

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Федеральный исследовательский центр
комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лавёрова
Уральского отделения Российской академии наук
(ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН)

На правах рукописи

Чибисова Валерия Геннадьевна

**ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ, АТМОСФЕРНОГО ПЕРЕНОСА И
ОСУШЕНИЯ НА СВОЙСТВА ТОРФА ЮГО-ВОСТОЧНОГО ПРИБЕЛОМОРЬЯ**

Специальность 1.6.21 – Геоэкология

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Научный руководитель:
кандидат географических наук,
директор Северо-Западного отделения
Института океанологии
им. П.П. Ширшова РАН
Котова Е.И.

Архангельск – 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

СОКРАЩЕНИЯ.....	4
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА.....	11
1.1 Торфяные ресурсы России и района исследований.....	11
1.2 Сущность процесса торфообразования.....	15
1.3 Основные свойства торфа.....	16
1.4 Применение и комплексная переработка торфа.....	21
1.5 Разработанность темы исследования.....	26
2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	29
2.1 Географическое положение и природные условия района исследований.....	29
2.2 Характеристика и выбор объектов исследования.....	31
2.3 Методы исследования.....	42
2.3.1 Предварительный этап.....	42
2.3.2 Отбор и подготовка проб торфа.....	42
2.3.3 Определение степени разложения и ботанического состава торфа.....	42
2.3.4 Определение влажности и зольности торфа.....	42
2.3.5 Определение группового химического состава органической части торфа.....	43
2.3.6 Определение агрохимических свойств торфа.....	50
2.3.7 Определение металлов и мышьяка в торфе.....	50
2.3.8 Влияние атмосферного переноса на загрязненность болот.....	50
2.3.9 Статистическая обработка результатов.....	53
3 ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ТОРФА.....	54
3.1 Природные условия формирования торфяных отложений.....	54
3.2 Влияние природных условий на свойства торфа.....	58

3.3 Антропогенное воздействие.....	68
3.3.1 Атмосферный перенос как источник поступления загрязнения.....	68
3.3.2 Металлы и мышьяк в торфе.....	83
3.3.3 Влияние осушения на свойства торфа.....	88
4 ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ.....	97
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	99
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	102
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	121

СОКРАЩЕНИЯ

ИБ – Иласское болото

ТБ – Трофимовское болото

БМ – болото Большой Мох

СВ – сухое вещество

ОВ – органическое вещество

ВРВ – водорастворимые вещества

Б – битумы

БПП – биополимеры гумусовой природы

ГК – гуминовые кислоты

ФК – фульвовые кислоты

ЛГВ – легкогидролизуемые вещества

ТГВ – трудногидролизуемые вещества

Л – лигнин

ПОР – пористость (фильтра)

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. Торфяные болота занимают обширные пространства земной поверхности и значительно вовлечены в процессы круговорота вещества и энергии. Они являются источниками пресной воды, связывают один из основных парниковых газов – диоксид углерода, извлекая его из глобального цикла и консервируя в торфяных отложениях, и в то же время выделяют другой парниковый газ – метан. Соотношение между поглощением диоксида углерода и потоком метана определяет вклад болот в глобальное потепление климата (Торфяные болота России..., 2001). В настоящее время в нашей стране развивается система карбоновых полигонов – испытательных площадок для исследования эмиссии и поглощения парниковых газов, оборудованных, в том числе, на торфяных болотах (Ширяев и др., 2021). Несмотря на мировую тенденцию к смене традиционных источников энергии на альтернативные безуглеродные источники, хочется отметить, что полное исключение торфяных болот из сферы хозяйственной деятельности человека маловероятно ввиду большого масштаба распространения торфяных болот во многих регионах мира, в том числе на северных территориях нашей страны.

В России находится свыше 40 % мировых запасов торфа, при этом распространение торфяных болот весьма неравномерно. Так, комплекс природных условий на территории Прибеломорья способствует активному процессу заболачивания и аккумуляции торфа – заболоченные земли и торфяные болота занимают около трети этой территории, причем более 70 % приходится на болота с торфяной залежью более 30 см. Кроме того, данный район частично входит в Арктическую зону России, которая на государственном уровне напрямую связана с планами интенсивного освоения Северных территорий страны.

Торф – уникальный возобновляемый природный ресурс, который может быть использован не только в таких широко распространенных направлениях, как сельское хозяйство и энергетика, но и как источник ценных биологически активных соединений. Современные тенденции развития экономики побуждают использовать природные ресурсы разумно и экономно, согласно концепции устойчивого развития. Достижение задач этой концепции возможно при рациональном использовании, охране и управлении ресурсами. Для торфяных болот, ввиду их глобальной роли в поддержании природных

процессов, это особенно важно. Поэтому вовлечение торфяных отложений в хозяйственную деятельность должно осуществляться при комплексном подходе, с учетом специфических свойств торфа и факторов, природных и антропогенных, которые на них влияют. Это позволит оценить особенности сырья той или иной территории и предложить наиболее выгодные и рациональные варианты его переработки, охраны или управления.

Объекты исследования – торфяные болота юго-восточного Прибеломорья (в пределах Арктической зоны России).

Предмет исследования – групповой химический состав органической части торфа, физико-химические и агрохимические свойства торфа юго-восточного и Прибеломорья (в пределах Арктической зоны России).

Цель исследования. Комплексное изучение влияния природных условий, атмосферного переноса антропогенных примесей и осушения на химический состав органической части торфа, физико-химические и агрохимические свойства торфа юго-восточного Прибеломорья (в пределах Арктической зоны России).

Задачи исследования:

1. Изучить природные условия, влияющие на свойства торфа. С учетом полученной информации выбрать репрезентативные торфяные болота на территории юго-восточного Прибеломорья, расположенные в различных природных условиях;

2. Изучить влияние природных условий на групповой химический состав органической части торфа, физико-химические и агрохимические свойства торфа исследуемых объектов;

3. Определить потенциальные источники загрязнений болот конкретными антропогенными примесями с учетом атмосферного переноса (путем модельной оценки), а также содержание примесей непосредственно в торфе;

4. Оценить влияние осушения на групповой химический состав органической части торфа, физико-химические и агрохимические свойства торфа;

5. С учетом полученных результатов предложить рекомендации по переработке и рациональному использованию торфа юго-восточного Прибеломорья.

Научная новизна. Проведен сравнительный анализ свойств торфа болот, расположенных в нижнем течении трех крупных рек (Онега, Северная Двина, Мезень) водосбора Белого моря, причем для Трофимовского болота и болота Большой Мох

такой комплекс исследований выполнен впервые. Выявлены достоверные отличия в ряде свойств торфа, сформированного под действием различных природных условий и разного уровня антропогенной нагрузки. Определены особенности воздействия атмосферного переноса примесей с отдаленных территорий, установлены потенциальные регионы-источники загрязнения. Выявлено влияние осушения на физико-химические, агрохимические свойства и групповой химический состав торфа.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в том, что получены и опубликованы новые данные об особенностях атмосферного переноса и аккумуляции в торфе северных территорий России антропогенных примесей, сведения о групповом химическом составе органической части торфа, а также влиянии осушения на агрохимические, физико-химические свойства торфа и его групповой химический состав. Эти данные могут быть использованы для дальнейшего изучения торфа северных территорий России и его отклика на природные и антропогенные воздействия. На практике результаты работы были применены для научного мониторинга торфяных болот Архангельской области в лаборатории болотных экосистем ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН (данные вошли в отчеты ФНИР за 2021 и 2022 гг.), а также для подготовки сообщений по вопросам переработки торфа Архангельской области в Министерстве природных ресурсов. Работа может быть полезна при разработке программ экологического мониторинга за состоянием водно-болотных объектов и других природных экосистем, для подготовки специалистов в высшей школе по направлениям «Науки о Земле», «География и гидрометеорология», а также при разработке торфяных месторождений с последующим получением торфяной продукции.

Методология и методы исследования. Для решения поставленных задач в работе применяли как общепринятые, так и новые методы. Отбор и подготовка проб торфа (послойное бурение торфяным буром, сушка на воздухе и фракционирование на сите с диаметром отверстий 2 мм), а также анализ основных характеристик торфа (степень разложения, ботанический состав, влажность и зольность) проводили стандартными методами – степень разложения и ботанический состав микроскопическим методом, а влажность и зольность – сушкой при 105 °С и 800 °С, соответственно. Для изучения группового химического состава органической части торфа применяли аттестованную в лаборатории болотных экосистем ФГБУН ФИЦКИА

УрО РАН уникальную методику по измерению химического состава торфа гравиметрическим методом. Агрехимические свойства торфа (кислотность, количество минеральных компонентов) определяли общепринятыми в агрохимии лабораторными химическими и физико-химическими методами (колориметрия и фотоколориметрия, титрование, измерение рН-метром). Атмосферный перенос антропогенных примесей на исследуемые объекты изучали с помощью метода статистики обратных траекторий, усовершенствованного в Институте физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН Виноградовой А.А. (Виноградова, 2014), с применением модели HYSPLIT, доступной на сайте лаборатории атмосферных исследований NOAA (<https://www.arl.noaa.gov/hysplit/>). Определение содержание элементов хрома (Cr), кобальта (Co), меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb), кадмия (Cd), никеля (Ni), ртути (Hg) и мышьяка (As) в торфе проводили стандартными физико-химическими методами анализа (атомно-абсорбционный, атомно-эмиссионный и фотометрический методы). Обработку результатов экспериментов проводили методами математической статистики с применением программ MicrosoftExcel и Statistica 13. Достоверность полученных результатов подтверждали методами непараметрической статистики (критерии Манна-Уитни и Краскела-Уоллеса).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Определено, что торф болота Большой Мох по сравнению с торфом Иласского и Трофимовского болот обладает наименьшей кислотностью, наибольшей зольностью и степенью разложения, а также содержит наибольшее количество азота, фосфора, калия, обменного кальция, подвижных форм железа, битумов и гуминовых кислот. Эти отличия связаны с комплексом природных условий формирования торфа;

2. Основными поллютантами для исследуемых болот являются цинк, хром, медь и никель, концентрации которых не превышают ОДК для кислых почв. Основным фактором, определяющим содержание этих элементов, следует считать воздействие атмосферного переноса. Наибольшего воздействия атмосферного переноса примесей с отдаленных территорий на исследуемые объекты следует ожидать в зимний период, что связано с сезонными особенностями изменения метеорологических факторов, таких как скорость осаждения примесей и циркуляция воздушных масс. Основными регионами-источниками металлов являются: Мурманская область, Республика Карелия, Новгородская область, Республика Татарстан и Пермский край.

3. По мере осушения торфа происходит увеличение кислотности, а также содержания фосфора (в 3 раза), калия (в 2,5 раза) и обменных катионов магния (в среднем в 2 раза). В нижних горизонтах осушенного торфа происходит увеличение содержания битумов и гуминовых кислот (в среднем в 1,5 раза), что обусловлено различным ботаническим составом и степенью разложения.

Степень достоверности и апробация результатов. Экспериментальная работа выполнена на реальном объекте с использованием современных аккредитованных методик и применением математической и статистической обработки данных. Основные результаты исследования были представлены на 5 конференциях международного уровня и 1 всероссийской конференции: Международная научная конференции «Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению», (23-31 октября 2020 г., г. Санкт-Петербург); IV Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Экология и управление и природопользованием. Экологическая безопасность территорий (проблемы и пути решения)», (27 ноября 2020, г. Томск); Международная конференция «vEGU General Assembly», (19 –30 апреля 2021 г., г. Вена); Международный полевой симпозиум «Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее», (28 июня-7 июля 2021 г., г. Ханты-Мансийск); Четвертая международная научная конференция «Торфяные болота Сибири: функционирование, ресурсы, восстановление», (1-8 октября 2021 г., г. Томск); III Международная молодежная научно-практическая конференция «Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию», (26-28 апреля 2022 г., г. Архангельск).

Диссертационная работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 20-35-90037 «Влияние геоэкологических факторов на свойства торфяных отложений Архангельской области (в пределах Арктической зоны)» и в рамках темы ФНИР лаборатории болотных экосистем №АААА-А18-118012390224-1.

По теме диссертации опубликовано 10 научных работ, в том числе в журналах из списка ВАК – 3 публикации; в изданиях, рецензируемых в базах данных Web of Science и Scopus – 1 публикация; в других изданиях – 6 публикаций.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в отборах образцов торфа, полевых выездах и выступал организатором экспедиции в Мезенский район. В рамках экспериментальной работы выполнена пробоподготовка, анализ

образцов торфа на влажность, зольность и групповой химический состав. Автором проведен обзор литературных и фондовых источников, рассчитан вклад атмосферного переноса в загрязнение исследуемых объектов, проведена статистическая обработка полученных результатов, сформулированы выводы и практические рекомендации.

Соответствие диссертации паспорту специальности. В работе изучаются основные свойства торфа как природного сырья и их изменение под действием природных и антропогенных воздействий с целью более выгодного, рационального использования торфяных ресурсов. Кроме того, в исследовании применен метод модельной оценки поступления антропогенных примесей на территорию исследуемых объектов путем атмосферного переноса, который может быть использован и для других природных систем. Таким образом, работа соответствует паспорту специальности 1.6.21 – Геоэкология по направлениям исследований: п. 2 – Изучение изменений жизнеобеспечивающих ресурсов геосферных оболочек Земли под влиянием природных и техногенных факторов, их охрана, рациональное использование и контроль; п. 5 – Природная среда и индикаторы ее изменения под влиянием естественных природных процессов и хозяйственной деятельности человека; п. 6 – Разработка научных основ рационального использования и охраны водных, воздушных, земельных, биологических, рекреационных, минеральных и энергетических ресурсов Земли; п. 16 – Моделирование геоэкологических процессов и последствий хозяйственной деятельности для природных комплексов и их отдельных компонентов.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 122 страницах машинописного текста, включает введение, 4 главы, заключение и список литературы (180 источников). Текст содержит 16 таблиц, 26 рисунков, 1 приложение.

Благодарности. Автор выражает благодарность научному руководителю, к.г.н. Котовой Екатерине Ильиничне и заведующей лабораторией болотных экосистем ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН, к.т.н. Селяниной Светлане Борисовне за всестороннюю помощь и поддержку на протяжении всего периода исследований. Сотрудникам лаборатории болотных экосистем к.х.н. Зубову И.Н., Орлову А.С., к.с.-х.н. Пономаревой Т.И., Ярыгиной О.Н., Штанг А.К. за помощь в сборе и обработке материалов по теме исследования.

1 СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

1.1 Торфяные ресурсы России и района исследований

Территория юго-восточного Прибеломорья включает в себя Онежский полуостров, Двинский залив Белого моря и Беломорско-Кулойское плато. С запада территория ограничена Онежским заливом Белого моря, с востока – устьем и долиной реки Мезень. С севера его омывают воды Белого моря, с юга территория ограничена низовьями р. Северной Двины и отрезком долины р. Пинеги (Зарецкая и др., 2022). Если рассматривать район исследования с точки зрения административных единиц, то данная территория находится в пределах трех муниципальных районов Архангельской области – Онежского, Приморского и Мезенского.

На территории Российской Федерации находится свыше 40 % мировых запасов торфа (Косов и др., 2007). Торфяные ресурсы выявлены и разведаны в 67 субъектах страны. Балансовые запасы сырья категорий А+В+С₁ по состоянию на 01.01.2021 г. составляют 18,6 млрд. т, категории С₂ – 11,9 млрд. т, забалансовые запасы – 7,7 млрд. т. (Государственный баланс запасов..., 2021).

Запасы торфа на территории страны по федеральным округам и субъектам Российской Федерации размещены неравномерно, что объясняется не столько фактическим расположением торфяных ресурсов, сколько степенью их изученности. Наибольшее количество балансовых запасов торфа категорий А+В+С₁ – 6,4 млрд. т, что составляет 34,4 % от запасов России, разведано в Северо-Западном федеральном округе. При этом почти половину из них – 3,1 млрд. т (16,8 % от запасов России) – составляют балансовые запасы торфа Вологодской области. По количеству забалансовых запасов выделяются Северо-Западный (2,3 млрд. т), Центральный (1,83 млрд. т) и Приволжский (1,2 млрд. т) федеральные округа, что связано с наличием на их территории значительного количества мелкозалежных, охраняемых (в естественном состоянии) и малоконтурных (площадь до 10 га) месторождений.

