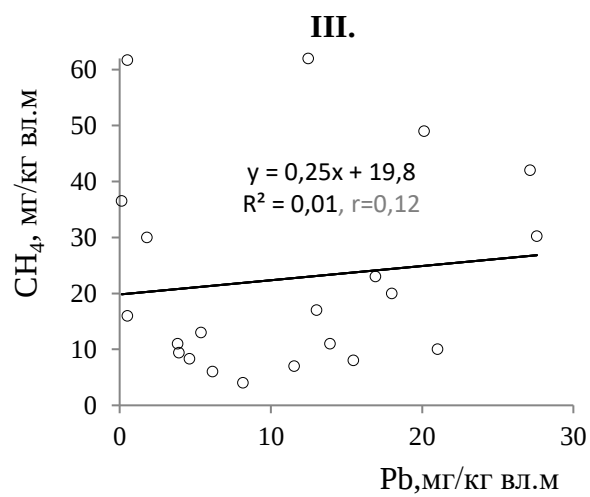
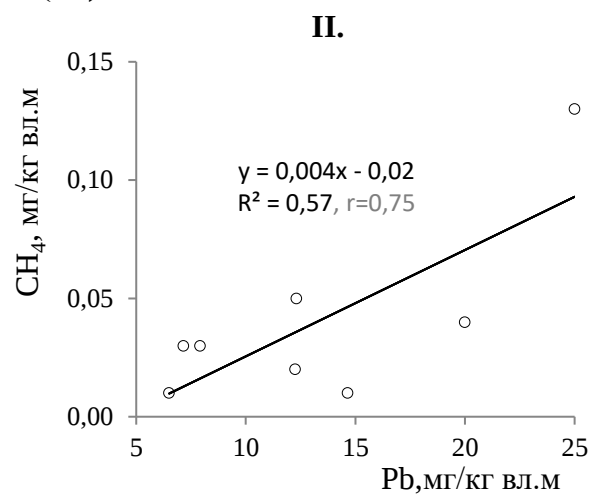
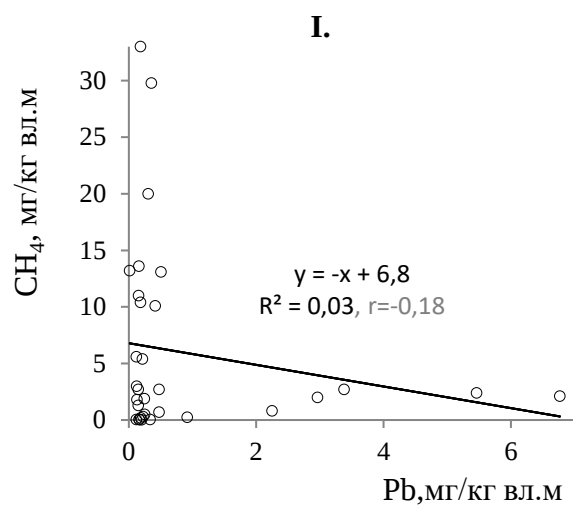
Цинк (Zn)



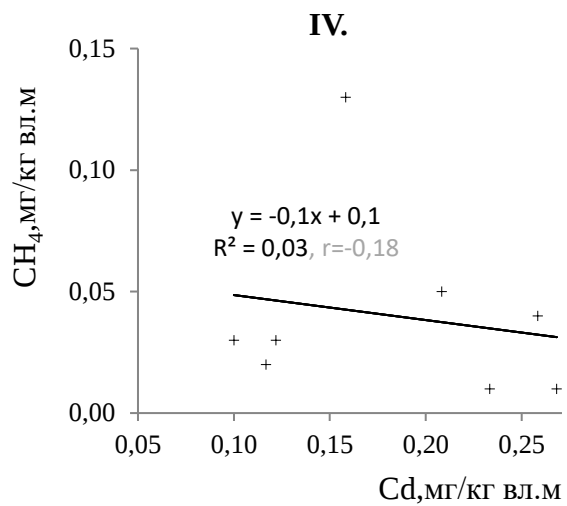
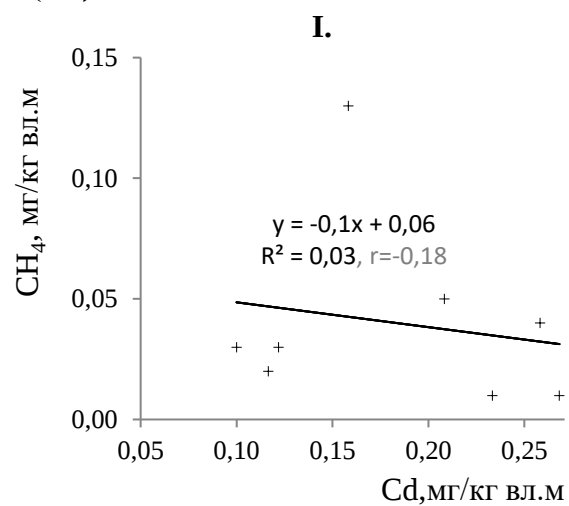
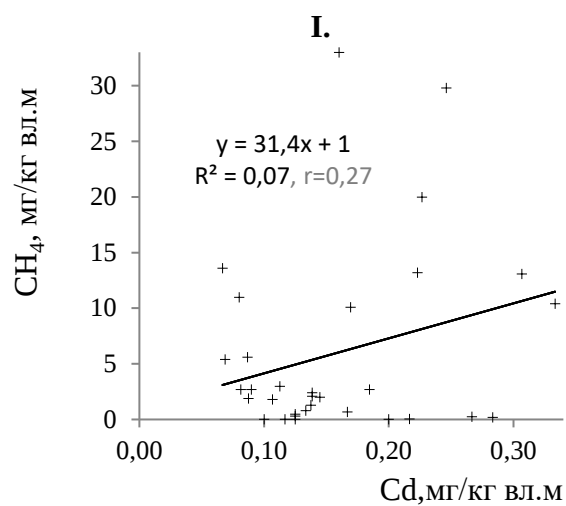
Марганец (Mn)



Свинец (Pb)



Кадмий (Cd)



СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ААС – атомно-адсорбционная спектрометрия
в.м. – влажной массы
ГМК – грядово-мочажинный комплекс
ГПЗ – государственный природный заповедник
ГОК – грядово-озерковые комплексы
ЕТР – Европейская территория России
КУ – ключевые участки
ОДК – озёрно-денудационные комплексы
ООПТ – особо охраняемые природные территории
ПДК – предельно-допустимая концентрация
ПК – природные комплексы
ПАУ – полициклические ароматические углеводороды
РФА – рентген-флуоресцентный анализ
мкл/л – микролитр на литр
мг/кг – миллиграмм на килограмм
мг-экв./л – миллиграмм-эквивалент на литр
С.м. – сухой массы
ТМ – тяжелые металлы
ФГ – физическая глина
ЭПП – элементарные почвообразовательные процессы
С_{орг} – органический углерод
ЮФУ – Южный федеральный университет

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абакумов Е.В., Гагарина Э.И., Исакадзе А.С. Эволюционно-генетические аспекты почвообразования в горной части Жигулевского заповедника // Известия СНЦ РАН. 2004. №3. С. 57–69.
2. 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.1, № 3. С. 75-90.
3. Абдурахманов Г.М., Лопатин И.К., Исмаилов Ш.И. Основы зоологии и зоогеографии. Учебник для педвузов. М.: Изд-во Academia, 2001. 496 с.
4. Андропова Н.Г. Моделирование глобального цикла метана и исследование его чувствительности к антропогенным источникам метана и к удвоению CO₂: автореферат дис. ... кандидата физико-математических наук: Москва, 1993. 20 с.: ил.
5. Атлас Псковской области. М: Изд-во ГУГК, 1969. 44 с.
6. Ахметова Г.В. Содержание микроэлементов в почвообразующих породах и лесных почвах озерно-ледниковых равнин среднетаежной подзоны Карелии // Лесной вестник. 2008. №2. С. 16-20.
7. Балгарыи Р. Биогеохимия наземных растений. Екатеринбург: М.: Изд-во ГЕОС, 2005. 467 с.
8. Балыкин С.Н., Пузанов А.В. Микроэлементы в горно-лесных бурых почвах Горного Алтая // География и природные ресурсы. 2007. № 2. С. 186-189.
9. Безуглова О.С. Классификация почв. Ростов-н/Д: Изд-во ЮФУ, 2009. 129 с.
10. Берестовская Ю.Ю., Русанов И.И., Васильева Л.В., Пименов Н.В. Процессы образования и окисления метана в почвах заполярной тундры России // Микробиология. 2005. Т.74. №2. С. 261-270.
11. Богдановская-Гиенэф И.Д. Закономерности формирования сфагновых болот на примере Полистово-Ловатского болотного массива. Л.: Изд-во Наука, 1969. 186 с.
12. Боч М.С. Водно-болотные угодья России. Том 2 Ценные болота. М.: Wetlands International Publication No.49. 1999. 88 с.
13. Боч М.С., Мазинг В.В. Экосистемы болот СССР. Л.: Изд-во Наука, 1979. 188 с.
14. Брукс Р.Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых / пер. с англ. С.К. Бежановой; ред. Н.Н. Соловьев. М.: Изд-во Недра, 1986. 311 с.
15. Буроземообразование и псевдоподзоливание в почвах Русской равнины / ред. С.В. Зонн. М.: Изд-во Наука, 1975. 275 с.
16. Вальков В.Ф., Крыщенко В.С. Методы оценки валового состава почв в генетических исследованиях. Методические указания к научно-исследовательской работе по почвоведению. Ростов-н/Д: Изд-во РГУ, 1983. 22 с.
17. Васильев С.В. О природе грядово-мочажинных комплексов // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. М.: Изд-во ГЕОС, 1999. С. 35-39.
18. Вернадский В.И. Очерки геохимии. М.: Изд-во Наука, 1983. 380 с.
19. Вечерская М.С. Процессы метанообразования и метаноокисления в мерзлотных почвах Колымской низменности: автореферат дисс... кандидата биологических наук. М.: Изд-во МГУ, 1995. 24с.
20. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. М.: Изд-во АН СССР. 1957. 259 с.
21. Водяницкий Ю.Н. Соединения железа и их роль в охране почв // Труды Почвенного института им. В.В. Докучаева. М.: Изд-во Почвенного института им. В.В. Докучаева. 2010. 282 с.
22. Вомперский С.Э. Роль болот в круговороте углерода // Чтения памяти В.Н. Сукачева. XI. Биогеоценотические особенности болот и их рациональное использование. М.: Изд-во Наука, 1994. С. 5–37.
23. Вомперский С.Э., Сирин А.А., Цыганова О.П., Валяева Н.А., Майков Д.А. Болота и заболоченные земли России: попытка анализа пространственного распределения и разнообразия // Известия Российской академии наук. Сер. географическая. 2005. № 5. С. 39–50.
24. Гагарина Э.И., Матинян Н.Н., Счастлива Л.С., Касаткина Г.А. Почвы и почвенный покров Северо-Запада России. СПб: Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, 1995. 236 с.

25. Гагарина Э.И., Соколова Т.А., Сухачева Е.Ю. Глинистые минералы в слабоподзоленных почвах абрадированных моренных равнин Северо-Запада России // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2014. № 4. С. 3–12.
26. Галанина О.В. Изучение растительного покрова Полистово-Ловатской болотной системы для целей крупномасштабного картографирования // Современные проблемы бот. географии, картографии, геоботаники, экологии. Тр. межд. конф. к 100-летию акад. Е.М. Лавренко. СПб., 2000. С. 66–67.
27. Гальченко В.Ф. Сульфатредукция, метанобразование и метаноокисление в различных водоемах оазиса Бангер Хиллс, Антарктида // Микробиология. 1994. Т.63, № 4. С.683–698.
28. Гальченко В.Ф., Дулов Л.Е., Крамер Б., Конова Н.И., Барышева С.В. Биогеохимические процессы цикла метана в почвах, болотах и озёрах Западной Сибири // Микробиология. 2001. Т.70, № 2. С. 215–225.
29. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А. Современная и прогнозная оценка эмиссии метана водными экосистемами Европейской территории России // Труды VI Междунар. конф. «Экологические проблемы. Взгляд в будущее». Ростов н/Д: Изд-во ЗАО «Ростиздат», 2010. С. 72–75.
30. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Плигин А.С. Эмиссия метана на основных этапах технологического цикла очистки сточных вод канализации Ростовской станции аэрации (по экспериментальным данным) // Метеорология и гидрология. 2011. № 7. С. 40–48.
31. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С. Сезонные изменения концентраций метана в воде реки Дон // Тез. докл. XV Межд. шк. морской геологии. Москва. 2003. Т.1. С.309–310.
32. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С. Эмиссия метана из почв Ростовской области // Аридные экосистемы. 2011А. Т. 17, № 4 (49). С. 223–229.
33. Гарькуша Д.Н., Федоров Ю.А., Шипкова (Нестерук) Г.В. Уровни содержания и особенности распределения метана в почвах различных географических зон России // Материалы IX Всероссийской с международным участием научной школы молодых ученых «Болота и биосфера». Томск, 2015. С. 172–177.
34. Гашкова Л.П., Иванова Е.С. Аккумуляция тяжёлых металлов в растениях-доминантах антропогенно нарушенных участков болот на территории Томской области // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2014. Т.16, № 1–3. С. 732–735.
35. Геннадиев А.Н., Цибарт А.С. Факторы и особенности накопления пирогенных полициклических ароматических углеводородов в почвах заповедных и антропогенно-измененных территорий // Почвоведение. 2013. № 1. С.32.
36. Геодекян А.А., Авилов В.И., Бордовский О.К. Газы придонных вод Северо-Западной части Индийского океана // Докл. РАН. 1997. Т.237, № 6, С.1483–1485.
37. Геоморфология и четвертичные отложения Северо-Запада Европейской части СССР (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). Л.: Изд-во Недра, 1969.
38. Гетман К.В., Шигабаева Г.Н., Хорошавин В.Ю., Вешкурцева С.С. Оценка содержания валовых форм тяжелых металлов в почвах некоторых фоновых территорий Кондинского и Советского районов (Тюменская область) // В сборнике: Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах материалы II Международной школы-семинара для молодых исследователей, посвященной памяти профессора В.Б. Ильина. 2016. С. 205–210.
39. Глаголев М.В. Математическое моделирование эмиссии метана из болот в атмосферу // Материалы конференции «Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования». М.: Изд-во ГЕОС, 1999. С. 175–177.
40. Глаголев М.В. Элементы количественной теории процессов образования и потребления метана в воде // Сб. материалов III науч. школы «Болота и биосфера». Томск: Изд-во ЦНТИ, 2004. 274 с.
41. Глаголев М.В., Смагин А.В. Количественная оценка эмиссии метана болотами: от почвенного профиля – до региона (к 15-летию исследований в Томской области) // Роль почв в биосфере: Тр. Ин-та экологического почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова. Вып. 7. Экология почв. Почвенные ресурсы. Модели почвообразования. М.: Изд-во Ин-та экологического почвоведения МГУ. М.: Изд-во «Советский спорт». 2006. С. 51–82.