В настоящее время добыча торфа ведется в большинстве субъектов Центрального, Северо-Западного, Приволжского и Уральского федеральных округов и отдельных областях Сибирского и Дальневосточного округов. Добыча торфа по России в 2020 году составила 1 622 тыс. т – на 26 % больше, чем в 2019 г. (Государственный баланс

запасов..., 2021). Данные о размещении запасов и добычи торфа по федеральным округам и субъектам Российской Федерации представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Размещение запасов и добыча торфа в России, тыс. т (Государственный баланс запасов..., 2021)

Федеральный округ	Кол-во месторождений	Площадь, га	Балансовые запасы А+В+С ₁ на 01.01.2021		С ₂	Добыча за 2020 год	
			Всего	% от запасов России		Всего	% от добычи по России
Россия	21406	10346120,3	18669664	100	11 927 769	1 622	100
Центральный	7259	976412,5	1946686	10,4	209538	399	24,6
Северо-Западный	5778	2591802,0	6418328	34,4	1347944	464	28,6
Южный	21	640,7	–	–	922	–	–
Приволжский	5173	592226,6	1031169	5,5	81527	431	26,6
Уральский	1602	2298093,8	3707005	19,9	3645267	269	16,6
Сибирский	1099	3207904,9	5067201	27,1	5265217	13	0,8
Дальневосточный	474	679039,8	499275	2,7	1296354	46	2,8

Среди регионов Северо-Западного федерального округа Архангельская область занимает четвертое место по количеству торфяных месторождений после Псковской, Вологодской и Новгородской областей и второе место после Вологодской области – по площади месторождений (таблица 2). Кроме того, Архангельская область является одним из немногих регионов России и Европы, где преобладают торфяные месторождения в естественном состоянии. По данным Росгеолфонда (Государственный баланс запасов..., 2021), на 01.01.2021 г. на территории Архангельской области учтено 784 месторождения торфа.

Таблица 2 – Размещение запасов и добыча торфа в Северо-Западном федеральном округе, тыс. т (Государственный баланс запасов..., 2021)

Субъект Российской Федерации	Кол-во месторождений	Площадь, га	Балансовые запасы А+В+С ₁ на 01.01.2021		С ₂	Добыча за 2020 год	
			Всего	% от запасов России		Всего	% от добычи по России
Мурманская область	63	6234,0	9886	0,1	2244	3	0,2
Ненецкий автономный округ	2	577,0	360	< 0,1	–	1	0,1
Республика Карелия	400	227894,0	254582	1,4	302614	53	3,3

Продолжение таблицы 2

Архангельская область	784	298989,0	467289	2,5	250769	–	–
Республика Коми	463	243381,0	357682	1,9	304011	5	0,3
Вологодская область	1076	919357,0	3127776	16,8	138120	5	0,3
Город Санкт-Петербург	15	844,8	–	–	–	–	–
Ленинградская область	766	312798,2	838509	4,5	128727	104	6,4
Псковская область	1271	297681,0	690285	3,7	68107	124	7,6
Новгородская область	820	258008,0	597306	3,2	147422	46	2,8
Калининградская область	118	26038,0	74653	0,4	5930	123	7,6

Размещение торфяных болот в Архангельской области неравномерно. Наибольшую территорию (40-50 %) болота занимают в нижнем и среднем бассейне реки Мезени и ее притока – реки Пезы, в бассейне реки Илексы и в междуречье реки Ваги и Северной Двины. В ложбине озер Лача и Воже, на Онежском полуострове, Вычегодской низменности, в ложбине реки Моши болота занимают 20-40 % территории. И, наконец, наименьшей заболоченностью характеризуется водораздел Северной Двины и верхнего бассейна реки Пинеги, Коношо-Няндомская возвышенность, Устьянское плато (до 10 %) (Соколов, Ивко, 2000). В схеме районирования торфяного фонда России Архангельская область отнесена к поясу интенсивного торфонакопления и торфяному бассейну (рисунок 1).

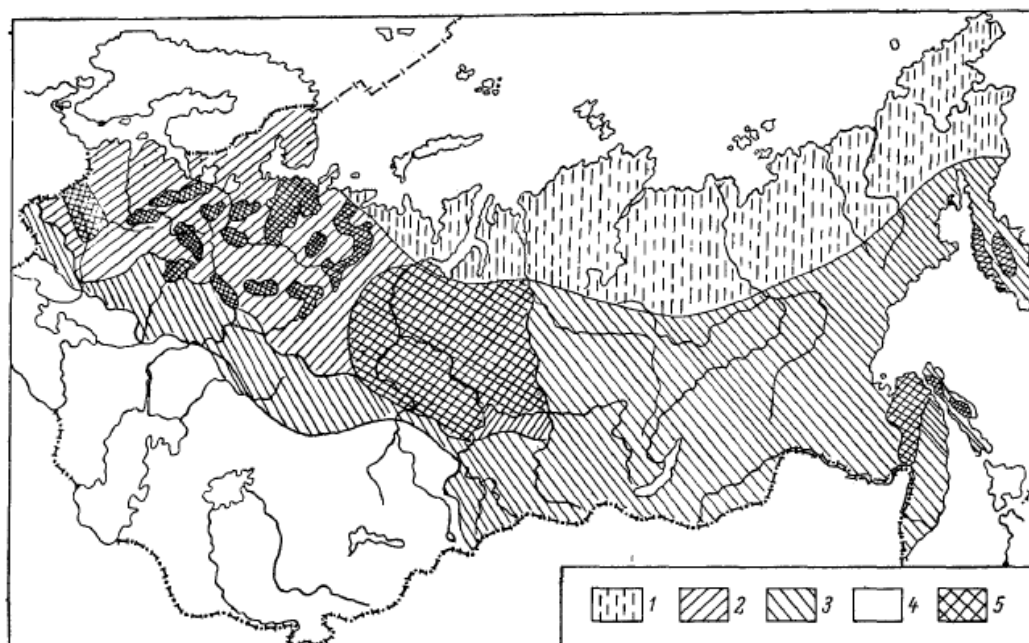


Рисунок 1 – Схема районирования торфяного фонда России (Боч, Мазинг, 1979): 1 – полярный пояс торфонакопления; 2 – пояс интенсивного торфонакопления; 3 – пояс слабого торфонакопления; 4 – пояс ничтожного торфонакопления; 5 – торфяные бассейны

Согласно торфяно-болотному районированию (Тюремнов, 1976), большая часть территории Архангельской области относится к Северной торфяно-болотной области, где плоскоравнинный рельеф, неглубокое залегание уровня грунтовых вод, значительное количество осадков и пониженное испарение вызывают высокую заболоченность. По Н.Я. Кацу, территория Архангельской области относится к зоне олиготрофных торфяников таежной полосы с комплексами гряд и мочажин (Кац, 1941). Для этой зоны характерны большая мощность торфяной залежи (средняя глубина торфа в этой зоне принята 2,62 м), большая толща верхних слаборазложившихся слоев сфагнового торфа, малая или средняя пнистость.

В области распространены все типы болот (низинные, переходные и верховые), однако, основными в зональном распространении являются выпуклые олиготрофные (верховые) торфяники атмосферного типа питания, и свыше 65 % запасов торфа сосредоточены в залежах верхового типа. Ввиду больших запасов и наличия всех категорий сырья Архангельская область может быть потенциальным производителем продукции из торфа. Несмотря на это, исторически область не имеет опыта комплексной переработки торфа. Традиционно торфяные ресурсы региона использовались преимущественно для нужд сельского хозяйства и, ограниченно, в энергетических

целях – в период 40-60-х годов XX века в области действовало одно торфопредприятие, добывающее фрезерный торф для сжигания на Архангельской ТЭЦ, а до 1963 г. в ограниченных объемах добывался кусковой торф (Соколов, Ивко, 2000). В настоящее время крупномасштабной добычи торфа на территории области не осуществляется. До 2002 года в регионе не существовало торфопредприятий, выпускающих товарную продукцию. С 2002 г. в Котласском районе функционировало предприятие МУП «Сольвычегодский торфобрикетный завод», который юридически прекратил свое существование в 2009 г.

1.2 Сущность процесса торфообразования

Торф – это природный органический материал, образующийся в результате неполного разложения болотных растений (кустарников, мхов, трав, лиственных и хвойных деревьев) в условиях недостатка кислорода и повышенного увлажнения. Согласно (Лиштван и др., 1989), с точки зрения физической химии торф также можно отнести к сложным многокомпонентным полидисперсным полукolloидно-высокомолекулярным системам. В состав органической части торфа входят как неспецифические вещества, не изменившие своего строения, так и специфические, образовавшиеся в результате сложных биохимических процессов в ходе торфообразования (Добровольская и др., 2013).

Торфообразование – это сложный процесс превращения растительных остатков в качественно новое природное образование. Самым важным условием накопления растительных остатков и образования торфа является скопление избыточной влаги на поверхности почвы и насыщенность водой отлагающихся растительных остатков. При этом происходят два взаимообусловленных процесса: физический распад растительных тканей и глубокое химическое изменение состава органических и органоминеральных соединений растений. Эти два явления происходят под воздействием микроорганизмов (грибов и бактерий), которые используют органический материал в качестве источника питательных веществ. Кроме питательных соединений микробам для развития жизнедеятельности необходим кислород, который они получают из воздуха. Основная масса микроорганизмов сосредоточена в поверхностном, так называемом торфогенном, слое залежи, на глубине примерно 20-30 см. Считается, что именно в этом слое происходит заложение основных технических свойств торфа. Разложение растительных остатков здесь происходит наиболее интенсивно, поскольку в поверхностные слои

почвы достаточно свободно проникает кислород, необходимый микроорганизмам. С увеличением глубины залежи происходит постепенное затухание деятельности микроорганизмов, а на больших глубинах встречается лишь ничтожное количество анаэробных бактерий, которые не нуждаются в свободном доступе воздуха, однако, их работа незначительна и не вызывает существенных изменений в свойствах торфа (Пичугин и др., 1956; Боч, Мазинг, 1979).

Большинство современных торфяников возникли в голоцене (современной геологической эпохе Земли, начавшейся примерно 10-12 тыс. лет назад), когда территория освободилась от последнего ледникового покрова, и поэтому с геологической точки зрения являются молодыми образованиями. Скорость накопления торфа отличается в зависимости от климатических условий и колеблется от 0,5 до 2,5 мм в год (Тюремнов, 1976). Согласно (Инишева и др., 2013), для Европейской территории России вертикальный прирост торфа в голоцене составляет от 0,6 до 0,9 мм в год.

1.3 Основные свойства торфа

Основными свойствами торфа, их еще можно назвать общетехническими, считаются степень разложения, зольность, влажность, химический состав, а также теплота сгорания, структура, удельный вес, выход и теплопроводность (Пичугин и др., 1956).

Степень разложения – это мера деструкции растительных остатков, процент соотношения неразложившихся частей растений и гумуса. Этот показатель отражает комплекс условий, сопутствующего процессу формирования данного горизонта торфяной залежи. Считается, что одним из определяющих степень деструкции растительных остатков факторов является химический состав растений-торфообразователей, а виды торфа, состоящие из растительных остатков одного вида, имеют постоянную степень разложения. Так, максимальная степень разложения характерна для древесного торфа и составляет 40-50 %, для травяного торфа – 30-40 %, а самая низкая (25 % и ниже) – для торфа моховой группы (Добровольская и др., 2013). Степень разложения торфа также зависит от аэрации, и, следовательно, от влажности разлагающегося материала – чем сильнее увлажнен субстрат, тем хуже аэрация и тем ниже степень разложения. Среди причин низкой деструкции торфа можно выделить содержание в органическом веществе антисептиков и биохимически устойчивых

компонентов, недостаток кислорода в залежи (слишком высокая влажность субстрата) и наличие оксиароматических соединений. К факторам, ускоряющим процесс разложения, относятся высокое содержание целлюлозы, гексозанов и азотсодержащих соединений, активных минеральных элементов и др.

В более глобальном смысле степень разложения зависит от климата, а именно температуры и влажности – чем более благоприятны эти показатели для развития микробиологической активности, тем более энергично будет протекать процесс разложения. Степень разложения имеет большое практическое значение, так как от нее зависит содержание в торфе углерода и другие важные технические свойства.

Согласно принятым категориям, при степени разложения до 20 % торф считается слабо разложившимся. Такое сырье используют в качестве подстилочного материала или для изготовления изоляционных плит. Торф со степенью разложения 30-45 % относится к среднеразложившемуся торфу и может использоваться в качестве топлива и сырья для коксования. Сильно разложившийся торф обладает степенью разложения более 45 %. Такой материал считается самым ценным сырьем для коксования и хорошим топливом (Пичугин и др., 1956). Степень разложения определяют как в полевых условиях (по структуре, цвету, количеству видимых невооруженным глазом остатков растений), так и в лаборатории при помощи микроскопа.

Зольность зависит от вида торфа и условий его образования. Как правило, наиболее высокой зольностью отличаются низинные виды торфа, поскольку образованы из остатков растений, требующих большего количества минеральных элементов для своего развития. Кроме золы, содержащейся в растениях-торфообразователях (конституционная или первичная зола), торф может содержать минеральные вещества, привнесенные извне.

Торфяная зола практически полностью состоит из макроэлементов: кремния, алюминия, железа, кальция, магния, натрия, фосфора и серы. Содержание в торфе макроэлементов во многом определяет его агрохимическую ценность. Встречаются также до 40 других элементов, содержание которых не превышает десятых процента (микроэлементов) – марганец, медь, цинк, кобальт и др. В таблице 2 представлен химический состав золы в зависимости от вида торфа.

Таблица 2 – Содержание химических элементов неорганической части торфа, % на сухое вещество (Лиштван и др., 1989)

Вид торфа	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅
Низинный	0,3-8,48	0,01-5,32	0,05-3,01	0,1-6,50	0-0,45
Переходный	0,37-8,85	0,01-3,05	0,02-1,57	0,13-4,95	0-0,39
Верховой	0,19-7,15	0-2,47	0,02-0,74	0-3,23	0-0,56

По зольности торфяные отложения классифицируют на малозольные (< 5 %), средnezольные (5-10 %) и высокозольные (> 10 %). В целом же принято считать, что зольность торфа не должна превышать 50 %. Зольность торфа определяют в лаборатории при прокаливании в муфельной печи при 800 °С (Лиштван и др., 1989). Максимальная допустимая зольность торфяного топлива определяется в 23 %, для южной половины европейской части России – 35 % (Тюремнов, 1976).

Влажность торфа – это отношение общего количества воды, содержащегося в торфе, к его общей массе торфа, выраженное в процентах. В естественном состоянии торф обладает высокой влажностью, которая колеблется в пределах 86-95 %, и это является отличительной особенностью торфа по сравнению с другими видами твердого ископаемого топлива. Влажность торфа как топлива обусловлена технологическим процессом производства. Установленная рабочая влажность для фрезерного топлива – 40 % (Тюремнов, 1976).

Различают свободную воду, наполняющую самые крупные промежутки между частицами торфа и способную стечь под действием силы тяжести, и связанную, которая не удаляется самостоятельно. К связанной воде относят капиллярную, осмотическую, химически и физически связанную воду. Капиллярная и осмотическая вода заполняет мельчайшие ультрапоры и пропитывает клеточные стенки растений, и ее удаление возможно лишь при давлении в несколько десятков атмосфер. Удаление физически и химически связанной воды происходит при нагревании торфа до температуры выше 100 °С. На долю химически и физически связанной воды, а также воды ультрапор приходится всего лишь 5 % от общего количества влаги. При этом свыше 95 % воды приходится на осмотическую, капиллярную и свободную воду (Пичугин и др., 1956). Содержание влаги в торфе определяется путем высушивания его в сушильном шкафу при температуре 105-110 °С (ГОСТ 11305-83).

Химический состав и свойства торфа во многом определяются исходным растительным материалом. Растения-торфообразователи разных видов существенно отличаются по химическому составу, поэтому логично, что различные виды торфа будут иметь отличия в свойствах. Рассмотрим групповой химический состав растений-торфообразователей (таблица 3).

Таблица 3 – Групповой химический состав растений-торфообразователей (в % на органическую массу) (Лиштван и др., 1989)

Вид растений-торфообразователей	Битумы	Водорастворимые вещества	Легко-гидролизуемые вещества	Целлюлоза	Лигнин
Сфагновые мхи	2,03	18,32	54,5	18,9	–
Травы	2,45	9,71	35,3	27,6	16,2
Кустарники	6,44	8,71	27,1	19,8	28,4
Породы деревьев:					
– лиственные	2,81	2,61	23,8	50,2	20,3
– хвойные	2,57	3,24	25,1	50,7	19,0

Сфагновые мхи – наиболее распространенные растения-торфообразователи верховых болот. В своем составе они содержат небольшое количество битумов и много соединений углеводного комплекса (водорастворимые и легкогидролизуемые вещества), а также не содержат лигнин. Химический состав различных видов сфагновых мхов сильно отличается. Кроме того, в их составе обнаружены специфические полисахариды – сфагнаны, которые, благодаря сложности структуры и наличия значительных количеств карбонильных групп и фенольных структур, с трудом поддаются разрушению микроорганизмами. С присутствием сфагнанов связывают также широко известную антимикробную активность сфагновых мхов. Именно это позволяет этим растениям долгое время сохраняться в залежи в практически неизменном состоянии и обуславливает низкую степень разложения верхового сфагнового торфа (Добровольская и др., 2013). Травянистые растения, в отличие от мхов и кустарников, содержат больше целлюлозы, которая менее устойчива при микробиологическом распаде, что приводит к образованию торфа с более высокой степенью разложения. Древесные растения существенно отличаются от мхов и трав высоким содержанием целлюлозы и лигнина. По сравнению с древесными породами, из кустарников извлекается в несколько раз больше водорастворимых веществ, а их легкогидролизуемые вещества практически полностью состоят из редуцирующих сахаров. Содержание минеральных веществ в

исходных растениях, как правило, выше, чем в торфе. Зола растений богата необходимыми для развития растения элементами – калием, магнием, фосфором и др. (Кац, 1941).