42. Глаголев М.В., Шнырев Н.А. Летне-осенняя эмиссия CH_4 естественными болотами Томской области и возможности ее пространственно-временной экстраполяции // Вестник Московского университета. Сер. 17. Почвоведение. 2008. № 2. С. 24–36.
43. Глазовская М.А. Геохимические основы типологии и методики исследований природных ландшафтов. Смоленск: Ойкумена, 2002. 288 с.
44. Глухова Т.В., Ковалев А.Г., Смагина М.В., Вомперский С.Э. Оценка некоторых биотических компонентов углеродного цикла болот и лесов // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования (Материалы конференции). М.: Изд-во ГЕОС, 1999. С. 182–185.
45. Голубятников Л.Л., Казанцев В.С. Вклад тундровых озер Западной Сибири в метановый бюджет атмосферы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2013. Т. 49, № 4. С. 430–438.
46. Гончаров А.А., Тиунов А.В. Сезонные изменения трофической структуры сообщества лесных почвенных беспозвоночных // Современные тенденции развития особо охраняемых природных территорий. Великие Луки. 2014. с. 42–48.
47. ГОСТ 17.1.4.01-80. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к методам определения нефтепродуктов в природных и сточных водах. Введ. 1983.01.01. М.: Изд-во стандартов, 1986. 3 с.
48. ГОСТ 17.4.4.02-84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа (Межгосударственный стандарт. Охрана природы. Почвы). М.: Стандартинформ, 1984. 8 с.
49. ГОСТ 28168-89-2008. Почвы. Отбор проб. Межгосударственный стандарт. Введ. 01.04.1990. М.: Стандартинформ, 2008. 7 с.
50. ГОСТ 5180-2005. Грунты. Метод лабораторного определения физических характеристик (Межгосударственный стандарт. Грунты. М.: Стандартинформ, 2005. 19 с.
51. Гынинова А.Б., Дыржиков Ж.Д., Гончиков Б.-М.Н., Бешенцев А.Н. Антропогенная трансформация подтаежных почв дельты р. Селенги // География и природные ресурсы. 2016. № 5. С. 83–91.
52. Даниловский И.В. Геологическое строение бассейна р. Ловать в пределах 27-го листа 10-верстной геологической карты // Л.: Труды УНН. 1931. Вып. 125. 119 с.
53. Дымов А.А., Жангуров Е.В. Морфолого-генетические особенности почв кряжа Енганэпэ (Полярный Урал) // Почвоведение. 2011. № 5. С. 515–524.
54. Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н., В.А. Носин, Т.А. Фриев. Классификация и диагностика почв СССР. М: Изд-во Колос, 1977. 224 с.
55. Ергина Е.И. Моделирование процесса формирования гумусового горизонта почв во времени в Крыму // Почвоведение. 2017. № 1. С. 17–23.
56. Еремченко О.З., Шестаков И.Е., Чирков Ф.В., Филькин Т.Г. Дерново-карбонатные почвы Пермского края как объекты особой охраны // Фундаментальные исследования. 2008. № 7. С. 72–73.
57. Ершов Ю.И. Денудация и литогенез в формировании лесных почв // География и природные ресурсы. 2012. № 2. С. 26–33.
58. Жангуров Е.В., Каверин Д.А. Сравнительно-генетическая характеристика автоморфных почв Среднего Тимана (на элюво-делювии коренных пород) // Материалы докладов I-ой Всероссийской молодежной научной конференции «Молодежь и наука на Севере». Сыктывкар, 2008. Т. III. С. 82–84.
59. Заварзин Г.А. Бактерии и состав атмосферы. М.: Наука, 1984. 199 с.
60. Заварзин Г.А. Литотрофные микроорганизмы // АН СССР микробиологии. Москва: Наука, 1972. 323 с.
61. Заварзин Г.А. Микробный цикл метана в холодных условиях // Природа. 1995. № 6. С. 3–14.
62. Заварзин Г.А. Коцюрбенко О.Р., Соловьёва Т.Н. Ножевникова А.Н. Температурный порог при развитии метаногенного или ацетогенного микробного сообщества из почвы тундры // Докл. РАН. 1993. Т. 329. С. 792–794.

63. Иванов М.В., Русанов И.И., Пименов Н.В., Байрамов И.Т., Юсупов С.К., Саввичев А.С., Леин А.Ю., Сапожников В.В. Микробные процессы цикла углерода и серы в озере Могильном // Микробиология. 2001. Т.70, № 5, С.675–686.
64. Ильясов Д.В., Клепцова И.Е., Глаголев М.В. Классификация болотных ландшафтов и ее применение для расчетов эмиссии метана на примере подзоны средней тайги // Болота и биосфера: материалы VIII Всероссийской с международным участием научной школы. 2012. Томск: Изд-во ТГПУ. С. 185–90.
65. Инишева Л.И., Смирнов О.Н., Порохина Е.В., Инишева Д.Н., Сергеева М.А. Торфяные болота Западной Сибири – их роль в биосфере. Томск: Изд-во ЦНТИ, 2011. 65 с.
66. Истомина Н.Б., Лихачева О.В. Находки новых видов лишайников на территории Государственного природного заповедника «Полистовский» и его окрестностей // Современные тенденции развития особо охраняемых природных территорий. Великие Луки. 2014. С. 71–75.
67. Калюжный И.Л., Лавров С.А., Решетников А.И., Парамонова Н.Н., Привалов В.И. Эмиссия метана на олиготрофном болотном массиве Северо-Запада России // Метеорология и гидрология. 2009. № 1. С. 53–67.
68. Кароль А.И. Оценки характеристик относительного вклада парниковых газов в глобальное потепление климата // Метеорология и гидрология. 1996. Т. 11. С. 5–12.
69. Касимов Н.С., Самонова О.А., Асеева Е.Н. Фоновая почвенно-геохимическая структура лесостепи Приволжской возвышенности // Почвоведение. 1992. № 8. С. 5.
70. Кац Н.Я. Болота Земного шара / М.: Изд-во Наука, 1971. 295 с.
71. Кац Н.Я. Типы болот СССР и Западной Европы и их географическое распространение. М.: Изд-во ОГИЗ, 1948. 320 с.
72. Клепцова И.Е., Глаголев М.В., Филиппов И.В., Максютлов Ш.Ш. Эмиссия метана из рямов и гряд средней тайги Западной Сибири // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2010, Т.1. № 1. С. 66–76.
73. Ковальский В.В. Методы определения микроэлементов в органах и тканях животных, растений и почвах / В.В. Ковальский, А.Д. Голобов. М.: Изд-во Колос, 1969. 272 с.
74. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на микробную систему чернозема // Почвоведение. 1999. № 4. С. 505–511.
75. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного // Экология. 2000. № 3. С. 193–201.
76. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические функции почв и влияние на них загрязнения тяжелыми металлами // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1509–1514.
77. Кондратьев К.Я., Крапивин В.Ф., Савиных В.П. Перспективы развития цивилизации: многомерный анализ. М.: Изд-во Логос, 2003. 576 с.
78. Коржов Ю.В., Езупенок А.Э., Туров Ю.П., Иванова Л.В. Изменение концентрации метана в приземных атмосферных потоках над лесоболотным массивом Обско-Иртышской пойменной области // Материалы Шестого совещания по климатологическому мониторингу. Томск: Изд-во Копир. центр, 2005. С. 111–115.
79. Королькова Е.О., Новикова Т.А., Смагин В.А., Шкурко А.В., Игошева С.Ю. Новые находки видов сосудистых растений на территории Полистовского заповедника // Фиторазнообразие Восточной Европы. 2016. Том X, №4. С. 71–75.
80. Королькова Е.О., Шкурко А.В. Устойчивость болотных фитоценозов Полистовского заповедника к рекреационному воздействию // Социально-экономические технологии. 2016. №4. С. 50–77.
81. Кравченко И.К., Токарева Е.В. Влияние азотных соединений на окисление метана в верховом болоте, Тверская область // Болота и заболоченные леса в свете задач устойчивого природопользования. Материалы совещания. М.: Изд-во ГЕОС, 1999. С. 201–203.
82. Кремлева Т.А., Моисеенко Т.И., Хорошавин В.Ю., Шавнин А.А. Геохимические особенности природных вод Западной Сибири: микроэлементный состав // Вестн. Тюменского государственного университета. 2012. № 12. С. 80–89.

83. Крыжевич М.И., Зубкова П.С., **Шипкова (Нестерук) Г.В.** Радиловский болотный массив: состояние и геоэкологические проблемы // Изв. ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Сер. Естественные науки. 2015. №1. С. 84–88.
84. Кукушкин С.Ю., Опекунова М.Г., Опекунов А.Ю., Арестова И.Ю. Тяжелые металлы в почвах Надым-Пур-Тазовского региона // Почвы и земельные ресурсы: современное состояние, проблемы рационального использования, геоинформационное картографирование. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию кафедры почвоведения БГУ и 80-летию со дня рождения В.С. Аношко. Минск. 2018. С. 258–262.
85. Левин И., Минаева Т., Нойманн Э. Некоторые данные об эмиссии С-газов с верхового болота и заболоченного леса в Тверской области // Тезисы докладов Национальной конференции с международным участием «Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии». Пушкино. 2000. С. 90.
86. Лесненко В.К. Псковские озера. / Л.: Изд-во Лениздат, 1988. 110 с.
87. Летопись природы Полистовского государственного природного заповедника. Бежаницы, Книга 9, 2008. 130 с.
88. Летопись природы Полистовского государственного природного заповедника. Бежаницы, Книга 10, 2009. 466 с.
89. Лемеза Н.А., Джус М.А. Геоботаника. Учебная практика. Минск: Изд-во Высшая школа, 2008. 255 с.
90. Мартынова М.В., Мурогова Р.Н., Погожев П.И. Газоотделение со дна небольшого озера // Водные ресурсы. 1995. Т.22, № 6. С. 709–714.
91. Мартынова М.И., Яблоков М.С., **Шипкова (Нестерук) Г.В.**, Михайлова Е.А. Современные природные комплексы окраинных лесов Полистово-Ловатского болотного массива // Изв. ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. №2. С. 127–130.
92. Мартынова (Крыжевич) М.И., Зубкова П.С., **Шипкова (Нестерук) Г.В.** Исследования юго-западной части Полистово-Ловатского болотного массива – 2011 // VIII Всероссийской с международным участием научной школы молодых ученых «Болота и биосфера». Томск. 2012. С. 213–218.
93. Матвеев А.В., Бордон В.Е., Бордон С.В. Кларки микроэлементов в основных генетических типах четвертичных отложений Беларуси // Літасфера. 2007. № 1(26). С. 122–126.
94. Матинян Н.Н., Рейманн К. Фоновое содержание тяжелых металлов и мышьяка в пахотных почвах Северо-Запада России // Вестник Санкт-Петербургского университета: Сер. 3. Биология. 2007. № 9. Вып. 3. С.123–134.
95. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.
96. Миндубаев А.З., Белостоцкий Д.Е., Минзанова С.Т., Миронов В.Ф., Алимова Ф.К., Миронова Л.Г., Коновалов А.И. Метаногенез: биохимия, технология, применение // Учен. зап. Казан. Ун-та. Сер. Естеств. Науки. 2010. Т. 152, кн. 2. С 178–191.
97. Моисеенко Т.И.; Гашкина Н.А., Дину М.И., Хорошавин, В.Ю., Кремлева Т.А. Влияние природных и антропогенных факторов на процессы закисления вод в гумидных регионах // Геохимия. - 2017. - № 1. - С. 41–56. - DOI: 10.7868/S0016752516120104.
98. МУ 2.1.7.730-99. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Методические указания. М.: Изд-во Минздрав России, 1999. 19 с.
99. Мур Д., Рамамурти С. Тяжёлые металлы в природных водах. М.: Изд-во Мир, 1987. 286 с.
100. Мигловец М.Н. Эмиссия метана в растительных сообществах мезоолиготрофного болота средней тайги: автореферат дис. ... кандидата биологических наук Сыктывкар: 2014. 22 с.
101. Московченко Д.В. Биогеохимические особенности верховых болот Западной Сибири // География и природные ресурсы. 2006. № 1. С. 63–70.
102. Московченко Д.В., Моисеева И.Н., Хозяинова Н.В. Элементный состав растений уренгойских тундр // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. 2012. №12. с. 130–136.