В образовании торфа участвуют не все части растений. Углеводы, пектиновые вещества и белки при торфообразовании разрушаются, образуют газообразные и растворимые в воде вещества и вымываются из торфа, и только небольшая часть продуктов распада этих соединений превращается в устойчивые гуминовые кислоты. Углеводороды, предельные кислоты жирного ряда и воски – очень устойчивые соединения, поэтому они не изменяются при торфообразовании. Непредельные кислоты жирного ряда, смолы и лигнин не разрушаются, но переходят в еще более устойчивые соединения (Кац, 1941).

Таким образом, в химическом составе торфа выделяют две части – неорганическую (минеральную) и органическую. Минеральная часть представлена зольными элементами, а органическая часть состоит из таких соединений, как гуминовые вещества, битумы, водорастворимые вещества, легко- и трудногидролизуемые вещества и негидролизуемый остаток (лигнин). Гуминовые вещества – очень важная группа веществ в торфе, которые не содержатся в исходных растениях, и состоят в основном из гуминовых и фульвовых кислот (Лиштван и др., 1989). Существует несколько методов анализа группового химического состава торфа. В России наиболее часто используют методы Института торфа Академии наук Республики Беларусь, Ефимова-Васильковой, Н.Н. Бамбалова и Г.Л. Стадникова (Лиштван, Король, 1976; Ефимов, 1986; Бамбалов, Беленькая, 1994; Бамбалов. 2020; Стадников, 1932). Методы основаны на последовательной экстракции торфа различными растворителями.

Теплота сгорания – это количество тепловой энергии, которое выделяется при сжигании единицы массы какого-либо топлива. Выражается в калориях на 1 кг. Теплотворную способность торфа обуславливают органические (углеродистые) вещества, а количество углерода в свою очередь напрямую зависит от степени разложения торфа. Таким образом, при одинаковой зольности теплота сгорания того торфа будет больше, у которого выше степень деструкции. Зависимость теплоты сгорания от зольности обратная – чем меньше в торфе золы, тем больше его теплотворная способность. Считается, что торф низкого качества имеет теплоту сгорания ниже 2500 кал, торф среднего качества имеет калорийность 2500-3500 кал, а

высокую оценку торф получает при теплоте сгорания 3500-4000 кал. (Пичугин и др., 1956).

Различные виды торфа характеризуются разными особенностями структуры, которые можно распознать под микроскопом. Важнейшие признаки, определяющие структуру торфа, это соотношение и связь между волокном, гумусом и минеральными включениями; взаимное расположение элементов торфяного волокна; пористость; размер структурных остатков, а также частиц и агрегатов гумуса. Структура торфа имеет определяющее значение для таких физико-механических свойств торфа, как водопроницаемость и влагоемкость (Пичугин и др., 1956).

Удельный вес разделяют на истинный и кажущийся (объемный). Истинный удельный вес – это вес вещества торфа, его частиц. Он находится в прямой зависимости от зольности торфа и в обратной – от степени разложения. Для каждого вида торфа он имеет более или менее постоянное значение. Кажущийся удельный вес – это вес объемной единицы торфа вместе с порами, заполненными водой или воздухом, поэтому в процессе сушки объемный вес сильно уменьшается. Объемный вес стоит в прямой зависимости от влажности и степени разложения торфа (Пичугин и др., 1956).

Выход торфа – это весовое количество торфа конечной влажности (меньшей), которое может быть получено из объемной единицы торфа с начальной (большей) влажностью. Данный показатель используют при технологической разведке торфяных месторождений. Выход воздушно-сухого торфа из естественно влажной залежи для различных торфов колеблется в пределах 100-200 кг из 1 м³. Наименьший выход дают слаборазложившийся и сильновлажный сфагновый торф, наибольший – плотный лесной торф (Пичугин и др., 1956).

Торф обладает низкой теплопроводностью. Вследствие этого промерзание и оттаивание торфяной залежи происходит медленно, что затрудняет разработку торфяных месторождений. Данное свойство торфа находит применение при производстве изоляционных материалов (Тюремнов, 1976).

1.4 Применение и комплексная переработка торфа

Торф был известен еще в 1 в. н.э. и изначально использовался в качестве топлива. В Голландии и Шотландии торф использовали с XVI века, а после его извлечения торфяная подпочва использовалась в сельскохозяйственных целях. Первая в мире книга о торфе Мартина Шока «Трактат о торфе» вышла в Голландии в 1658 году, а в 1729 г.

И. Дегнер с применением микроскопа доказал его растительное происхождение и опроверг многие неверные представления о торфе. Кроме того, именно в Голландии, начиная с XIII века, начали использовать торфяные болота в сельском хозяйстве. Торфяные почвы улучшали, обогащая их песком и минеральным грунтом. Этот метод окультуривания торфяных болот получил название «северного» и затем был распространен в Норвегии, Дании, Швеции, Финляндии и Германии, а в первой половине XIX века его начали применять в России под Петербургом и Архангельском, в конце XIX века – в Белорусском Полесье (Томсон, Наумова, 2009).

В XVII веке массовое использование торфа имело место в Швеции, Пруссии и Австрии, а к XVIII веку возможности его применения значительно расширились – торф применяли в гончарном деле, при строительстве домов, торфяным порошком обрабатывали выгребные ямы. Также известна многовековая практика применения торфа и его вытяжек в бальнеологии и физиотерапии в Германии, Чехии, Австрии. На территории Восточной Европы торф также давно был известен – восточные славяне и карелы добывали болотную руду и выплавляли из нее железо (Томсон, Наумова, 2009).

В России торф начали использовать в конце XVII века при Петре I, который изучал в Голландии торфяное дело. В 1696 г. Петр отдал приказ добывать торф в Воронеже, а годом позже – в окрестностях Азова, чтобы использовать его вместо дров. С началом функционирования в России Академии наук торф начали изучать более подробно. В частности, М.В. Ломоносов теоретически обосновал природу торфа, предпосылки его образования, описал лучшие на то время способы его извлечения из залежи. В 1766 г. одним из первых русских академиков Российской Академии наук И.Г. Леманом была опубликована книга «О торфе и о пережигании оного в уголь», которая обобщала все знания о торфе. Начиная с 1800 г., в стране началась усадебная добыча торфа. Торфоразработки возникли в Смоленской и Новгородской губерниях. В начале XIX века в России стали появляться первые устройства и машины, позволявшие снижать экономические затраты на добычу торфа. В это время кусковой торф полностью заменил дрова на кирпичных, спиртовых, сахарных, фаянсовых и стекольных заводах, им отапливали жилые помещения и другие здания. На Севере Европейской части России торфяной очес и сфагновый мох после тепловой обработки применяли как добавку в рацион крупного рогатого скота. Сфагновый торф, ввиду его способности поглощать большие количества жидкости и газообразные вещества,

использовали в качестве подстилки для домашних животных. Кроме того, были известны антисептические и теплоизоляционные свойства сфагнового мха и торфяного очеса – ими конопатили избы, утепляли простенки жилых и сельскохозяйственных построек, пересыпали овощи и фрукты, заготавливаемые для хранения и перевозки (Томсон, Наумова, 2009).

Начало строительства самостоятельных специализированных торфяных предприятий в России относится к периоду с 1865 по 1918 гг. Именно в это время торфяная отрасль отделяется как специализированная, в том числе в составе топливно-энергетического комплекса. В этот период были введены 19 торфопредприятий (в Московской (7), Ленинградской (5), Ивановской (2), Тверской (2), Нижегородской (1), Костромской (1) и Владимирской (1) областях), а также Московская электростанция на торфе – «Электропередача» (Марков, 2012).

Интенсивное развитие торфяной отрасли пришлось на период с 1919 по 1945 гг., когда был принят Декрет «О разработках торфяного топлива» от 20.04.1918 г. В это время упор был сделан на применении торфа в качестве местного топлива для электростанций. Было введено в работу еще 40 крупных предприятий. Предприятия строили в Ярославской, Нижегородской, Ивановской и других областях страны. В Свердловской области торф активно использовали для газогенераторных станций, крупных машиностроительных заводов (Уралмаш, Уралвагонзавод и пр.). До 1919 г. добывали только кусковой торф резным или машиноформовочным способами. С 1919 г. начинают возникать новые способы добычи: гидравлический, фрезерный (с 1928 г.), багерный (с 1932 г.). Торф добывали в 44 регионах страны. Торфяная отрасль играла важнейшую роль во время Великой Отечественной войны (Копенкина, 2016).

В связи с сокращением запасов торфа в годы войны, было необходимо строительство новых предприятий для обеспечения топливом действующих электростанций. Поэтому период с 1945 по 1991 годы ознаменовался строительством новых предприятий, созданием в 1965 г. Министерства топливной промышленности РСФСР, где были собраны все специализированные торфяные предприятия, полной механизацией всех основных технологических процессов на добыче кускового и фрезерного торфа. В этот период добыча торфа увеличилась с 21,5 млн. тонн в 1944 г. до 50 млн. тонн в конце 80-х годов, при этом 50 % торфа использовали в топливных целях, и 50 % – для нужд сельского хозяйства. В 70-80-х годах торфяные предприятия стали

выпускать товары на основе торфа – торфяные горшочки, грунт «Фиалка», микропарники и пр. Кроме того, из торфа получали чистый пищевой спирт и другие химические продукты (например, на Бокситогорском торфопредприятии), а также активированный уголь (Электростальский химико-механический завод) (Марков, 2012). В 1992-2011 годы торфяная промышленность теряет своих основных потребителей. Электростанции переходят на природный газ, а сельское хозяйство отказывается от торфяной продукции в связи с сокращением государственной финансовой поддержки. В 2020 году в России было добыто всего 1,6 млн. тонн торфа. Однако в настоящий момент, в связи с политикой импортозамещения, торф наиболее востребован в сельском хозяйстве, а добыча топливного торфа, наоборот, сократилась (Пешкова, Бондарь, 2020).

Схемы комплексной переработки торфа разработаны давно и общеизвестны. Ранее помимо топлива (как твердого, так и газообразного) и удобрений, из торфа получали спирт, фурфурол, кормовые дрожжи, битумы, гуминовые кислоты и другие продукты. Торф применяли в гидротехническом и дорожном строительстве (приканальные дамбы, дорожные насыпи), в строительстве зданий специального назначения (торфоизоляционные плиты и торфяные панели), в качестве упаковочного и подстилочного материала (при хранении и перевозке овощей и фруктов, в животноводстве), в медицине (вместо грязей) (Тюремнов, 1976). Возможная схема комплексной переработки для верхового торфа в условиях Архангельской области приведена на рисунке 2 (Соколов, Ивко, 2000).

Несмотря на то, что в настоящее время торф в нашей стране добывают в значительно меньших объемах, чем в советские годы, он по-прежнему востребован, в основном в качестве местного топлива и в сельском хозяйстве. Если ранее торф очень активно применяли в качестве топлива для электростанций, то на данный момент топливный торф производят в основном для отопления бытовых помещений (коммунально-бытовой торф) в виде крошки и брикетов. В России топливный торф производят такие крупные производители торфяной продукции, как АО «ВяткаТорф» в Кировской области, ООО «Велторф» в Псковской области, ООО «Мезиновское торфопредприятие» во Владимирской области и др. (Пешкова, Бондарь, 2020). Качество торфа как топлива определяется теплотой сгорания, зольностью и влажностью.



Рисунок 2 – Схема возможного комплексного использования верхового торфа (Соколов, Ивко, 2000)

Торф для нужд сельского хозяйства, огородничества и т.д. производят все крупные торфяные предприятия, а выпускаемая продукция очень разнообразна. Например, предприятия предлагают верховой торф (нейтрализованный и кислый), низинный торф, торф для выращивания грибов (производит «Вятка Торф» в Кировской области), питательные грунты и субстраты для тепличного и фермерского хозяйства («Пиндструп», «Агро Торф ЛТД», «Велторф» в Псковской области), биогрунты, минеральные и смешанные удобрения («Торфозавод Агроторф» в Ленинградской области, «Селигер Агро» в Тверской области) и т.д. Кроме того, в продаже имеется сфагновый мох («Сфагнум» в Рязанской области), который можно использовать для составления почвенных смесей и в качестве самостоятельного субстрата при выращивании цветов, проращивании семян и микрозелени, для улиток и террариумов (Пешкова, Бондарь, 2020).

Таким образом, торфообразование – это сложный процесс, зависящий от множества природных факторов, поэтому свойства торфа, сформированного под действием различных условий, будут отличаться. Район исследования обладает значительным количеством запасов торфа, которые сосредоточены в основном в залежах верхового типа. Комплексное использование верхового торфа включает его

применение не только в качестве удобрений и топлива, но и получение сорбентов, торфяного воска, биологически активных веществ и т.д.

1.5 Разработанность темы исследования

Болота водосбора Белого моря изучены неравномерно. Наиболее детально исследованы болота Карелии благодаря работе сотрудников Лаборатории болотных экосистем Карельского научного центра РАН (Торфяные..., 1959; Елина, Кузнецов, 2006; Елина и др., 1984), а на остальной территории исследования проводились в меньшем объеме.

Интерес к болотам Архангельской области как к хозяйственным объектам появился еще в начале XX века, когда в 1914 г. И. И. Беневоленским было образовано Архангельское опытное болотное поле (АБОП), коллектив которого занимался вопросами ведения сельского хозяйства на заболоченных почвах (Беневоленский, 1930). Правопреемница АБОП, Архангельская опытно-мелиоративная станция, образованная в 1946 г., стала первым научным учреждением на Севере России, проводившим изучение болот в естественных условиях и испытание разных способов мелиорации заболоченных земель (Кононов, Лагутина, 2014). В дальнейшем станция много раз трансформировалась, пока в 2015 г. не стала частью Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики РАН (Лагутина, Шалагинова, 2014). Кроме того, в 30 км от г. Архангельска (в центральной части Иласского болота) расположена труднодоступная болотная станция Северного УГМС «Брусовица». Станция функционирует с 1941 г., и ее основной целью является детальное изучение гидрометеорологического режима Иласского болота (Попова, Ружникова, 2007).

В 20-30-е годы XX века, болота Архангельской области исследовали Т. А. Работнов (1929, 1930), А. П. Шенников и М. М. Голубева (1930), Н. Я. Кац (1935), А. М. Леонтьев (1937) и другие. В 60-е годы и позже на болотах области работали Т. Г. Абрамова (1965) и В. Н. Кирюшкин (1965, 1980). С последней четверти XX века к изучению болот региона подключились сотрудники КарНЦ РАН и БИН РАН: Г. А. Елина (1980, 1988), Т. К. Юрковская (2003, 2007, 2010), Смагин (2007), Кутенков (2006, 2007) и другие. В целом географическое распространение и классификация торфяных болот, в том числе для района исследований, а также факторы, влияющие на процесс трофообразования, описаны в работах В. С. Доктуровского (1932), Н. Я. Каца (1941), А. В. Пичугина (1956), С. Н. Тюремнова (1976), М. С. Боч и В. В. Мазинга (1979),

Л. И. Инишевой (2009), Н. Н. Бамбалова (2013). Для болот исследуемого региона подробно изучена растительность (Юрковская, 1992, 2018; Пьявченко и др., 1976). Основные свойства, способы химической переработки и критерии рационального использования торфа изложены в работах Н. Н. Бамбалова (2012, 2020), И. И. Лиштвана (2010, 1989), Л. И. Инишевой (1998, 2017). Данные о распространении торфяных ресурсов по районам Архангельской области, их изученность, свойства, возможность вовлечения в комплексную переработку изложены в (Соколов, Ивко, 2000). Кроме того, существуют фондовые данные по разведкам торфяных месторождений, которые были проведены еще в советское время, предоставляемые Архангельским ТГФ по личному запросу, например, (Материалы маршрутной разведки Трофимовского болота, 1953; Материалы маршрутной разведки болота Большой Мох, 1951). Доступ к некоторым отчетам требует специального разрешения в связи с секретностью данных.

В настоящее время исследования болот юго-восточного Прибеломорья проводятся сотрудниками лаборатории болотных экосистем ФИЦКИА УрО РАН при сотрудничестве с исследователями Института природопользования НАН Беларуси и Национального исследовательского Томского политехнического университета. Так, изучаются закономерности формирования торфяных отложений, различия в структуре и свойствах торфа, обусловленные влиянием климатических факторов, исследуются экстрактивные вещества, сорбционные и теплотворные свойства торфа (Селянина и др., 2017; Орлов и др., 2017; Томсон и др., 2018; Парфенова и др., 2015; Зубов и др., 2022). Показано, что торф, сформированный в условиях Севера, обладает специфическим составом и структурой, а также является источником ценных биологически активных соединений (Селянина и др., 2019), которые активно применяются в производстве лекарственных препаратов и органическом синтезе (Singh, 2015; Nazaruk, 2015; Grishko, 2009, 2012). Сотрудниками лаборатории болотных экосистем разработана и аттестована комплексная методика оценки группового химического состава торфа гравиметрическим методом (Методика..., 2017).