103. Намсараев Б.Б., Русанов И.И., Мицкевич И.Н., Веслополова Е.Ф., Большаков А.М., Егоров А.В. Бактериальное окисление метана в эстуарии реки Енисей и Карском море // *Океанология*, 1995. Т.35, № 1. С.88–93.
104. Наумов А.В. Северные болота как источник С-содержащих газов в атмосфере // Тезисы докладов Национальной конференции с международным участием «Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии». 2000. Пушино. С. 42.
105. Новиков В.В., Степанов А.Л. Эмиссия парниковых газов в торфяных почвах разной степени освоения // Тезисы докладов Второй Международной конференции «Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии». Пушино. 2003. С. 90.
106. Новикова Т.А., Кузьмицкая Н.В. Характеристика снежных периодов и факторы изменчивости снегового покрова в Полистовском заповеднике // *Современные тенденции развития особо охраняемых природных территорий*. Великие Луки, 2014. С. 280–288.
107. Нормы и критерии оценки загрязненности донных отложений в водных объектах Санкт-Петербурга. Региональный норматив. СПб: Изд-во Ленморниипроект, 1996. 13 с.
108. Носова М.Б., Северова Е.Э., Косенко Я.В., Волкова О.А. Исследования современных пылевых спектров средней полосы Европейской России в рамках Европейской программы мониторинга пыли (ЕРМР) // *Проблемы современной палинологии*. Том I. Сыктывкар, 2011. С. 95–98.
109. Опекунова М.Г., Арестова И.Ю., Елсукова Е.Ю. Методы физико-химического анализа почв и растений: Методические указания. СПб, 2002. С. 48–51.
110. Опекунова М.Г., Гизетдинова, М.Ю. Использование лишайников в качестве биоиндикаторов загрязнения окружающей среды // *Вестник Санкт-Петербургского университета*. Сер. 7. Геология. География. 2014. № 1. С. 79–94.
111. Паников Н.С. Таежные болота – глобальный источник атмосферного метана? // *Природа*. 1995. № 6. С. 14–25.
112. Перельман А.И. Геохимия ландшафта / 2-е изд. М.: Изд-во Высшая Школа, 1975. 341 с.
113. Петрова Е.А., Галанина О.В., Вальцев Д.А. Растительность минеральных островов северной части заповедника Полистовский. // *Биоразнообразие: подходы к изучению и сохранению материалы Международной научной конференции, посвященной 100-летию кафедры ботаники Тверского государственного университета*. 2017. С. 307–308.
114. Письмо ЦСИ Госкомприроды РСФСР от 18.12.90 № ЦС-299/15-73. М.: 1990.
115. Поляков Н.А. Экологические аспекты рационального использования багульника болотного: Автореф. дис. ... канд. биол.наук. Томск, 2008. 18 с.
116. Природа Псковской области / Ред. Р.А. Зубаков и др.; Геогр. общ. СССР. Псков. отд. - Псков: 1974. 172 с.
117. Пьявченко Н.И. Торфяные болота, их природное и хозяйственное значение. М.: Изд-во Наука, 1985. 152 с.
118. РД 52.24.511-2013. Массовая доля метана в донных отложениях. Методика измерений газохроматографическим методом с использованием анализа равновесного пара. Росгидромет. Ростов-на-Дону: Изд-во ФГУ «ГХИ», 2013. 21 с.
119. РД 52.24.512-2012 «Объемная концентрация метана в водах. Методика измерений газохроматографическим методом с использованием анализа равновесного пара». Росгидромет. – Ростов-на-Дону: ФГУ «ГХИ», 2012. 21 с.
120. Решетникова Н.М., Королькова Е.О., Новикова Т.А. Сосудистые растения заповедника «Полистовский» (Аннотированный список видов) / Под редакцией В.С. Новикова. М: Флора и фауна заповедников, 2006. Вып. 110. 97 с.
121. Сабреков А.Ф., Филиппов И.В., Терентьева И.Е., Глаголев М.В., Ильясов Д.В., Смоленцев Б.А., Максютлов Ш.Ш. Пространственная вариабельность эмиссии метана из травяно-моховых болот подтайги и лесостепи Западной Сибири // *Известия Российской академии наук. Сер. биологическая*. 2016. № 2. С. 199–206.
122. Самофалова И.А., Рогова О.Б., Лузянина О.А., Савичев А.Т. Геохимические особенности распределения макроэлементов в почвах ненарушенных ландшафтов среднего Урала (на

- примере заповедника «Басеги») // Бюллетень почвенного института им. В.В. Докучаева. 2016. № 85. С. 57–76. doi: 10.19047/0136-1694-2016-85-57-76.
123. Санников С.Н. Лесные пожары как фактор преобразования структуры, возобновления и эволюции биогеоценозов // Экология. 1981. №6. С.23–33.
124. Сергеева М.А., Бенц М.В. Динамика эмиссии парниковых газов болотами Сибири // Матер. VIII Всерос. с междунар. уч. науч. школы «Болота и биосфера». Томск. 2012. С. 258–264.
125. Сирин А.А., Суворов Г.Г., Чистотин М.В., Глаголев М.В. О значениях эмиссии метана из осушительных каналов // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. 2012. Т.3, № 2 (6). С. 1–10.
126. Сирин А.А., Чистотин М.В. Эмиссия углеродсодержащих парниковых газов осушенными болотами при добыче торфа и сельскохозяйственном использовании // Тезисы докладов III Международной конференции «Эмиссия и сток парниковых газов на территории северной Евразии». 2007. Пушино. С. 66.
127. Смагин А.В., Шнырев Н.А. Потоки метана в холодное время года: распределение и массоперенос в снежном покрове болот // Почвоведение. 2015. № 8. С. 943–951.
128. Старынин Д.А., Намсараев Б.Б., Бонч-Осмоловская Е.А., Качалкин В.И., Пропп Л.Н. Микробиологические процессы в донных осадках озера Грин острова Рауль (острова Кермадек, Тихий океан) // Микробиология. 1995. Т.64, № 2. С. 264–269.
129. Степанов А.Л. Микробная трансформация парниковых газов в почвах / ред. А.Л. Степанов. М.: Изд-во Геос, 2011. 192 с.
130. Страхов Н.М. Основы теории литогенеза. Том 3. Закономерности состава и размещения гумидных отложений / ред. Бушинский Г.И. М.: Изд-во Акад. наук СССР. 1962. 558 с.
131. Тарасов П.А., Тарасова А.В. Сравнительная оценка влияния культур светлехвойных пород на свойства дерново-карбонатной почвы // Хвойные бореальной зоны. Т. XXVII, № 3–4. 2010. С. 284–288.
132. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Доценко И.В., Афанасьев К.А. Метан и сероводород в лечебных сульфидных грязях (на примере озера Большой Тамбукан) // Изв. ВУЗов. Северо-Кавказский регион. Сер. Естеств. науки. 2014. №3. С. 102–109.
133. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Крукиер М.Л. Влияние температуры на эмиссию метана из водных объектов (по результатам экспериментального и математического моделирования) // Известия вузов. Сев.-Кав. регион. Естеств. науки. 2012. №6. С. 98–100.
134. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Тамбиева Н.С., Андреев Ю.А., Михайленко О.А. Влияние гранулометрического состава донных отложений озера Байкал на распределение метана и сульфидной серы // Литология и полезные ископаемые. М.: Изд-во РАН, 2018. №4S. С. 3–15.
135. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Тамбиева Н.С., Доценко И.В., Михайленко А.В., Крукиер М.Л. Метан: источники, пути поступления, закономерности формирования и взаимосвязь с веществами природного и антропогенного происхождения // Сборник материалов всероссийской научной конференции «Вода и водные ресурсы. Системообразующие функции в природе и экономике». Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2012А. С. 329–335.
136. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., Хромов М.И. Эмиссия метана с торфяных залежей Иласского болотного массива Архангельской области // Известия РГО. 2008. Т. 140, Вып. 5. С. 25–32.
137. Федоров Ю.А., Гарькуша Д.Н., **Шипкова (Нестерук) Г.В.** Эмиссия метана торфяными залежами верховых болот Псковской области // География и природные ресурсы. 2015. № 1 С. 88–97.
138. Федоров Ю.А., Минкина Т.М., **Шипкова (Нестерук) Г.В.** Тяжелые металлы в ландшафтах верховых болот Псковской области // География и природные ресурсы, 2017. №2. С. 46–55. DOI: [10.21782/GIPR0206-1619-2017-2\(46-55\)](https://doi.org/10.21782/GIPR0206-1619-2017-2(46-55)).
139. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н. Экспериментальные исследования влияния загрязняющих веществ на распределение концентрации метана и его генерацию в воде и донных отложениях // Тез. докл. науч. конф. по результатам исследований в области гидрометеорологии и мониторинга загрязнения природной среды в государствах – участниках СНГ. СПб.: Изд-во Гидрометиздат, 2002, С.115–118.

140. Федоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Гарькуша Д.Н., Хорошевская В.О. Метан в водных экосистемах: 2-е изд., перераб. и доп. Ростов-на-Дону; М.: Изд-во ЗАО «Ростиздат», 2007, 330с.
141. Финкельштейн М., де Брюн Р., Вебер Д., Додсон Д. Остаточные углеводороды: источник добычи биогенного метана // Нефтегазовые технологии. 2005. №12. С. 33–38.
142. Фридланд В.М. Бурые лесные почвы Кавказа // Почвоведение. 1953. № 12. С. 28–44.
143. Фриш В.А. «Окна» верховых болот // Природа. 1993. №12. С. 76–79.
144. Цибарт А.С., Гурьянова И.Ю. Крупномасштабная почвенная карта участка территории заповедника и прилегающей территории, расположенных в окрестности деревни Ручьи // Летопись природы Полистовского государственного природного заповедника. Книга 11, 2010. Псков–Цевло, 2011. С. 49–52.
145. Черевичко А.В. Зоопланктон озер Полистовского заповедника // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2009. Т.18, № 3. С. 132–137.
146. Чернова О.В. Особенности почв низкогорий Северного Кавказа, сформированных на высококарбонатных почвообразующих породах (на примере Абраусского заказника) // Доклады по экологическому почвоведению. 2006. Т.2, №2. С. 177–191.
147. Шемякина О.А., Яблоков М.С. Птицы заповедника «Полистовский» и сопредельных территорий. Вестник Псковского государственного университета. Сер. Естественные и физико-математические науки. 2013. №2. С. 81–104.
148. **Шипкова (Нестерук) Г.В.**, Мартынова М.И., Федоров Ю.А., Яблоков М.С., Фурман К.И. Экспедиционные исследования в Полистово-Ловатской болотной системе – 2011 // «Актуальные проблемы науки и образования». 2012. №3. science-education.ru/103-6288 (дата обращения: 26.06.2015).
149. **Шипкова (Нестерук) Г.В.**, Минкина Т.М., Сушкова С.Н. Геохимическая характеристика почв ландшафтов Полистовского заповедника // Сборник материалов Международной научной конференции «Современные проблемы состояния и эволюции таксонов биосферы». 2017. М.: ГЕОХИ-РАН, 2017, с. 314–318.
150. **Шипкова (Нестерук) Г.В.**, Минкина Т.М., Федоров Ю.А. Биогеохимическая оценка компонентов ландшафтов Полистовского заповедника // Материалы III Международной школы-семинара для молодых исследователей «Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах». 2018. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета. 2018. С. 311–317.
151. **Шипкова (Нестерук) Г.В.**, Минкина Т.М., Федоров Ю.А. Особенности накопления тяжелых металлов в почвах и растениях ландшафтов верховых болот Псковской области // Биогеохимия химических элементов и соединений в природных средах. Материалы II Международной школы-семинара молодых исследователей / ред. В.А. Боев, А.И. Сысо, В.Ю. Хорошавин. Тюмень: Изд-во Тюменского государственного университета. 2016. С. 315–318.
152. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И., Герасимова М.И. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Изд-во Ойкумена. 2004. 342 с.
153. Яблоков М.С. Орнитофауна верховых болот Псковской области // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3. Биология. 2007. № 3. С. 3–10.
154. Яблоков М.С., Васильев С.Н. Птицы среднего течения реки Шелони // Русский орнитологический журнал. 2006. Т.15, №315. С. 327–337.
155. Alford D.P., Delaune R.D., Lindau C.W. Methane flux from Mississippi river deltaic plainwetlands // Biogeochemistry. 1997. Vol. 37. PP. 227–236.
156. Alkhamis T.M., El-Khazali R., Kablan M.M., Alhusein M.A. Heating of a biogas reactor using a solar energy system with temperature control unit // Solar Energy. 2000. V.69, No3. P. 239–247.
157. Aselmann I., Crutzen P.J. Global distribution of natural freshwater wetlands and rice paddies, their net primary productivity, seasonality and possible methane emissions // Journal of Atmospheric Chemistry. 1989, V.8. PP. 307–358.
158. Asensio V., Forjran R., Vega F.A., Covelo E.F. Nickel, Lead and Zinc sorption in a reclaimed settling pond soil. Pedosphere. 2016. No 26(1). PP. 39–48.