Влияние антропогенного воздействия на торфяные болота изучаемого района также привлекает внимание исследователей. Сотрудниками лаборатории экологической радиологии ФИЦКИА УрО РАН, а также САФУ исследованы накопления поллютантов в торфе (Зыкова и др., 2018; Яковлев и др., 2020; Сыпалов и др., 2020; Кузнецова, Ларионов, 2018; Ларионов и др., 2008). Несмотря на это, отметим, что исследования по

содержанию поллютантов в торфе для исследуемого региона носят эпизодический характер и чаще всего проводятся на территории Иласского болота, как наиболее представительного, а полученные результаты отличаются высокой вариабельностью, что усложняет сопоставление данных.

Изучение антропогенного воздействия через атмосферу на окружающую среду северных районов России остается весьма актуальным, несмотря на довольно большое число отдельных публикаций и обзоров, посвященных этому вопросу. Значительный вклад в изучение влияния атмосферного переноса на территорию водосбора Белого моря внесли А. А. Виноградова (2007, 2008, 2012, 2016, 2018), В. П. Шевченко (2009, 2011, 2013, 2015, 2020), Е. И. Котова (2014, 2018, 2019, 2020), Стародымова (2016, 2017, 2020), а также другие сотрудники Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (г. Москва), Института физики атмосферы им. А. М. Обухова РАН (г. Москва), Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации «Гидрометцентр России» (г. Москва), Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена (г. Санкт-Петербург), Федерального исследовательского центра комплексного изучения Арктики имени академика Н. П. Лаверова УрО РАН (г. Архангельск). Отметим, что, несмотря на большое количество публикаций по данной теме, для исследуемых нами болот, особенно расположенных в районе Мезенского и Онежского заливов, отсутствуют данные о конкретных источниках поллютантов в атмосфере и количественных оценках антропогенного воздействия.

2 ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Географическое положение и природные условия района исследований

Район исследования расположен на севере европейской части России в пределах Архангельской области, которая занимает территорию 587,4 тыс. км². Архангельская область относится к числу наиболее крупных административно-территориальных образований и по размеру занимает 7-е место в России. Включает острова Северного Ледовитого океана: Соловецкие, Колгуев, Вайгач, Земля Франца-Иосифа, Новая Земля и др. В состав области также входит Ненецкий автономный округ, который является самостоятельным субъектом РФ (Поморская энциклопедия...,2007). На западе область граничит с Республикой Карелия, на юге с Вологодской и Кировской областями, на востоке с Тюменской областью и Республикой Коми.

Для Архангельской области характерна густая речная сеть. Территория омывается водами Белого, Баренцева и Карского морей и находится в зоне избыточного увлажнения. В пределах территории области Белое море включает Онежскую, Двинскую и Мезенскую губы с бассейнами крупнейших рек – Онега, Северная Двина (с притоками Вычегда, Пинега и Вага) и Мезень. Все реки (кроме реки Илекса) относятся к бассейну Северного Ледовитого океана. Также в Архангельской области много озер, особенно в бассейне реки Онега. Наиболее крупные озера – Лача, Кенозеро, Кожозеро (Атлас Архангельской области, 1976).

Область имеет значительную протяженность с севера на юг и с запада на восток, и поэтому она расположена сразу в трех климатических поясах (арктическом, субарктическом и умеренном). С этим связаны большие различия в поступлении солнечной радиации. Климат региона атлантико-континентальный (умеренного пояса) (Регионы России..., 2021). Климат формируется в условиях малого количества солнечной радиации, особенно зимой, под влиянием северных морей, интенсивного западного переноса влажных морских масс с Атлантического океана и зависит от физико-географических особенностей территории. Область находится в зоне циклонов и частой смены воздушных масс, различных по месту происхождения, температуре и влажности, что определяет изменчивость погоды. Зимой для всей территории региона характерен устойчивый снежный покров, который на севере и востоке области залегает

в течение 180-200 дней, а на юге и западе – 170-180 дней (Доклад. Состояние и охрана...,2021).

Большая часть территории области имеет равнинный рельеф, на фоне которого выделяются несколько холмистых и грядовых возвышенностей: Ветренный Пояс, Няндомская возвышенность, Тиманский кряж, Канин Камень, Пай-Хой, полого-холмистые гряды Большеземельской тундры, а также отдельные холмистые участки на водоразделе рек Северной Двины и Пинеги и на Онежском полуострове. Также выделяется Беломорско-Кулойского плато, для которого характерны карстовые формы рельефа. Наиболее расчлененный рельеф имеет Новая Земля, большая часть которого покрыта ледниками. Земля Франца-Иосифа также на 85 % покрыта льдом (Атлас Архангельской области, 1976).

Большая часть Архангельской области относится к древнейшей Русской платформе, формирование которой завершилось в среднем протерозое. В виду того, что складчатые структуры подвергались неоднократным преобразованиям, были разбиты разломами, одни участки приподнимались, а другие опускались, поверхность фундамента очень неровная. Самая высокая его часть – Балтийский щит, который выходит на дневную поверхность. Остальная часть фундамента перекрыта морскими и континентальными отложениями.

Коренные породы почти повсюду перекрыты четвертичными отложениями различного происхождения: ледниковые, отложения талых ледниковых вод (флювиогляциальные) и приледниковых озер (озерно-ледниковые), морские, речные (аллювиальные), биогенные (торф) и некоторые другие. Максимальная мощность отложений около 200 м. Во время ледниковой территория покрывалась материковым льдом, который оставлял после себя моренные отложения. В течение межледниковий отлагались озерные и морские пески или глины, а также торф.

В размещении почв четко выражена зональность. На арктических островах распространены маломощные слаборазвитые арктические почвы, в горах преобладают каменистые россыпи. В арктической тундре аркто-тундровые глеевые почвы сочетаются с полигональными болотами. Для тундры характерны тундровые глеевые почвы, для лесотундры – тундровые поверхностно-глеевые оподзоленные почвы, а также глее-подзолистые, заболоченные и болотные почвы. В таежной зоне на плоских водоразделах

чаще всего встречаются болотно-подзолистые почвы и верховые торфяники (Атлас Архангельской области, 1976).

2.2 Характеристика и выбор объектов исследования

В качестве объектов исследования были выбраны три верховых болота, расположенные на территории юго-восточного Прибеломорья в пределах Арктической зоны РФ (рисунок 3) – Иласское болото в нижнем течении р. Северной Двины, болото Большой Мох в нижнем течении р. Онега и Трофимовское болото в нижнем течении р. Мезень.



Рисунок 3 – Объекты исследования: 1– болото Большой Мох, 2 – Иласское болото, 3 – Трофимовское болото

Выбор объектов исследования обусловлен тем, что каждое болото имеет свой уникальный комплекс природных условий, влияющий на свойства торфа на данном объекте. Так, на торфяные болота действуют различные климатические условия – отличаются среднегодовые температуры, количество осадков, преобладающие направления ветров и их скорость. Кроме того, отличаются

подстилающие минеральные породы (от глины до песка), тип торфа и, соответственно, его ботанический состав. Описание объектов исследования приведено в таблице 4.

Таблица 4 – Описание объектов исследования

Объекты исследования	Трофимовское болото	Иласское болото	Болото Большой Мох
Вариант названия торфа в тексте	Мезенский торф	Архангельский торф	Онежский торф
Расположение	Нижнее течение р. Мезень, в 0,5 км от г. Мезень	Нижнее течение р. Северной Двины, примерно в 30 км на юго-запад от г. Архангельск	Нижнее течение р. Онега, примерно в 25 км на юго-восток от г. Онега (вблизи с. Порог)
Координаты	65°52'N, 44°15'E	64°19'N, 40°36'E	63°49'N, 38°32'E
Географическая зона	Граница тайги и лесотундры	Северная тайга	Северная тайга
Тип торфяника	Олиготрофный	Олиготрофный	Олиготрофный
Средняя мощность торфяной залежи	1,5 м	3,5 м	3,0 м
Скорость накопления торфа	0,6-0,9 мм/год		
Подстилающий минеральный грунт и его водопроницаемость	Озерно-ледниковые и ледниковые пески и супеси – водопроницаемые и слабопроницаемые	Моренные суглинки и глины – слабопроницаемые и относительно водонепроницаемые	В основном песок, местами глина озерно-ледникового и ледникового происхождения – слабопроницаемые
Тип торфа	Верховой	Верховой	Верховой и переходный
Вид торфа	Пушицево-сфагновый	Сфагновый	Сфагновый верховой, древесно-осоковый
Среднемноголетняя годовая температура	-0,2 °С	+1,3 °С	+2,2 °С
Среднегодовое количество осадков	513 мм	606 мм	618 мм
Среднее направление ветра	Преобладают ветра южного, юго-западного и западного направлений	Преобладают ветра юго-восточных и южных направлений	Преобладают ветра юго-восточных и западных направлений
Средняя скорость ветра	3,6 м/с	2,7 м/с	2,4 м/с

Исследуемые болота находятся на удалении от промышленно-экономических центров и крупных антропогенных источников загрязнения, что позволяет считать их экологически чистыми территориями с фоновым уровнем загрязнения. Несмотря на это,

известна роль дальнего атмосферного переноса в поступлении антропогенных примесей от промышленных источников, расположенных на значительном удалении от объектов исследования. Поэтому актуально выявить возможные источники антропогенного влияния, уровень их воздействия на исследуемые объекты и конкретные загрязнители, характерные для исследуемых болот.

Таким образом, выбор объектов исследования обусловлен, с одной стороны, сходным географическим положением, а с другой – различными климатическими характеристиками, геологическими условиями, ботаническим составом торфа и предполагаемым различным уровнем антропогенной нагрузки. Также актуальным остается вопрос об осушении и его последующем влиянии (в перспективе десятков лет) на свойства торфа (физико-химических, агрохимических, химического состава органической части). Поэтому для изучения этого вопроса был исследован торф мелиорированного в конце 60-х – начале 70-х годов XX века участка Иласского болота.

Торфяное болото Большой Мох впервые было разведано в 1949 г. (рекогносцировочная разведка), а затем в 1952 г. (маршрутная разведка). Месторождение находится примерно в 25 км на юго-восток от г. Онега вблизи с. Порог, в зоне северотаежных лесов (63°49' N 38°32' E). Река Онега протекает на западе и юго-западе в непосредственной близости от болота. Согласно классификации Т.К. Юрковской (Юрковская, 1992), болото Большой Мох относится к провинции северо-восточноевропейских сфагновых верховых болот, что совпадает с границами печорско-онежской провинции олиготрофных грядово-мочажинных торфяников, выделенных Н.Я. Кацем (Кац, 1941). На данной стадии развития Большой Мох представляет собой плоско-выпуклое олиготрофное болото. Общий рельеф прилегающих суходолов равнинный с уклоном в сторону р. Онега. Микрорельеф болота – грядово-мочажинный слабовыраженный. Уровень грунтовых вод на всей территории болота близок к дневной поверхности. Водное питание – атмосферные осадки и сток вод с прилегающих суходолов. Подстилающий минеральный грунт – песок и местами глина озерно-ледникового и ледникового происхождения. Нижние слои торфа представлены переходным торфом. Пнистость малая. По данным маршрутной разведки (Маршрутная разведка..., 1952), площадь месторождения в нулевых границах – 844,4 га, в промышленных границах (0,7 м) – 709,6 га. Средняя глубина промышленной торфяной залежи – 4,06 м. Общий геологический запас торфа-сырца – 28809760 м³. В материалах

разведки месторождения 1952 г. также отмечено, что зольность торфа может быть завышена в связи с примесью песка и глины в торфе.

Ближайшая к болоту метеорологическая станция располагается в г. Онега (63°54' N, 38°07' E, Н = 13 м) (Справочно-информационный портал «Погода и климат», 2021). Климат исследуемой территории умеренный холодный, слабоконтинентальный (переходный от морского к материковому) с явным влиянием Атлантики. По результатам многолетних наблюдений среднегодовая температура воздуха на исследуемой территории составляет +2,2 °С. Средняя температура воздуха в январе: – 11,4 °С. Безморозный период с апреля по октябрь. Vegetационный период начинается в последней декаде мая – в июне. Период вегетации 80-100 дней. Средняя температура воздуха в июле от +16,9 °С. Сумма тепла за период активной вегетации растений составляет 1500 °С. Среднее количество осадков составляет 618 мм в год. За период вегетации выпадает более 200 мм осадков. Наибольшее количество осадков выпадает в августе (75 мм), а самый сухой месяц – апрель (29 мм). Устойчивый снежный покров образуется в середине ноября и сохраняется до третьей декады апреля (в среднем 170 дней). Средняя максимальная высота снежного покрова достигает 84 см в марте-апреле. Согласно среднемноголетней розе ветров, на территории болота преобладают ветра юго-восточного и западных направлений со средней скоростью 2,4 м/с (рисунок 5), что указывает на поступление воздушных масс с Атлантики и с материковой части Евразии.

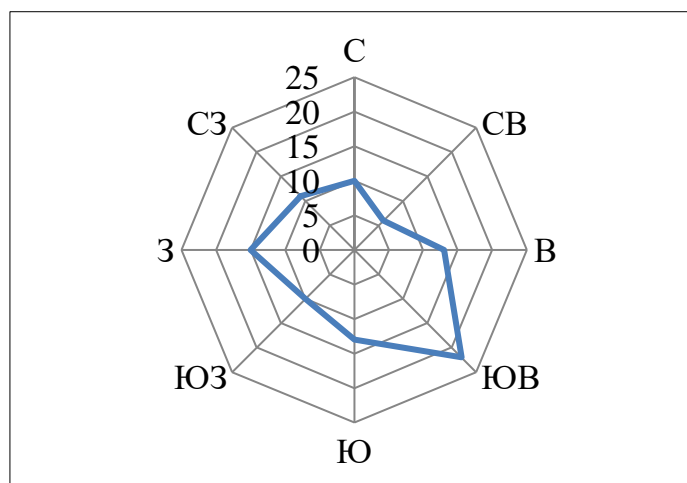


Рисунок 4 – Среднемноголетняя повторяемость направлений ветра (по данным метеостанции г. Онега (Отчет...,2019)

Древесный ярус на болоте развит на грядах и представлен древостоем из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) высотой 1,5-2 м и сомкнутостью 0,2-0,3. Травяно-кустарничковый ярус и моховый ярус представлены клюквой (*Oxycoccus sp.*(Hill) A. Gray), водяникой черной (*Empetrum nigrum* L.), представителями семейства осоковых (*Cyperaceae*), морошкой обыкновенной (*Rubus chamaemorus* L.), голубикой обыкновенной (*Vaccinium uliginosum* L.). Моховой покров представлен преимущественно олиготрофными и мезоолиготрофными сфагновыми мхами (*Sphagnum magellanicum* Brid., *Sph. fuscum* (Schimp.) Klinggr., *Sph. angustifolium* (C. Jensen) Russow) C. Jensen). Растительное сообщество относится к мезоолиготрофному осоково-кустарничково-сфагновому типу.

Профиль торфяной залежи имеет характерное для болот печорско-онежской провинции строение. Верхний слой (примерно до 100 см) однородный, сложенный сфагновым верховым торфом со степенью разложения не превышающей 10 %. В слоях торфа ниже 1 м резко повышается степень разложения до 25-30 %, торф переходный с заметным участием в ботсоставе осоковых и древесных остатков. Далее вниз по профилю торф остается переходным и однородным по ботсоставу, а степень разложения увеличивается до 40-50 % (Отчет..., 2019). Общий вид болота показан на рисунке 5.



Рисунок 5 – Общий вид болота Большой Мох

Иласское болото является одним из наиболее изученных болот на территории Архангельской области, так как с 1941 г. здесь действует Стационар Северного управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России – труднодоступная болотная станция «Брусовица». Болото находится примерно в 30 км на юго-западе от г. Архангельска в заболоченной части зоны таежных лесов на водоразделе

трех рек: Брусовица, Шухта и Бабья, принадлежащих бассейну реки Северной Двины (64°19'N, 40°36'E). Иласское болото часто используется для проведения исследований (в том числе, многолетних) экологами, биологами и другими специалистами, что способствовало накоплению большого массива данных.

Болото представляет собой типичный олиготрофный плосковыпуклый мезоландшафт. Согласно классификации Т.К. Юрковской (Юрковская, 1992), относится к Прибеломорской болотной провинции, а Н.Я. Кац называет эту территорию Прибеломорской областью олиготрофных торфяников с лишайниково-сфагновыми грядами, мочажинами и озерками (Кац, 1941). Болото имеет характерное для олиготрофных болот таежной зоны сочетание микроландшафтов, которые можно классифицировать как комплексные грядово-мочажинно-озерковые и комплексные грядово-озерковые с олиготрофным типом растительности на грядах и в мочажинах. Микроландшафты с ориентированным ленточно-грядовым рельефом наиболее характерны для лесной избыточно увлажненной зоны. Мочажины занимают до 40 % площади болота, кроме них имеется также большое количество озер. В центральной части массива расположено самое крупное озеро – Иласское. Площадь внутренних суходолов незначительна. Паводковыми водами не заливается. Минеральное дно массива в основном сложено глинами и реже песками (Отчет...,2019).