159. Bayley S.E., Schindler D.W., Parker B.R. et al. Effect of forest fire and drought on the acidity of a basepoor boreal forest stream: similarities between climatic warming and acidic precipitation // *Biogeochemistry*. 1997. V. 17. P. 191–204.
160. Bergman I., Lundberg P., Nilsson M. Microbial carbon mineralization in an acid surface peat: effects of environmental factors in laboratory incubations // *Soil Biol. Biochem.* 1999. V.31, No. 13. P. 1867–1877.
161. Born M., Dorr H., Levin I. Methane consumption in aerated soils of the temperate zone // *Tellus*. 1990. V.42B. P. 2–8.
162. Bryk M. Macrostructure of diagnostic B horizons relative to underlying BC and C horizons in Podzols, Luvisol, Cambisol and Arenosol evaluated by image analysis. *Geoderma*. 2016. V.263. P. 86–103.
163. Castro H., Queirolo M., Quevedo M., Muxi L. Preservation methods for the storage of anaerobic sludges // *Biotechnol. Lett.* 2002. V.24, No 4. P. 329–333.
164. Chojnicki J., Kwasowski W., Piotrowski M., Oktaba L., Kondras M. Trace elements in arable Cambisols and Luvisols developed from boulder loam and fluvioglacial sands of the Skierniewicka upland (central Poland) // *Soil sci. annu.* 2015. V.66. 198–203.
165. Cloern J.E., Cole B.E., Oremland R.S. Autotrophic processes in meromictic Big Soda lake, Nevada // *Limnol. and Oceanogr.* 1983. V.28, No.6. P. 1049–1061.
166. Ciais P., Sabine C., Bala G., Bopp L., Brovkin V., Canadell J., Chhabra A., DeFries R., Galloway J., Heimann M., Jones C., Le Quéré C., Myneni R.B., Piao S., Thornton P. Carbon and other biogeochemical cycles // *Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of working group I to the 5-th assessment report of the Intergovernmental panel on climate change*. Cambridge: Cambr. Univ. Press, 2014. P. 465–570.
167. Davies J.B., Yarbrough H.F. Anaerobic oxidation of hydro-carbons by *Desulfovibrio desulfurians* // *Chem. Geol.* 1966. V.1. P.137–144.
168. Deppenmeier U., Muller V. Life close to the thermodynamic limit: how methanogenic archaea conserve energy // *Results Probl. Cell Differ.* 2008. V.45. P. 123–152.
169. Dongowski G., Lorenz A. Unsaturated oligogalacturonic acids are generated by in vitro treatment of pectin with human faecal flora // *Carbohydr. Res.* 1998. V.314, No. 3–4. P. 237–244.
170. Dörr H., Katruff L., Levin I. Soil texture parameterization of the methane uptake in aerated soils// *Chemosphere*. V.26. No. 1–4. 1993. P. 697–713.
171. Dutaur L., Verchot L.V. 2007. A global inventory of the soil CH₄ sink // *Global biogeochem. cycles*. V.21. GB4013. DOI:10.1029/2006GB002734.
172. Ekpenyong K.I., Arawo J.D.E., Arawo A., Melaiye M.M., Ekwenchi H.A., Abdullahi. Biogas production potential of unextracted, nutrient-rich elephant-grass lignocellulose // *Fuel*. 1995. V.74, P.1080–1082. [https://doi.org/10.1016/0016-2361\(95\)00057-C](https://doi.org/10.1016/0016-2361(95)00057-C).
173. Fedorov Yu.A., Gar'kusha D.N., **Shipkova (Nesteruk) G.V.** Methane emission from peat deposits of raised bogs in Pskov oblast // *Geography and Natural Resources*. 2015. V.36. No. 1. P. 70–78. DOI: 10.1134/S1875372815010102.
174. Fedorov Yu.A., Zimovec A.A. About the principal sources of heavy metals in the Northern Dvina river estuary // 11th International multidisciplinary scientific GeoConference & EXPO «Modern management of mine producing, geology and environmental protection». Albena, Bulgaria: STEF92 Technology Ltd. Publishing, 2011. P. 171–174.
175. Figura L.O., Commenga H.K. Methan in wasser der Riddashänsner Teiche. // *Braunsch. naturkdl. schr.* 3, Heft 2. Braudschweig. 1989. P. 507–516.
176. Finkelstein M., de Bruin R.P., Weber J.L., Dodson J.B. Buried hydrocarbons: a resource for biogenic methane generation // *World Oil*. 2005. V.226, No. 8. P. 64–67.
177. Filidei S., Masciandaro G., Ceccanti B. Anaerobic digestion of olive oil mill effluents: evaluation of wastewater organic load and phytotoxicity reduction // *Water, Air, Soil Pollut.* 2003. V.145, No. 1–4. P. 79–94.
178. Francese A.P., Aboagye-Mathiesen G., Olesen T., Cordoba P.R., Sineriz F. Feeding approaches for biogas production from animal wastes and industrial effluents // *World J. Microbiol. Biotechnol.* - 2000. V.16, No. 2. P. 147–150.

179. Fung I., John J., Lerner J., Matthews E., Prather M., Steele L.P., Fraser P.J. Three-dimensional model synthesis of the global methane cycle // *Journal of Geophysical Research*. 1991. V.96. No. D7. P. 13033–13065.
180. Codina J.C., Muñoz M.A., Cazorla F.M., Perez-Garcia A., Morínigo M.A., de Vicente A. The inhibition of methanogenic activity from anaerobic domestic sludges as a simple toxicity bioassay // *Water Res.* 1998. V.32, No. 4. P. 1338–1342.
181. Huttunen J.T., Nykänen H., Martikainen P.J., Nieminen M. Fluxes of nitrous oxide and methane from drained peatlands following forest clear-felling in southern Finland // *Plant Soil*. 2003. V.255. P. 457–462.
182. Ince B.K., Ince O., Oz N.A. Changes in acetoclastic methanogenic activity and microbial composition in an upflow anaerobic filter // *Water, Air, Soil Pollut.* 2003. V.144, No. 1. P. 301–315.
183. IUSS Working Group. WRB World reference base for soil resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO. Rome. 2015.
184. Jacinthe P.A., Lal R. Nitrogen fertilization of wheat residue affecting nitrous oxide and methane emission from a central Ohio Luvisol // *Biol Fertil Soils*. 2003. V.37. P.338–347. DOI 10.1007/s00374-003-0607-4.
185. Jirků V., Kodešová R., Nikodem A., Mühlhanslová M., Žigová A. Temporal variability of structure and hydraulic properties of topsoil of three soil types // *Geoderma*, 2013. V. 204–205. P.43–58.
186. Kierczak J., Pędziwiatr A., Waroszewski J., Modelska M. Mobility of Ni, Cr, and Co in serpentine soils derived on various ultrabasic bedrocks under temperate climate. *Geoderma*. 2016. No. 268. P. 78–91.
187. Kutzbach L., Wagner D., Pfeiffer E.-M. Effect of microrelief and vegetation on methane emission from wet polygonal tundra, Lena Delta, Northern Siberia // *Biogeochemistry*. 2004. No. 69. P.341–362.
188. Lamontagne R.A., Swinnerton J.W., Linnenbom V.J., Smith W.D. Methane concentrations in various marine environments // *J. Geophys. Res.* 1973. V. 78, No. 24, P. 5317–5324.
189. Lokshina L.Ja., Vavilin V.A. Kinetic analysis of the key stages of low temperature methanogenesis // *Ecol. Model.* 1999. V.117, No. 2–3. P. 285–303.
190. Maksyutov S., Glagolev M., Kleptsova I., Sabrekov A., Peregon A., Machida T. Methane emissions from the West Siberian wetlands // *American Geophysical Union, Fall Meeting, 2010* , abstract #GC41D-02.
191. Matthews E., Fung I. Methane emission from natural wetlands: global distribution, area, and environmental characteristics of sources // *Global Biogeochemical Cycles*. 1987. V.1, No.1. P. 61–86.
192. McHugh S., Carton M., O'Flaherty V., Mahony T. Methanogenic population structure in a variety of anaerobic bioreactors // *FEMS Microbiol. Lett.* 2003. V. 219, No. 2. P. 297–304.
193. Mikkilä C., Sundh I., Svensson B.H. et al. Diurnal variation in methane emission in relation to the water table, soil temperature, climate and vegetation cover in a Swedish acid mire // *Biogeochemistry*. 1995. V. 28. P. 93–114.
194. Minkina T.M., Miroshnichenko N.N., Fateev A.I., Motuzova G.V., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Biryukova O.A. Natural and anthropogenic microelement background in ordinary chernozems of the Azov and lower Don regions // *American Journal of agricultural and biological sciences*. 2015. V. 10(3). P. 111–115. DOI: 10.3844/ajabssp.2015.111.115.
195. Minkinen, K., Korhonen, R., Savolainen, T., Laine, J., Carbon balance and radiative forcing of Finnish peatlands 1900–2100—the impact of forestry drainage. *Global Change Biology*. 2002. V.8. P. 785–799.
196. Moiseenko T.I., Gashkina N.A., Dinu M.I., Kremleva T.A., Khoroshavin V.Yu. Aquatic geochemistry of small lakes: effects of environment changes // *Geochemistry International*. 2013. V. 51. No. 13. P. 1031–1148.
197. Moiseenko T.I., Gashkina N.A., Horoshavin V.Y. Prediction of possible climate warming impacts on land water chemistry // *Doklady Earth Sciences*. 2011. T. 441. No. 2. PP. 1688–1691.
198. Mosekiemang T., Dikinya O., Toteng E. Sorption of heavy metals by Ferralic-Arenosol and Vertic-Luvisol: a comparative isothermal study // *Environment and Pollution (Published by Canadian Center of Science and Education)*. 2014. V.3, No. 2. P. 23–35. ISSN 1927-0909 E-ISSN 1927-0917. doi:10.5539/ep.v3n2p23 URL: <http://dx.doi.org/10.5539/ep.v3n2p23>