Детальная разведка месторождения была произведена в 1932 г. Северным отделением треста «Сельхозторф». В 1964 г. было проведено геоботаническое обследование с целью уточнения наличия торфоподстилочного сырья, которое может быть предложено в качестве сырьевой базы торфоподстилочного предприятия. По данным (Технический отчет...,1964), площадь торфяного месторождения в нулевых границах составляет 5737,0 га, в промышленных по глубине 0,7 м – 5124,99 га. Геологический запас торфа-сырца (балансовый) – 172366,9 тыс. м³ при средней глубине 3,36 м.

Ближайшая к Стационару метеорологическая станция располагается в г. Архангельск (64°30' N, 40°42' E, Н = 8 м) (Справочно-информационный портал «Погода и климат», 2021). Климат исследуемой территории умеренный холодный, слабо континентальный атлантико-арктический, с выраженным влиянием Белого и Баренцева морей, также отмечается влияние воздушных масс, поступающих с Атлантики. Среднемноголетняя годовая температура в районе метеостанции составляет +1,3 °С.

Средняя температура воздуха в январе: $-12,7^{\circ}\text{C}$. Период вегетации обычно 80-100 дней. Безморозный период начинается в конце апреля – начале мая и заканчивается в конце сентября – начале октября (170-210 дней). Средняя температура воздуха в июле: $+16,3^{\circ}\text{C}$. Сумма тепла за период активной вегетации растений составляет 1400°C . Преобладают ветра юго-восточных и южных направлений со средней скоростью $2,7\text{ м/с}$ (рисунок 6). Северные ветра дуют преимущественно в летний период, в осенне-зимний период – южных направлений.

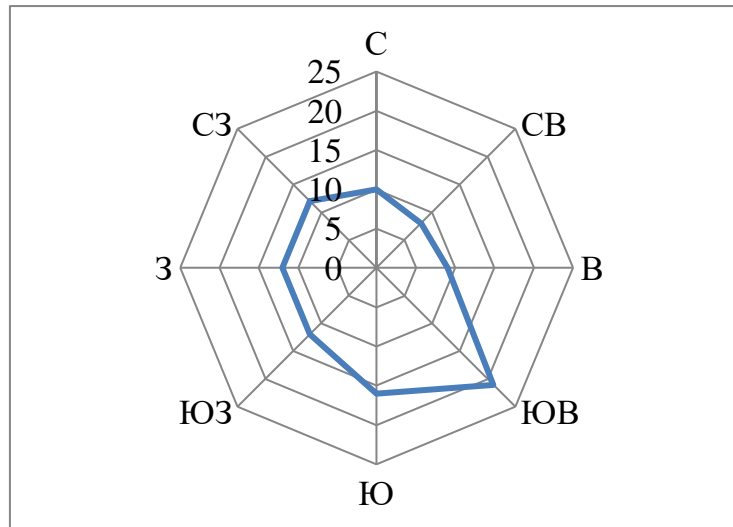


Рисунок 6 – Среднемноголетняя повторяемость направлений ветра, (по данным метеостанции г. Архангельск (Отчет...,2019)

Из среднего количества осадков на данной территории (606 мм/год) за период активной вегетации выпадает около 184 мм . Наибольшее их количество приходится на июль-август ($70-73\text{ мм}$), а наименьшее – на февраль (29 мм). Продолжительность залегания снежного покрова в среднем составляет 180 дней. Устойчивый снежный покров чаще всего формируется в первой половине ноября, сходит снег в конце апреля-начале мая. Средняя максимальная высота снежного покрова – 102 см . Максимальная высота снежного покрова отмечается в марте-апреле.

Древесный ярус представлен редкими деревцами сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) и березой пушистой (*Betula pubescens L.*) в подросте. Кустарниковый ярус представлен карликовой березой (*Betula nana L.*) с проективным покрытием до 10% . Состав травяно-кустарничкового яруса разнообразен. Проективное покрытие яруса достигает 40% на грядах. В состав яруса входят: багульник болотный (*Ledum palustre L.*), морошка обыкновенная (*Rubus chamaemorus L.*), подбел (*Andromeda polifolia L.*),

вереск обыкновенный (*Calluna vulgaris* (L.) Hull), водяника черная (*Empetrum nigrum* L.), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), 3 вида росянки (*Drosera rotundifolia* L., *Drosera anglica* Huds., *Drosera medium* Hayne), клюква мелкоплодная (*Oxycoccus microcarpus* Turcz. Ex Rupr.), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum* L.) и пушица влагалищная (*Eriophorum vaginatum* L.). Мохово-лишайниковый покров имеет проективное покрытие до 80 % и представлен преимущественно сфагнумом бурым (*Sphagnum fuscum* (Schimp.) H.bKlinggr.) и лишайниками рода *Cladonia*. Кроме того, встречаются *Sphagnum magelanicum* Brid., *Sph. Tenellum* (Brid.) Pers. ex Brid., *Sph. rubellum* Wilson и *Sph. capillifolium* (Ehrh.) Hedw., а также гипновые, бриевые мхи небольшими куртинами (*Dicranum undulatum* Schrad. ex Brid., *Pleurozium Shreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Polytrichum strictum* Hedw., *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr.), и лишайники (*Cetrariais landica* (L.) Ach. и *Cladonia* sp.). В целом растительное сообщество выбранного участка гряды относится к сосново-кустарничково-сфагновому типу (Отчет..., 2019). Общий вид грядово-мочажинного комплекса Иласского болота, на котором проводили исследования, приведен на рисунке 7.



Рисунок 7 – Общий вид грядово-мочажинного комплекса Иласского болота

По результатам полевых исследований сотрудников болотных экосистем ФГБУН ФИЦКИА УрО РАН залежь имеет достаточно однородный ботанический состав – сложена в большей степени сфагновыми мхами с примесью древесины сосны в нижних горизонтах. Степень разложения варьирует в пределах 0-30 % с закономерным увеличением по глубине. Мощность естественной торфяной залежи составляет около

4,0 м. Подстилающие породы – моренные суглинки и глины. Уровень грунтовых вод изменялся в течение сезона исследований от 0 см в период активного снеготаяния и обильных осадков, до – 30 см в период летней межени (середина июля).

Трофимовское болото расположено в Мезенском районе Архангельской области на надпойменной террасе реки Мезень и находится в 0,5 км на северо-восток от г. Мезень (65°52' N, 44°15' E). Водоприемником месторождения служит река Мезень, протекающая западнее массива в 0,5-2,2 км. Севернее массива в 0,3 км от него река Мезень впадает в Мезенскую губу.

По классификации В.Н. Кирюшкина, Трофимовское болото находится в районе крупных болотных систем замкнутых и единичных сточных впадин пологоволнистой ледниковой равнины (Кирюшкин, 1980). Н.Я. Кац относит этот район к печорско-онежской области олиготрофных грядово-мочажинных торфяников (Кац, 1941). Трофимовское болото представляет собой мелкобугристое олиготрофное болото, общий рельеф прилегающих суходолов и поверхности – равнинный. Преобладает мелкокочковатый микрорельеф. Водным питанием болота являются атмосферные осадки и поверхностные воды, стекающие с площади водосбора. Подстилающие породы – озерно-ледниковые и ледниковые пески и супеси. Грунтовые воды выходят на поверхность.

Все торфяное месторождение верховое и состоит из двух самостоятельных участков, разобщенных между собой глубоко вклинивающимся внешним суходолом. Пнистость малая. Сфагновые кочки покрывают примерно 20 % площади. В центральной части болота имеются мочажины и много мелких озер. Суходолы, прилегающие к торфяному месторождению, имеют ровную поверхность, и покрыты крупным смешанным лесом. Основные грунты, слагающие суходолы – суглинки (Отчет..., 2019).

Впервые маршрутная разведка месторождения была проведена в 1953 г. Ленинградским Отделением Института «Росторфразведка» согласно государственному плану, установленному для Архангельского управления торфяного фонда. Целью изыскательных работ было выявление запасов торфа-сырца, установление его качества для учета торфяного фонда и определения возможного направления его использования. По данным маршрутной разведки (Материалы маршрутной разведки..., 1953), площадь торфяного месторождения в нулевых границах – 25337,6 га. В промышленных границах

по глубине 0,7 м – 20803,7 га. Средняя глубина торфяной залежи – 1,73 м. Общий геологический запас – 359904010 м³.

Ближайшая к местам проведения исследований метеорологическая станция располагается в г. Мезень (65.87° N, E 44.22° E, Н = 19 м) (Справочно-информационный портал «Погода и климат», 2021). Болото располагается близ границы умеренного и субарктического климатических поясов, зон тайги и лесотундры, вне пределов распространения вечной мерзлоты. Климат умеренный, слабоконтинентальный (переходный от морского к материковому), с выраженным влиянием Белого моря. Устье реки Мезень характеризуется особенностями приливных явлений. Высота прилива составляет до 7,6 м, а в отлив устье практически пересыхает. Во время приливов морская вода заходит далеко вглубь материка (на расстояние 28-36 км, до р. Каменка), обеспечивая минеральное питание долины р. Мезень (Демиденко, 2004). Среднегодовая температура воздуха на исследуемой территории –0,2 °С. Средняя температура воздуха в январе: –13,0 °С. Средняя температура воздуха в июле: +13,4 °С. Среднеголетняя сумма активных температур составляет 1100 °С при периоде вегетации 50-60 дней (Северное управление по гидрометеорологии...,2019). Безморозный период с конца мая по начало октября. Период активной вегетации приходится на июль-август. Преобладают ветра южного, юго-западного и западного направлений со средней скоростью ветра 3,6 м/с (рисунок 8).

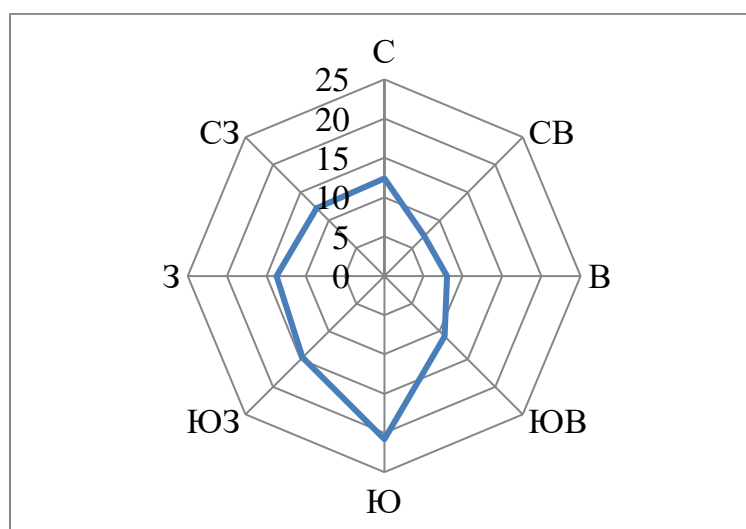


Рисунок 8 – Среднеголетняя повторяемость направлений ветра (по данным метеостанции г. Мезень (Отчет...,2019)

Среднее количество осадков на данной территории составляет 513 мм в год. За период активной вегетации выпадает около 120 мм осадков. Наибольшее количество

осадков приходится на август (67 мм), а наименьшее – на февраль (24 мм). Продолжительность залегания снега в районе метеостанции г. Мезень равна в среднем 192 дня. Средняя максимальная высота снежного покрова достигает 58 см. Устойчивый снеговой покров сохраняется со второй декады ноября по конец апреля. Наибольшая высота снежного покрова наблюдается в марте-апреле.

Древесный ярус растительного покрова представлен редко стоящими деревьями сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris L.*) высотой 1,5-3 м по окраинам болота. Напочвенный покров представлен морошкой обыкновенной (*Rubus chamaemorus L.*), багульником болотным (*Ledum palustre L.*), водяникой черной (*Empetrum nigrum L.*) и представителями семейства осоковые (*Cyperaceae*) в понижениях. Проективное покрытие яруса не превышает 30 %. Моховой покров составляют преимущественно сфагновые мхи (*Sphagnaceae esp.*), а также лишайники рода *Cladonia*. Мохово-лишайниковый ярус однороден по всему массиву. Проективное покрытие яруса 80-90 %. Общий вид болота приведен на рисунке 9.



Рисунок 9 – Общий вид Трофимовского болота

Хотя территория исследования располагается вне границ распространения многолетнемерзлых пород, в толще торфа встречаются промерзшие линзы. Торфяная залежь характеризуется высокой степенью однородности ботанического состава. Торф сложен сфагновыми мхами и кустарничками. Степень разложения, оцененная в полевых условиях, по всей глубине залежи невысока с равномерным увеличением по глубине от 0-5 % до 10-15 % (Отчет...,2019).

2.3 Методы исследования

2.3.1 Предварительный этап

На предварительном этапе были проведены исследования однородности торфяных отложений, в ходе которых на трех исследуемых болотах отбирали колонки торфа на всю глубину залежи (для каждого болота было проведено не менее 10 бурений), описывали их и визуально разделяли на характеристические горизонты (торф одинакового цвета, структуры и консистенции составляет один слой). Далее каждый горизонт разделяли на слои по 10-20 см в зависимости от мощности горизонта и изучали степень разложения, микроструктуру, физико-химические показатели, а также выполняли анализ группового химического состава органической части торфа каждого слоя. Результаты подтвердили однородность торфяной залежи в пределах характеристических горизонтов, поэтому в данной работе все исследования проводили для характеристических горизонтов, которые были визуально определены в полевых условиях.

Для отбора проб торфа выбирали типичные для каждого болота элементы микрорельефа, расположенные ближе к центру болотной фации. На каждом болоте в соответствии с (Разведка торфяных месторождений, 1953; Инструкция по разведке..., 1983) было отобрано по 3 колонки торфа, каждую из которых разделяли на характеристические горизонты (слои). Исследование влажности, зольности, группового химического состава, а также содержание элементов в торфе проводили для каждого слоя отдельно, полученные данные усредняли математически.

2.3.2 Отбор и подготовка проб торфа

Отбор проб торфа проводили в летние полевые сезоны 2019-2022 гг. методом послойного бурения торфяным буром Р 04.09 (EIJKELKAMP, Нидерланды) согласно (ГОСТ 17644-83). Подготовка торфа к дальнейшим анализам включала в себя сушку до воздушно-сухого состояния, а затем фракционирование на сите с диаметром ячеек 2 мм.

2.3.3 Определение степени разложения и ботанического состава

Степень разложения и ботанический состав торфа определяли в лабораторных условиях микроскопическим методом (ГОСТ 28245–89).

2.3.4 Определение влажности и зольности торфа

Влажность и зольность торфа определяли по стандартным методикам (ГОСТ 11305–83, ГОСТ 11306–83) путем высушивания навески торфа в сушильном шкафу при

температуре 105 ± 5 °С до постоянной массы и при прокаливании навески торфа в муфельной печи при температуре 800 °С, соответственно.

2.3.5 Определение группового химического состава органической части торфа

Определение группового состава проводили по аттестованной методике (Методика измерений..., 2017), основанной на последовательном выделении из торфа отдельных групп веществ экстракцией различными растворителями и их количественном определении гравиметрическим методом. Схема группового разделения веществ органической части торфа приведена на рисунке (рисунок 10).

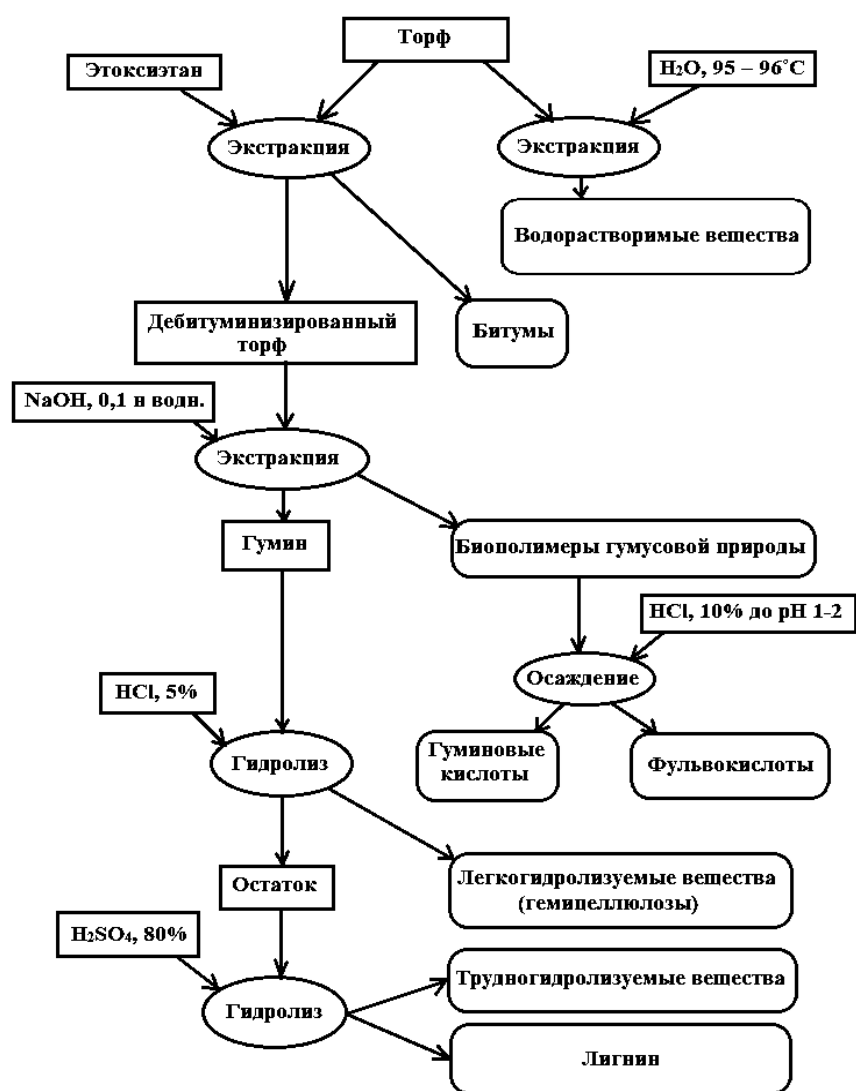


Рисунок 10 – Схема группового разделения веществ торфа (Отчет...,2019)

Для определения общего содержания водорастворимых веществ торфа навеску торфа (m_T) около 1 г взвешивают на аналитических весах с точностью 0,0001 г, помещают в коническую колбу на 250 мл и дважды экстрагируют (1-й раз в течение 2 ч

и 2-й раз – 20 мин) горячей водой (95–96) °С при перемешивании и температуре 40°С методом настаивания (рисунок 11); гидромодуль – 1:100. Первый экстракт декантируют с осадка и отфильтровывают на бумажном фильтре, предварительно доведенном до постоянной массы (m_{Φ}) в сушильном шкафу при температуре (105 ± 2) °С. После повторной экстракции осадок количественно переносят на тот же фильтр небольшими порциями горячей воды. Фильтр с осадком высушивают в сушильном шкафу при температуре (105 ± 2) °С до постоянной массы ($m_{\Phi\text{ост}}$).



Рисунок 11 – Лабораторный шейкер (установка для метода настаивания)

Массовую долю водорастворимых веществ в пересчете на сухое обеззоленное (органическое) вещество $Z_{\text{ВРВ}}$ определяют по формуле, %:

$$Z_{\text{ВРВ}} = \frac{m_{\text{T}} \cdot \text{СВ} - m_{\Phi\text{ост}} + m_{\Phi}}{m_{\text{T}} \cdot \text{СВ} \cdot \text{ОВ}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $m_{\Phi\text{ост}}$ – масса фильтра с остатком после извлечения водорастворимых веществ, г;

m_{Φ} – масса бумажного фильтра, г;

m_{T} – масса навески торфа, г;

СВ – доля сухого вещества в торфе, доли единицы;

ОВ – доля органического вещества в торфе, доли единицы.

Для определения содержания битумов образец торфа массой (10–30) г, взвешенный с точностью 0,0001 г (m_{T}), в бумажном патроне помещают в экстрактор аппарата Сокслета (рисунок 12). Через трубку обратного холодильника в приемную колбу аппарата заливают растворитель (этоксизтан) в объеме, равном 2-м объемам экстрактора аппарата Сокслета. Экстракцию осуществляют до бесцветного экстракта

при переливе, но не менее 2 часов при скорости 3–4 перелива в час. Концентрацию экстракта определяют путем выпаривания 5 мл экстракта в чашках Петри и высушивания их до постоянной массы при $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Массовую долю битумов $Z_{\text{битумов}}$ в пересчете на абсолютно сухое обеззоленное (органическое) вещество определяют по формуле, %:

$$Z_{\text{битумов}} = \frac{c * V}{m_{\text{T}} \cdot \text{СВ} \cdot \text{ОВ}} \cdot 100, \quad (2)$$

где c – концентрация экстракта, г/мл;

V – общий объем экстракта, мл;

m_{T} – масса навески торфа, г;

СВ – доля сухого вещества в торфе, доли единицы;

ОВ – доля органического вещества в торфе, доли единицы.

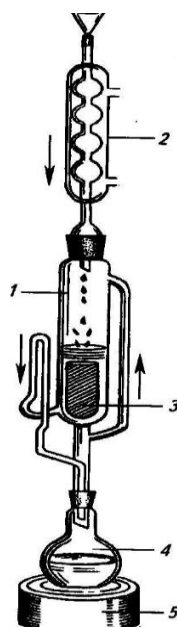


Рисунок 12 – Установка для экстракции в аппарате Сокслета

1 – экстрактор, 2 – холодильник, 3 – патрон с сырьем,

4 – приемная колба, 5 – колбонагреватель

При определении содержания битумов торфа проводят три параллельных определения. Дебитуминизированный торф извлекают из патронов и используют для определения содержания биополимеров гумусовой природы и гумина.

Для определения содержания гумина параллельные пробы торфа после дебитуминизации объединяют и усредняют. Навеску усредненного образца взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0001 г и помещают в конические колбы на

250 мл, заливают 0,1 н. водным раствором NaOH в соотношении сырье: растворитель = 1:50 и экстрагируют при комнатной температуре и перемешивании в течение суток (рисунок 14). Полученную смесь количественно переносят на стеклянный фильтр Шотта ПОР 40 (максимальный диаметр пор – 40 мкм), предварительно доведенный до постоянной массы ($m_{\text{ф}}$) в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Фильтрат собирают в колбу, а гумин (твердый остаток на фильтре) промывают дистиллированной водой до бесцветных промывных вод, которые присоединяют к фильтрату в колбе (объединенный фильтрат). Гумин, оставшийся на фильтре после промывки, высушивают в сушильном шкафу при $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ до постоянной массы ($m_{\text{фГумин}}$). В полученном промытом и высушенном до постоянной массы образце гумина определяют долю органического вещества $ОВ_{\text{Гумин}}$ согласно ГОСТ 11306. Массовую долю гумина $Z_{\text{Гумин}}$ в пересчете на абсолютно сухое обеззоленное (органическое) вещество определяют по формуле, %:

$$Z_{\text{Гумин}} = \frac{(m_{\text{фГумин}} - m_{\text{ф}}) \cdot ОВ_{\text{Гумин}} \cdot (1 - Z_{\text{битумов}})}{m_{\text{т}} \cdot СВ \cdot ОВ} \cdot 100 \quad (3)$$

где $Z_{\text{битумов}}$ – массовая доля битумов на органическое вещество торфа, доли единицы, рассчитанная по формуле 2 и пересчитанная в доли единицы;

$m_{\text{фГумин}}$ – масса фильтра с гумином, г;

$m_{\text{ф}}$ – масса стеклянного фильтра, г;

$m_{\text{т}}$ – масса навески дебитуминизированного торфа, г;

СВ – доля сухого вещества в торфе, доли единицы;

ОВ – доля органического вещества в торфе, доли единицы;

$ОВ_{\text{Гумин}}$ – доля органического вещества в гумине, доли единицы.

Для определения биополимеров гумусовой природы объединенный фильтрат, представляющий собой раствор гумусовых веществ, подкисляют соляной кислотой HCl до $\text{pH} = 1-2$ и оставляют на сутки. Осадок гуминовых кислот отфильтровывают на стеклянном фильтре ПОР 40, предварительно доведенном до постоянной массы ($m_{\text{ф}}$) в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$, промывают дистиллированной водой до $\text{pH} = 5-5,5$ и высушивают в сушильном шкафу при $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$ – $m_{\text{фГК}}$. Массовую долю биополимеров гумусовой природы $Z_{\text{БПГП}}$ в пересчете на абсолютно сухое обеззоленное (органическое) вещество определяют по формуле, %:

$$Z_{\text{БПГП}} = 100 - Z_{\text{Гумин}} - Z_{\text{битумов}} - Z_{\text{ВРВ}} \quad (4)$$

где $Z_{\text{Гумин}}$ – массовая доля гумина на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 3;

$Z_{\text{битумов}}$ – массовая доля битумов на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 2;

$Z_{\text{ВРВ}}$ – массовая доля водорастворимых веществ на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 1.

Массовую долю гуминовых кислот $Z_{\text{ГК}}$ в пересчете на абсолютно сухое обеззоленное состояние (органическое вещество) определяют по формуле, %:

$$Z_{\text{ГК}} = \frac{(m_{\text{ФГК}} - m_{\text{Ф}}) \cdot (1 - Z_{\text{битумов}})}{m_{\text{т}} \cdot \text{СВ} \cdot \text{ОВ}} \cdot 100, \quad (5)$$

где $Z_{\text{битумов}}$ – массовая доля битумов на органическое вещество торфа, доли единицы, рассчитанная по формуле 2 и пересчитанная в доли единицы;

$m_{\text{ФГК}}$ – масса фильтра с гуминовыми кислотами, г;

$m_{\text{Ф}}$ – масса пустого стеклянного фильтра, г;

$m_{\text{т}}$ – масса навески дебитуминизированного торфа, г;

СВ – доля сухого вещества в торфе, доли единицы;

ОВ – доля органического вещества в торфе, доли единицы (по ГОСТ 11306).

Массовую долю фульвокислот $Z_{\text{ФК}}$ в пересчете на абсолютно сухое обеззоленное (органическое) вещество определяют по формуле, %:

$$Z_{\text{ФК}} = Z_{\text{БПГП}} - Z_{\text{ГК}} \quad (6)$$

где $Z_{\text{БПГП}}$ – массовая доля биополимеров гумусовой природы на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 4.

$Z_{\text{ГК}}$ – массовая доля гуминовых кислот на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 5.

Для определения содержания легкогидролизуемых веществ гумин взвешивают с точностью 0,0001 г ($m_{\text{Гумин}}$) и переносят в коническую колбу вместимостью 250 мл, в которую добавляют 5 %-й раствор HCl из расчёта 20 см³ кислоты на 1 г навески. Последней порцией кислоты смывают торф со стенок колбы. Колбу соединяют с обратным холодильником и кипятят на колбонагревателе 2 часа с момента закипания (рисунок 13). После окончания нагрева и охлаждения, надосадочная жидкость сливается

через предварительно доведенный до постоянной массы ($m_{\text{ф}}$) стеклянный фильтр Шотта (ПОР 40). Остаток в колбе повторно заливается тем же количеством кислоты, и гидролиз продолжается ещё 2 ч при тех же условиях. Затем содержимое колбы фильтруют и остаток количественно переносят на фильтр. Торф на фильтре промывается горячей дистиллированной водой до $\text{pH} = 5-5,5$. Фильтр с торфом после гидролиза (лигноцеллюлозный остаток) $m_{\text{фОст}}$ подсушивают на воздухе и доводят до постоянного веса в сушильном шкафу при $(105 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

Массовую долю легкогидролизуемых веществ $Z_{\text{ЛГВ}}$ в пересчете на абсолютно сухое обеззоленное вещество (органическое вещество) определяют по формуле:

$$Z_{\text{ЛГВ}} = \frac{(m_{\text{гумин}} - m_{\text{фОст}} + m_{\text{ф}}) \cdot Z_{\text{гумин}}}{m_{\text{гумин}}} * 100 \quad (7)$$

где $Z_{\text{гумин}}$ – массовая доля гумина на органическое вещество торфа, рассчитанная по формуле 3 и пересчитанная в доли единицы;

$m_{\text{гумин}}$ – масса абсолютно сухого гумина (с учетом потерь на фильтре), г;

$m_{\text{фОст}}$ – масса фильтра с остатком после гидролиза, г;

$m_{\text{ф}}$ – масса стеклянного фильтра, г.



Рисунок 13 – Установка для экстракции и гидролиза (колбонагреватель и обратные холодильники)

Для определения содержания трудногидролизуемых веществ остаток после определения ЛГВ снимают с фильтра и растирают в ступке. В коническую колбу вместимостью 250 мл берут навеску лигноцеллюлозного остатка 0,5–1,0 г с точностью 0,0001 г ($m_{\text{ост}}$) и заливают 80%-ным раствором H_2SO_4 из расчёта 10 мл кислоты на 1 г навески, выдерживают при комнатной температуре и перемешивании 2,5 часа (рисунок 14). Затем в колбу приливают дистиллированную воду из расчёта разбавления до 5%-ной концентрации H_2SO_4 и кипятят на колбонагревателе в течение 1 часа с момента закипания (рисунок 16).

После окончания гидролиза содержимое колбы фильтруют через предварительно доведенный в сушильном шкафу при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ до постоянной массы ($m_{\text{ф}}$) стеклянный фильтр Шотта (ПОР 40). Остаток на фильтре тщательно промывают горячей дистиллированной водой до $\text{pH} = 5\text{--}5,5$. На фильтре остаётся негидролизуемая часть торфа, принимаемая за лигнин. Негидролизуемый остаток высушивают вместе с фильтром при температуре $(105 \pm 2)^\circ\text{C}$ до постоянной массы – $m_{\text{ФЛигнин}}$. Массовую долю лигнина $Z_{\text{лигнин}}$ в пересчете на абсолютно сухое обеззоленное вещество определяют по формуле, %:

$$Z_{\text{лигнин}} = \frac{(m_{\text{ФЛигнин}} - m_{\text{ф}}) \cdot (100 - Z_{\text{ЛГВ}} - Z_{\text{БИГП}} - Z_{\text{БИТУМОВ}})}{m_{\text{ост}}} \quad (8)$$

где $Z_{\text{ЛГВ}}$ – массовая доля легкогидролизуемых веществ на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 7;

$Z_{\text{БИГП}}$ – массовая доля биополимеров гумусовой природы на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 4;

$Z_{\text{БИТУМОВ}}$ – массовая доля битумов на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 2;

$m_{\text{ф}}$ – масса стеклянного фильтра, г;

$m_{\text{ФЛигнин}}$ – масса стеклянного фильтра с лигнином, г;

$m_{\text{ост}}$ – масса абсолютно сухого лигноцеллюлозного остатка, г.

Массовую долю трудногидролизуемых веществ $Z_{\text{ТГВ}}$ в пересчете на абсолютно сухое обеззоленное вещество определяют по формуле, %:

$$Z_{\text{ТГВ}} = 100 - Z_{\text{лигнин}} - Z_{\text{ЛГВ}} - Z_{\text{БИГП}} - Z_{\text{БИТУМОВ}}, \quad (9)$$

где $Z_{\text{лигнин}}$ – массовая доля лигнина на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 8.

$Z_{\text{ЛГВ}}$ – массовая доля легкогидролизующихся веществ на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 7;

$Z_{\text{БПП}}$ – массовая доля биополимеров гумусовой природы на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 4;

$Z_{\text{битумов}}$ – массовая доля битумов на органическое вещество торфа, %, рассчитанная по формуле 2.

2.3.6 Определение агрохимических свойств торфа

Агрохимические показатели торфа были определены на базе Сибирского научно-исследовательского института сельского хозяйства и торфа (СибНИИСХиТ) в Томске. Анализы включали определение аммиачного азота фотоколориметрическим методом (ГОСТ 27894.3-88), нитратного азота колориметрическим методом (ГОСТ 27894.4-88), подвижных форм фосфора на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 27894.5-88) и калия на пламенном фотометре (ГОСТ 27894.6-88), обменного кальция и магния методом титрования (ГОСТ 27894.10-88), подвижных форм железа на фотоэлектроколориметре (ГОСТ 27894.7-88), гидролитической кислотности методом титрования (ГОСТ 27894.1-88), обменной и активной кислотностей путем измерения рН-метром (ГОСТ 11623-89), массовой доли органического углерода фотометрическим методом (Методика измерений..., 2015) и суммы поглощенных оснований методом Каппена и Гильковица (Практикум по агрохимии..., 2001).

2.3.7 Определение металлов и мышьяка в торфе

Анализ на содержание в торфе металлов и мышьяка проводили в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ САС «Архангельская» по установленным методикам. Содержание элементов Cr, Co, Cu, Pb, Cd, Hg в торфе определяли атомно-абсорбционным методом (ФР.1.31.2012.13573 «Методика измерений...», 2012), Ni и Zn – методом атомно-эмиссионной спектроскопии (Методика выполнения измерений..., 2008), а As – фотометрическим методом (Методические указания..., 1993).

2.3.8 Влияние атмосферного переноса на загрязненность болот

Для изучения вклада атмосферного переноса в поступление антропогенных примесей на исследуемые территории в первую очередь были проанализированы многолетние закономерности движения воздушных масс с использованием метода статистики обратных траекторий (Виноградова, 2014). Сущность метода заключается в

получении массива данных о траекториях движения воздушных масс к объектам исследования от конкретных источников, причем каждая точка траекторий характеризуется координатами и метеорологическими параметрами (высота слоя перемешивания и количество осадков). Эта информация была получена с использованием модели HYSPLIT на сервере Национального управления океанических и атмосферных исследований США (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA). Модель HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model) – это комплексная система, позволяющая вычислять воздушные траектории частиц и моделировать сложные процессы рассеивания и перемещения частиц атмосферного аэрозоля (Stein et al., 2015). Для расчета траекторий модель осуществляет сбор данных различных метеорологических станций, расположенных по всему миру.