199. Nakano T., Inoue G., Maksyutov S., Sorokin M. Automatic measurements of methane flux in West Siberian wetlands in 1997 summer // Proceedings of the Seventh Symposium on the Joint Siberian permafrost studies between Japan and Russia in 1998. Tsukuba: Isebu. 1998. P. 211–215.
200. Nesbitt H.W., Young G.M. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*. 1982. V. 299. P. 715–717.
201. Panikov N.S., Glagolev M.V., Kravchenko I.K., Mastepanov M.A., Kosych N.P., Mironycheva-Tokareva N.P., Naumov A.V., Inoue G., Maxutov S. Variability of methane emission from West-Siberian wetlands as related to vegetation type // *J. Ecol. Chem.* 1997. V. 6. No. 1. P. 59–67.
202. Peltola O., Mammarella I., Haapanala S., Burba G., Vesala T. Field intercomparison of four methane gas analyzers suitable for eddy covariance flux measurements, *Biogeosciences*. 2013. V. 10. P. 3749–3765. doi:10.5194/bg-10-3749-2013.
203. Pender S., Toomey M., Carton M., Eardly D., Patching J.W., Colleran E., O'Flaherty V. Long-term effects of operating temperature and sulphate addition on the methanogenic community structure of anaerobic hybrid reactors // *Water Res.* 2004. V. 38, No. 3. P. 619–630.
204. Retallack G.J. *Soils of the past: an introduction to paleopedology* (2nd ed.). Oxford: Blackwell. 2001. 600 p.
205. Rinne J., Riutta T., Pihlatie M., Aurela M., Haapanala S., Tuovinen J-P., Tuittila E-S., Vesala T. Annual cycle of methane emission from a boreal fen measured by the eddy covariance technique. *Tellus*. 2007. 59(3). P. 449–457.
206. Rozanov A.B. Methane emission from forest and agricultural land in Russia. WP-95-31. Laxenburg, Austria: International institute for applied systems analysis. 1995. 73 p.
207. Sambo A.S., Garba B., Danshehu B.G. Effect of some operating parameters on biogas production rate // *Renewable Energy*. 1995. V. 6, No. 3. P. 343–344.
208. Schober G., Schäfer J., Schmid-Staiger U., Trosch W. One and two-stage digestion of solid organic waste // *Water Res.* 1999. V. 33, No. 3. P. 854–860.
209. Shima S., Warkentin E., Thauer R.K., Ermler U. Structure and function of enzymes involved in the methanogenic pathway utilizing carbon dioxide and molecular hydrogen // *J. Biosci. Bioeng.* - 2002. V. 93, No. 6. P. 519–530.
210. **Shipkova (Nesteruk) G.V.**, Minkina T.M., Fedorov Yu.A., Goncharova L.Yu., Sherstnev A.K., Mandzhieva S.S. Accumulation and distribution features of micro- and macroelements in Luvisols of plain and mountainous regions // *Journal of Geochemical Exploration*. 2018. Vol. 184, Part B. P. 394–399. doi: [10.1016/j.gexplo.2016.09.004](https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.09.004).
211. Slobodkin A.I., Panikov N.S., Zavarzin G.A. Microorganism methane formation and consumption in tundra and middle taiga bogs // *Mikrobiologiya*. 1993. V.61. P. 486–493.
212. Succow M., Joosten H. *Landschaftsökologische Moorkunde* / Aufl.–Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlag-Buchhandlung, 2001. V.XI. 622 P.
213. Świtonik M., Mroczek P., Bednarek R. Luvisols or Cambisols? Micromorphological study of soil truncation in young morainic landscapes – case study: Brodnica and Chełmno lake districts (North Poland) // *Catena*. 2016. V. 137. P. 583–595. DOI:10.1016/j.catena.2014.09.005.
214. Towett E.K., Shepherd K.D., Tondoh J.E., Winowiecki L.A., Lulseged T. Total elemental composition of soils in Sub-Saharan Africa and relationship with soil forming factors // *Geoderma Regional*. 2015. V. 5. P. 157–168. <http://www.ugrasu.ru/uploads/files/Klepzova.pdf> (дата обращения: 15.11.2011).
215. Van Laar H., Tamminga S., Williams B.A., Verstegen M.W.A. Fermentation of the endosperm cell walls of monocotyledon and dicotyledon plant species by faecal microbes from pigs. The relationship between cell wall characteristics and fermentability // *Anim. Feed Sci. Technol.* 2000. V. 88, No. 1-2. P. 13–30.
216. Waroszewski J., Sprafke T., Kabala C., Muszytyfaga E., Łabaz B., Woźniczka P. Aeolian silt contribution to soils on mountain slopes (Mt. Ślęza, Southwest Poland) // *Quat. Res.* 2017. V. 1. P. 1–16. doi.org/10.1017/qua.2017.76.
217. Winfrey M.R., Zeikus I.G. Effect of sulphate on carbon and electron flow during microbial methanogenesis in freshwater sediments // *Appl. Environ. Microbiol.* 1977. V.22. No. 2. P. 275–281.

218. Wójcikowska-Kapusta A., Niemczuk B. Copper speciation in different-type soil profiles // *Journal of Elementology*. 2009. Vol. 14. No. 4. P. 815–824. DOI: 10.5601/jelem.2009.14.4.815-824.
219. Zehnder A.I.B., Brock T.D. Anaerobic methane oxidation: occurrence and ecology // *Appl. Environ. Microbiol.* 1980. V.39, № 1. P.194–204.
220. Zelenev V.V. Assessment of the Average Annual Methane Flux from the Soils of Russia. WP-96-51. Laxenburg, Austria: International Institute for Applied Systems Analysis. 1996.
221. Zhu X., Zhuang Q., Qin Z., Glagolev M., Song L. Estimating wetland methane emissions from the northern high latitudes from 1990 to 2009 using artificial neural networks // *Global Biogeochemical Cycles*. 2013. V.27. Iss.2. P. 592–604. DOI: 10.1002/gbc.20052.
222. Zupancic G.D., Ros M. Heat and energy requirements in the thermophilic anaerobic sludge digestion // *Renewable Energy*. 2003. V. 28, No. 14. P. 2255–2267.
- Интернет-ресурсы:
223. fesk.ru
224. polistovsky.ru
225. rdeysky.org
226. rp5.ru