Начало работы с моделью HYSPLIT начинается с ввода данных об объектах исследования (координаты), необходимых параметрах и способе расчета траекторий на сайте (https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php). Поскольку длины траекторий движения воздушных масс значительно превышают масштабы болот, для каждого болота была выбрана точка с конкретными координатами: Иласское болото – 64.33° N 40.61° E; болото Большой Мох – 63.82° N, 38.50° E; Трофимовское болото – 65.87° N, 44.25° E. Таким образом, расчет траекторий проводился для трех точек с использованием архива данных реанализа метеорологических элементов NCEP/NCAR (REANALYSIS, global, 1948-present) (Татаринцева, Котова, 2021).

В данной работе были рассчитаны обратные траектории движения воздушных масс, которые позволяют выявлять потенциальные источники возникновения той или иной примеси в атмосфере (Дубинкина, 2015). Исходными данными были приняты следующие параметры: старт расчетов в 00 часов UTC; высота приземного воздуха (слоя воздуха над поверхностью) – 50 м; общее время расчета траекторий – 5 суток (120 часов). Расчеты проводили для 30 дней каждого января, апреля, июля и октября за 20-летний период (2001 – 2020 гг.), а также по десятилетиям (2001– 2010 и 2011 – 2020 гг.). В результате был получен массив средних за период данных о траекториях движения воздушных масс для каждого сезона года для трех объектов (предполагалось, что данные за один месяц сезона полностью характеризуют сезон).

Дальнейшие расчеты проводились в Microsoft Excel, где территория Северной Евразии была разбита на ячейки 1°x1° в координатной сетке от 52° до 69° N и от 4° до

180° Е и рассматривалась в качестве пространства, на котором расположены исследуемые объекты и источники загрязнения. Для количественной оценки переноса антропогенных примесей в расчетную таблицу были занесены данные о количестве выбросов примесей (Pb, Cd, As, Zn, Ni, Cr и Cu) от конкретных источников, полученные из сборника (Ежегодник..., 2011) за 2010 год, который содержит наиболее полную информацию. В расчетах учитывались выбросы всех регионов, указанных в сборнике. Уточним, что количественная оценка загрязнения справедлива только для примесей, переносимых на субмикронных частицах аэрозоля (размер частиц $< 10^{-6}$ м), что справедливо для тяжелых металлов. Кроме того, в расчетах учитывались данные о выбросах только российских источников (Татаринцева, Котова, 2021).

Основные расчетные показатели, отражающие загрязнение окружающей среды вблизи исследуемых объектов – это концентрация примеси в приземном слое воздуха и поток примеси на поверхность. Концентрация C_{ij} в воздухе вблизи рассматриваемого объекта, созданная в результате выбросов Q_{ij} примеси на поверхность в ячейке сетки с координатами (i, j) , вычисляется по формуле (10):

$$C_{ij} = (1 - \alpha) Q_{ij} * Z_{ij}, \quad (10)$$

где α – доля примеси, оседающая на поверхность вблизи источника (0.1 – 0.2 см); $Z_{ij}, \text{c}/\text{м}^3$ – функция, характеризующая все атмосферные процессы, влияющие на перенос загрязнителя от ячейки (i, j) к исследуемому объекту, например, осаждение на поверхность, вероятность, длительность и т.д.

Функция Z_{ij} вычисляется с учетом количества попавших в каждую ячейку точек траекторий, среднего времени движения траектории от источника до исследуемого объекта, средней высоты слоя перемешивания, средней длины траекторий, а также средней скорости осаждения примеси на поверхность – подробнее в (Виноградова, 2014). На основе расчетов в программе MapInfo были построены карты-схемы пространственного распределения значений функции Z_{ij} с целью выявления территорий, способных оказывать влияние на состав атмосферного аэрозоля вблизи исследуемых болотных массивов.

Потоки D рассматриваемых примесей из атмосферы на подстилающую поверхность вычисляли по формуле (11):

$$D = C * K * T, \quad (11)$$

где C – концентрация примеси в приземном воздухе; K – скорость осаждения примеси из атмосферы на поверхность; T – длительность периода, для которого вычисляется плотность потока (в данном случае – один месяц).

Скорости осаждения примеси K , см/с, меняются в зависимости от сезона и территории, для которой проводятся расчеты. В данной работе для расчетов были применены следующие значения: январь – 0.16; апрель – 0.87; июль – 1.55; октябрь – 0.73 (Татаринцева, Котова, 2021).

2.3.9 Статистическая обработка результатов

Статистическую обработку результатов проводили при помощи средств Microsoft Excel и программы Statistica 13. В Microsoft Excel усредняли полученные экспериментальные данные и рассчитывали средние квадратичные отклонения. В программе Statistica 13 рассчитывали критерии Манна-Уитни и Краскела-Уоллеса.

Критерий Манна-Уитни – это наиболее мощный аналог t -критерия для двух независимых выборок с распределением, отличным от нормального. Критерий позволяет выявлять различия между малыми выборками – в каждой выборке должно быть не менее 3 значений. Для применения этого критерия необязательно, чтобы выборки были одинакового размера. Если выборки имеют существенные, статистически значимые различия, то расчетное значение критерия $U_{эмп}$ будет меньше $U_{кр}$ (табличное значение, зависящее от размера выборки). Чем меньше $U_{эмп}$ по отношению к $U_{кр}$, тем более достоверны различия (Бондаренко, Жигунов, 2016).

Критерий Краскела-Уоллеса – непараметрический тест, который является аналогом однофакторного дисперсионного анализа для независимых выборок и служит для определения достоверности различий между несколькими выборками. Различия считаются достоверными, если значение уровня значимости критерия (p) не превышает принятого порога 0,05 (Бондаренко, Жигунов, 2016).

3 ВЛИЯНИЕ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА СВОЙСТВА ТОРФА

3.1 Природные условия формирования торфяных отложений

Основным и самым главным условием образования торфа является скопление избыточной влаги на поверхности почвы и насыщенность водой отлагающихся растительных остатков. В свою очередь насыщенность почвы влагой зависит от ряда факторов: климата, строения земной коры, почвенных условий, геоморфологии (рельефа) и характера растительности (Пичугин, 1956; Кац, 1941). Как следствие, процесс торфообразования не зависит от какого-то одного конкретного фактора, но является результатом действия комплекса взаимосвязанных природных условий, образующих благоприятную среду для торфонакопления. При этом разные природные условия приводят к образованию торфа с различными свойствами. На рисунке 14 представлена блок-схема природных факторов, влияющих на процесс торфообразования и, как следствие, свойства торфа.



Рисунок 14 – Блок-схема факторов, влияющих на свойства торфа (составлено автором)

Климат той или иной области зависит в основном от ее географического положения. К характеристикам климата относятся температура, влажность, количество осадков, направление ветра и т. д., которые находятся в тесной связи друг с другом. Так, средняя годовая температура, которая изменяется в меридиональном направлении,

влияет на влажность воздуха (высокое или низкое испарение с поверхности почвы), которая зависит также и от количества выпадающих атмосферных осадков. На интенсивность атмосферных осадков в свою очередь оказывает влияние расположение конкретного района относительно моря или океана и направления господствующих ветров. Таким образом, климатические факторы благоприятно отражаются на торфонакоплении в том случае, если они в совокупности поддерживают избыточное увлажнение, то есть когда при достаточном количестве атмосферных осадков и сравнительно невысокой температуре присутствует большая относительная влажность воздуха и слабое испарение (Пичугин, 1956). Именно этим обусловлено широкое распространение торфяных болот в северных, северо-западных и западных районах нашей страны. По соотношению между количеством выпадающей и испаряющейся воды территория Европейской части России подразделяется на 3 зоны: избыточного увлажнения (воды выпадает больше, чем испаряется), неустойчивого увлажнения (количество осадков более или менее равно количеству испаряющейся влаги) и недостаточного увлажнения (количество испаряющейся влаги превышает количество осадков). Территория юго-восточного Прибеломорья относится к зоне избыточного увлажнения (Кац, 1941).

Геологическое строение также играет немаловажную роль в процессе торфообразования. Особое значение для накопления избыточной влаги имеют верхние горизонты земной коры, а именно, их водопроницаемость. Чем больше в породе пустот и чем они крупнее, тем свободнее по ним продвигается вода, и напротив, если порода сложена из мельчайших частиц, например, иловатых и глинистых, то ее проницаемость ничтожно мала. По уменьшению водопроницаемости горные породы можно расположить в ряд: гравий, крупнозернистый песок, мелкозернистый песок, супеси, суглинки, глины и илы. Таким образом, геологическое строение обеспечивает благоприятные условия для торфообразования в том случае, когда на поверхности земной коры или неглубоко в недрах залегают пласты водонепроницаемых пород – атмосферные осадки скапливаются над этими напластованиями и вызывают избыточное увлажнение. При условии горизонтального положения водоупорных пластов грунтовые воды накапливаются в большом количестве – их верхний уровень поднимается до поверхностных слоев почвы. Известно, что территория Европейского Севера неоднократно подвергалась наплзанию ледников, двигавшихся со стороны

Скандинавского полуострова, которые принесли с собой крупный обломочный материал и массы глины и песка. Эти минеральные отложения (моренные) после таяния ледника оставались на поверхности равнины и в результате покрыли ее мощным слоем. Моренные отложения являются основным покровным материалом на территории Европейского Севера (Кац, 1941).

Рельеф местности состоит из совокупности гряд, низменностей, холмов, равнин. От условий рельефа зависит, прежде всего, распределение воды на поверхности почвы, а также характер торфяных месторождений. Слабо расчлененный рельеф способствует накоплению избыточной влаги, в то время как области с ярко выраженным рельефом не являются средой широкого распространения торфяных болот. Современные геоморфологические условия северной половины Европейской части России обусловлены целой серией геологических процессов, в числе которых необходимо подчеркнуть роль ледников (Пичугин, 1956). На рисунке 15 показаны границы различных оледенений в европейской части России.



Рисунок 15 – Границы оледенений в европейской части России (Тюремнов, 1976)
 1 – валдайское оледенение; 2 – московская стадия днепровского оледенения; 3 – распространение льдов днепровского оледенения; 4 – различные стадии отступления валдайского ледника; 5 – зандры; 6 – аллювиальные равнины

Воздействие ледников выразилось в сглаживании рельефа, уничтожении неровностей по пути следования льда. Вместе со льдом передвигался и минеральный

материал в виде глин и песков, который откладывался в понижениях и тем самым выравнивал рельеф.

Помимо накопления избыточной влаги, как главного условия торфообразования, значительную роль играет минеральный режим почвы. Существует связь между распространением торфяников и почвообразованием – известно, что зона подзолистых почв совпадает с зоной максимального распространения торфяных болот (Кац, 1941). Подзолообразовательный процесс, характерный в пределах умеренного пояса для зоны хвойных и смешанных лесов, связан со значительными изменениями в минеральном режиме почвы. Так, происходит перемещение питательных для растений водорастворимых солей в нижние слои почвы, в результате чего плодородие резко снижается. Это способствует появлению болотных растений, не требовательных в минеральном питании (чаще всего это сфагновые мхи), и последующему заболачиванию почвы. В дальнейшем процесс почвообразования протекает с выделением рудякового горизонта (или ортштейна), для которого характерно наличие солей органических кислот и железистых соединений, которые оседают на поверхности почвенных частиц в виде нерастворимого осадка. Нарастание нерастворимых частиц и постепенная закупорка промежутков между частицами почвы приводит к тому, что горизонт приобретает новое свойство – водоупорность. Это в свою очередь может привести к скоплению избыточной влаги в поверхностных слоях почвы и способствовать появлению влаголюбивой растительности. Таким образом, процесс почвообразования в условиях умеренного климата сам по себе может привести к заболачиванию и в дальнейшем к торфообразованию. Основными причинами являются обеднение почвы минеральными соединениями в связи с образованием подзола и последующее появление неприхотливых к минеральному режиму болотных растений, и с другой стороны, образование рудякового горизонта и накопление в связи с этим влаги в поверхностных слоях почвы (Пичугин, 1956).

Значение растений в процессе торфонакопления не ограничивается только тем, что из их остатков формируется торф. Известно, что и сам по себе растительный покров, и в совокупности с другими факторами среды может влиять на водный режим территории и создавать избыточное увлажнение. Особенно это характерно для сфагновых мхов, которые, ввиду особенностей своего анатомического и морфологического строения, обладают высокой влагоемкостью. Кроме того,

ботанический состав торфа оказывает значительное влияние на его физические свойства. Например, в работе (Крамаренко, 2009) были изучены физические свойства торфов Западной Сибири, принадлежащих к различным группам по ботаническому составу (травяной, древесной и моховой). Корреляционный анализ показал, что ботанический состав влияет на коэффициенты пористости и влажности, плотность, кислотность торфа. Ботанический состав также оказывает влияние на степень разложения и зольность. Интенсивность разложения растений зависит от их механической прочности, химического состава и степени биологической устойчивости, что уже было обсуждено в 1 главе (п. 1.3.4). М.С. Боч и В.В. Мазинг (Боч, Мазинг, 1979) относят ботанический состав к основным характеристикам торфа, определяющим почти все его остальные свойства. Наиболее распространенная классификация торфа основана именно на положении о тесной связи свойств торфа с ботаническим составом.

3.2 Природные свойства торфа Прибеломорья

Для исследования влияния природных условий на свойства торфа исследуемой территории торфяные профили на каждом болоте были визуально разделены на характеристические горизонты (см. п. 2.3). На Трофимовском и Иласском болотах было выделено по 2 горизонта (0-100, 100-150 см и 0-270, 270-350 см, соответственно), а на болоте Большой Мох – 3 горизонта (0-110, 110-180, 180-300 см). Для каждого характеристического горизонта были определены физико-химические показатели: вид торфа, влажность, зольность, степень разложения и кислотность (таблица 5).

Таблица 5 – Физико-химические показатели торфа трех болот

Показатель	Трофимовское		Иласское		Большой Мох		
	Пушицево-сфагновый		Сфагновый верховой		Сфагновый верховой	Древесно-осоковый переходный	
Глубина, см	0-100	100-150	0-270	270-350	0-110	110-180	180-300
Естественная влажность, %	90,5	88,8	93,2	87,9	90,3	87,6	84,9
Зольность, %	1,2	1,1	0,9	1,8	1,1	7,8	21,9
Степень разложения, %	5-10	10-20	5-10	10-15	5-10	25-30	40-50
pH _{KCl}	2,6	2,7	2,9	3,1	2,6	3,1	4,3
pH _{вод}	3,8	3,8	4,3	4,3	3,9	4,4	5,4

Торф исследуемых болот имеет разный ботанический состав. Торфяные отложения Трофимовского болота состоят в основном из сфагновых мхов и пушицы, а с глубиной отмечаются остатки шейхцерии, осоки и незначительное количество древесных остатков. На Иласском болоте состав торфа более однороден – по всей глубине он сложен в большей степени сфагновыми мхами с примесью древесины в нижних горизонтах. Торфяные отложения болота Большой Мох отличаются тем, что верхний слой залежи составляет сфагновый верховой торф, а нижние слои представлены переходным торфом, состоящим в основном из древесных и осоковых остатков.

Торф каждого из трех болот имеет примерно одинаковую естественную влажность, которая несколько снижается с глубиной. В верхних горизонтах влажность изменяется в пределах 90-93 %, а в нижних – 85-89 %. Средние значения зольности в верхней части залежи для всех площадок примерно равны 1 %. Для Трофимовского болота зольность торфа практически не меняется и составляет 1,1-1,2 % по всей глубине залежи. На Иласском болоте, по сравнению с верхним слоем залежи (0,9 %), содержание золы увеличивается примерно в 2 раза на глубине около 3 м (1,8 %). В торфе, отобранном на болоте Большой Мох, происходит значительное увеличение зольности по всему торфяному профилю от 1,1 % в верхнем слое до 21,9 % на глубине 3 м (Чибисова, 2022). Это можно объяснить иным происхождением торфяного болота, относящегося к печорско-онежской болотной провинции, а также тем, что нижние слои торфа относятся к переходному типу. Кроме того, возможно загрязнение торфа подстилающим минеральным грунтом (песок, глина), что отмечалось и при маршрутной разведке торфяного месторождения в 1952 г. (Материалы маршрутной разведки..., 1952 г.).

Торфяные профили также отличаются по степени деструкции торфа и его кислотности (рН). Верхние горизонты всех трех площадок обладают одинаково низкой степенью разложения (не более 10 %), которая закономерно увеличивается с глубиной. Для торфа Трофимовского и Иласского болот максимальная степень разложения не превышает 20 %. Торф нижних горизонтов болота Большой Мох относится к сильно разложившемуся торфу – степень деструкции достигает 50 %.

Кислотность также является и одной из основных агрохимических характеристик. Она обусловлена наличием в торфе свободных кислот (уксусной, муравьиной, щавелевой и др.). Активная кислотность $pH_{\text{вод}}$ связана с наличием ионов водорода и определяется в водных вытяжках. Эта форма кислотности влияет на ткани корней

растений и на обмен веществ между растением и почвой. Обменная кислотность pH_{KCl} , наряду с гидролитической H_g , относится к потенциальной (скрытой) кислотности. Скрытая кислотность обусловлена наличием в почвенном поглощающем комплексе способных к обмену ионов водорода и алюминия, которые могут быть переведены в раствор. Так, обменная кислотность определяется количеством подвижных ионов водорода, переходящих в раствор при обработке торфа нейтральной солью (например, KCl). Менее подвижная часть ионов водорода переходит в раствор только при дальнейшей обработке щелочными солями – ацетатом натрия CH_3COONa , ацетатом кальция $(CH_3COO)_2Ca$ и другими. Ионы водорода, перешедшие в раствор при такой обработке, характеризуют гидролитическую кислотность торфа. Она показывает насыщенность торфа основаниями и служит маркером для установления доз извести при известковании торфа. По степени кислотности (обменной) торф подразделяют на: сильнокислый ($pH = 2,5-3,5$), среднекислый ($pH = 3,5-4,5$), слабокислый ($pH = 4,5-5,5$), нейтральный или близкий к нейтральному ($pH > 5,5$) (Базин и др., 1982). Торф Трофимовского и Иласского болот имеет сильнокислую реакцию среды на всю глубину залежи, что характерно для торфа верхового типа. До глубины около 2 м торф болота Большой Мох также имеет низкое значение pH , а далее с глубиной значения pH смещаются в нейтральную область, что свойственно торфу переходного типа.

Знание о содержании минеральных элементов в торфе имеет большое значение для сельского хозяйства. В таблице 6 представлены результаты определения агрохимических свойств торфяных отложений трех болот: аммиачный и нитратный азот, фосфор, калий, обменные кальций и магний, подвижные формы железа, а также гидролитическая кислотность, массовая доля органического углерода и сумма поглощенных оснований.

Основными элементами питания растений являются азот, фосфор и калий. Азот – жизненно важный элемент для растений, главные источники азота для них – соли азотной кислоты и соли аммония. Азот входит во все белки, нуклеиновые кислоты, хлорофилл и другие органические вещества растений. В торфе практически весь азот находится в недоступной для растений форме в виде органических веществ. Превращение азота в доступные формы происходит в результате деятельности микроорганизмов – минерализации органических азотистых соединений. Несмотря на то, что в органическом веществе торфа находится значительное количество азота (до 4

% на сухую массу), для усвоения растениями доступно не более 2 % общего азота. В торфе азот находится в нескольких формах: легкодоступный для растений (аммиачный и азотный), его содержание в торфе составляет 1-2 % от общего количества; частично доступный (амидный, моноамидный) – 45 %, переводится в доступный путем гидролиза; труднодоступный (диамино-соединения и азот остатка), его содержание в торфе – около 50 %. Наибольшее количество азота находится в гуминовых кислотах, затем в легкогидролизуемых веществах, а наименьшее – в негидролизуемом остатке (Базин и др., 1982).

Таблица 6 – Агрохимические показатели торфа трех болот

Показатели	Трофимовское		Иласское		Большой мох		
	0-100	100-150	0-270	270-350	0-110	110-180	180-300
Глубина, см							
Аммиачный азот, мг/100 г	2,7	3,3	7,5	7,5	10,0	7,5	20,0
Нитратный азот, мг/100 г	1,0	2,7	1,0	2,0	1,0	0,5	1,0
P ₂ O ₅ , мг/100 г	2,7	2,0	5,0	5,0	-	5,0	10,0
K ₂ O, мг/100 г	0,5	0,3	0,4	0,4	0,7	0,4	1,3
Обменный Са мг-экв/100 г	0,039	0,039	0,039	0,042	0,042	0,064	0,2
Обменный Mg мг-экв/100 г	0,031	0,027	0,013	0,039	0,039	0,009	0,037
Подвижные формы Fe, мг-экв/100 г	30,5	25,3	7,2	25,7	15,7	25,7	124,4
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	106,6	110,3	107,1	101,0	107,2	98,2	68,9
Массовая доля Сорг, %	48,5	51,0	50,4	59,1	52,7	57,4	46,6
Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г	110,2	95,2	134,1	85,3	105,3	89,1	113,3

Без фосфора невозможно существование не только высших растений, но и простейших организмов, так как подавляющее большинство процессов обмена происходит при участии фосфорной кислоты. В растениях фосфор содержится в минеральных и органических веществах, причем органический фосфор играет наиболее важную роль – он входит в состав нуклеиновых кислот, которые участвуют в синтезе белков, росте, размножении, передаче наследственной информации и пр. Главный

источник фосфора для растений – соли ортофосфорной кислоты. Органический фосфор находится в основном в гуминовых веществах, а минеральный – в составе солей кальция, алюминия и железа. В почве большая часть фосфора находится в виде труднорастворимых неусвояемых растениями соединений. В торфе основная часть фосфора имеет органическое происхождение, а минеральный фосфор поступает в основном с грунтовыми водами (Базин и др., 1982). На территории Архангельской области известны уникальные месторождения торфа с повышенным содержанием фосфоросодержащих минералов (вивианитовые торфа) (Соколов, Ивко, 2000).

Калий потребляется растениями в больших количествах, особенно такими культурами, как картофель, корнеплоды, травы и пр. Основная часть калия в почве находится в составе первичных и вторичных минералов в малодоступной для растений форме, а также в поглощенном состоянии (обменный и необменный) и в форме простых солей, в виде которых он наиболее доступен растениям, хотя доля его незначительна. Основным источником калия для растений – его обменная форма (Базин и др., 1982).

По сравнению с низинным и переходным торфом, верховой содержит меньшее количество питательных элементов. Например, по данным (Степанова, Покровский, 2011) содержание калия в верховом и переходном торфе составляет 262 и 353 мг/кг, соответственно, а фосфора – 235 и 349 мг/кг. В работе (Царенко и др., 2018) представлены результаты определения агрохимических свойств низинных освоенных почв с различной интенсивностью использования. Содержание подвижных форм фосфора изменяется в пределах от 1,6 мг/100 г (целина) до 20,2 мг/100 г (почва под многолетними травами с низкой интенсивностью антропогенного воздействия и отсутствием ежегодных обработок почвы). Количество подвижного калия варьируется от 6,01 до 13,02 мг/100 г для целины, и от 8,3 до 23,01 мг/100 г для почвы с многолетними травами. Количество легкогидролизуемого азота находится в пределах от 70,1 до 81,7 мг/100 г. В низинном торфе Тюменской области обнаружено от 11,5 до 25,2 мг/100 г подвижных форм калия и от 0,1 до 4,1 мг/100 г фосфора (Моторин, 2018). В низинных торфах северо-восточной части Горного Алтая содержание подвижных элементов: нитратного азота, аммиачного азота, подвижных форм фосфора и калия варьирует соответственно в пределах 32-46; 101-259; 36-107; 24-38 мг/100 г (Шагаева, Шурова, 2010).

Содержание железа в торфе необходимо знать при использовании торфа в качестве субстрата для закрытого грунта (содержание подвижного железа не должно превышать 1 %) и когда торф используется для приготовления органоминеральных удобрений (при содержании валового железа более 5 % торф не пригоден для приготовления таких удобрений). Кроме того, определение двухвалентного и трехвалентного железа важно при исследовании сезонной динамики почвообразовательного процесса (Сергеева, Голубина, 2011).

Сумма поглощенных оснований торфа – это общее количество поглощенных ионов Ca, Mg, Na, K, NH₄, характеризует поглотительную способность торфа и находится в обратной зависимости от гидролитической кислотности. Катионы Ca²⁺ и Mg²⁺ составляют основную часть всех катионов, причем кальций является преобладающим, калий и аммоний представлены в меньшем количестве. В торфе и кислых почвах часть поглощающего комплекса занята ионами водорода (Сергеева, Голубина, 2011). Для верхового торфа характерна низкая насыщенность катионами кальция на любой глубине залежи, содержание магния тоже остается низким. Количество обменных катионов в торфе обуславливает выбор направлений его использования: в качестве удобрений, ионообменных материалов, стабилизаторов и т.д. Насыщенность поглощающего комплекса торфа ионами Ca²⁺, индикатором которой является кислотность, положена в основу промышленной классификации торфа (Базин и др., 1982).

Сравнение агрохимических показателей торфяных отложений трех изучаемых болот показало, что торф болота Большой Мох, особенно его нижние горизонты, значительно отличается как содержанием основных питательных элементов, так и кислотностью (таблица 6). Наибольшее количество аммиачного азота, подвижных форм фосфора и калия отмечается в нижних горизонтах онежского торфа, причем по количеству фосфора его можно сопоставить с низинным торфом (Царенко и др., 2018; Моторин, 2018). Также содержание подвижных форм железа в торфе болота Большой Мох значительно превышает его количество в торфе двух других болот, а гидролитическая кислотность наименьшая. Что касается торфа Иласского и Трофимовского болот, то между собой они отличаются незначительно. Наибольшие различия присутствуют в содержании аммиачного азота и фосфора – на Иласском болоте эти показатели выше в 2,5 и 2,2 раза, соответственно, а также в количестве

подвижных форм железа – в верхнем горизонте торфа Трофимовского болота обнаружено более чем в 7 раз больше железа, чем в верхнем горизонте торфа Иласского болота. Содержание обменных катионов кальция и магния незначительно отличается для трех болот. При этом по сравнению с низинными болотами их количество ничтожно – например, для низинных почв Кировской области сумма обменных катионов кальция и магния составляет от 147 до 215 мг-экв/100 г (Царенко и др., 2018). Массовая доля органического углерода и сумма поглощенных оснований для торфа трех болот также отличаются незначительно.

Таким образом, наибольшие отличия в агрохимических показателях отмечаются для онежского торфа. Это объясняется типом торфа и его ботаническим составом, которые, в свою очередь, сформировались под действием комплекса природных условий. Так, для территории близ г. Онега характерны более высокие значения среднесуточных температур и количества осадков, по сравнению с двумя другими исследованными территориями, наличие песчано-глинистых подстилающих пород со слабой водопроницаемостью, а также слабых ветров с преобладанием юго-восточных и западных направлений (таблица 4). Тем не менее, по сравнению с низинным торфом, торф каждого из исследуемых болот обладает низкой агрохимической ценностью. Содержание азота, подвижных форм фосфора и калия, а также обменных катионов кальция и магния недостаточно, а кислотность, как актуальная, так и потенциальная, высокая (таблицы 5, 6). Это свойственно верховому торфу, и его использование в сельском хозяйстве возможно только после дополнительного улучшения, включающего в себя нейтрализацию и повышение содержания питательных веществ путем добавления соответствующих минеральных удобрений.

Поскольку основным источником накопления торфа являются болотные растения, во многом определяющие химический состав и свойства торфа, а ботанический состав исследуемого торфа различен, закономерно, что групповой химический состав органической части торфа трех болот также имеет ряд отличий. Из торфа были выделены и количественно определены такие группы веществ, как водорастворимые (ВРВ) вещества, битумы (Б), гуминовые кислоты (ГК) и фульвовые кислоты (ФК), легко- и трудногидролизуемые вещества (ЛГВ и ТГВ), а также лигнин (Л) – негидролизуемый остаток. Результаты определения группового химического состава органической части торфа приведены в таблице 7. Данные представлены в виде

интервала значений (% на абсолютно сухую массу торфа), также приведено среднее арифметическое значение со стандартным отклонением.

ВРВ (в нашем случае это вещества, растворимые в горячей воде) состоят в основном из низкомолекулярных соединений фенольной природы и полисахаридов. Доля этих соединений в торфе, особенно верховом, как правило, невелика. Количество ВРВ в торфе в среднем варьируется в пределах от 0,9 до 2 %. Содержание этой группы веществ не меняется по глубине залежи на болоте Большой Мох, снижается на Иласском болоте, а на Трофимовском болоте – возрастает (Чибисова, 2022).

Таблица 7 – Групповой химический состав органической части торфа

Глубина, см	ВРВ, %	Б, %	ГК, %	ФК, %	ЛГВ, %	ТГВ, %	Л, %
Большой Мох (Онежский район)							
0-100	1,1...1,3	1,6...2,9	11,2...11,8	5,6...7,0	49,3...52,3	10,7...12,7	17,2...18,9
Среднее ± СКО	1,2 ± 0,1	2,3 ± 0,4	11,4 ± 0,2	6,3 ± 0,5	50,3 ± 1,3	11,8 ± 0,8	17,9 ± 0,7
110-180	0,9...1,2	5,7...10,6	26,8...32,0	2,9...3,6	17,3...22,2	3,8...4,0	33,9...37,8
Среднее ± СКО	1,1 ± 0,1	7,9 ± 1,8	30,0 ± 2,1	3,3 ± 0,3	19,6 ± 1,8	3,9 ± 0,1	35,3 ± 1,6
180-300	1,0...1,2	2,8...5,2	24,3...30,1	3,0...3,9	19,6...28,8	2,9...4,5	33,0...42,5
Среднее ± СКО	1,1 ± 0,1	3,3 ± 1,2	27,7 ± 2,2	3,5 ± 0,3	23,8 ± 3,3	3,7 ± 0,6	38,0 ± 3,3
Трофимовское болото (Мезенский район)							
0-100	1,2...1,6	2,3...2,5	13,4...15,9	5,2...5,9	46,7...49,6	7,9...12,3	17,3...20,6
Среднее ± СКО	1,4 ± 0,1	2,5 ± 0,2	14,5 ± 1,0	5,5 ± 0,3	48,4 ± 1,1	10,5 ± 1,8	18,6 ± 1,3
100-150	1,7...2,5	3,6...4,9	23,2...26,1	2,2...4,5	35,5...38,2	7,6...9,1	21,4...22,8
Среднее ± СКО	2,0 ± 0,3	4,4 ± 0,5	24,6 ± 1,0	3,3 ± 0,8	37,1 ± 1,1	8,5 ± 0,7	22,1 ± 0,5
Иласское болото (Приморский район)							
0-270	1,5...2,1	3,8...5,7	10,6...15,7	4,6...6,7	42,6...50,4	12,4...13,1	17,3...18,8
Среднее ± СКО	1,9 ± 0,3	4,5 ± 0,8	13,2 ± 1,8	5,7 ± 0,7	45,5 ± 3,3	12,8 ± 0,3	18,2 ± 0,6
270-350	0,7...1,1	5,7...6,3	21,0...23,6	5,8...6,7	23,1...30,4	7,6...10,4	28,3...31,8
Среднее ± СКО	0,9 ± 0,2	6,1 ± 0,2	22,4 ± 0,9	6,2 ± 0,3	27,0 ± 2,6	8,6 ± 1,2	29,8 ± 1,3

Значительные различия отмечаются в содержании битумной (липидной) части торфа. Битумы представляют собой вещества, извлекаемые органическими растворителями (спиртом, эфиром, бензином, ацетоном и пр.). Качественный и количественный состав липидов зависит, в основном, от состава растений-

торфообразователей. По сравнению с растениями низинных болот, верховые растения содержат наиболее стойкие битумные соединения (предельные углеводороды и их производные, воск). С химической точки зрения в состав битумов входят сложные эфиры (жиры и растительные масла), смеси высокомолекулярных одноатомных спиртов (воски) и высокомолекулярных кислот и эфиров этих спиртов. Также в зависимости от экстрагента в состав битумов могут входить парафиновые, циклические терпеновые углеводороды и другие соединения (Базин и др., 1982; Белькевич и др., 1989). Содержание битумов варьируется в пределах от 2,3 до 7,9 % в онежском торфе, от 2,5 до 4,4 % в мезенском торфе и от 4,5 до 6,1 % в архангельском торфе. Причем для Иласского (архангельского торфа) и Трофимовского (мезенского торфа) болот с увеличением глубины залегания увеличивается содержания битумов, а в онежском торфе болота Большой Мох достигает максимума (7,9 %) в горизонте 110-180 см, а затем вновь снижается.

Гуминовые вещества – специфические соединения, которые образуются в процессе торфообразования. Они обладают способностью растворяться в щелочи и осаждаться кислотами. Их подразделяют на несколько фракций: гуминовые (или гумусовые) кислоты, нерастворимые ни в воде, ни в кислотах соединения; фульвовые кислоты, растворимые в кислотах и воде; гиматомелановые кислоты – спирторастворимая фракция. Обычно увеличение в торфе гуминовых кислот сопровождается снижением ЛГВ и ТГВ (Базин и др., 1982). Поскольку формирование торфа – это длительный процесс с постоянно изменяющимися условиями окружающей среды, содержание ГК и ФК значительно изменяется с глубиной залегания торфа. В целом для трех болот происходит увеличение количества ГК с глубиной, хотя в торфе болота Большой Мох, аналогично битумной части, происходит незначительное снижение содержания ГК в нижнем горизонте. Наибольшее количество ГК отмечается в онежском торфе – 30 %. По глубине залегания торфа содержание этой группы веществ находится в пределах 11,4-30,0 % для болота Большой Мох, 14,5-24,6 % для Трофимовского болота и 13,2-22,4 % для Иласского болота. ФК, в отличие от ГК, неравномерно распределены по глубине торфяной залежи трех болот. Снижение содержания ФК происходит в онежском и мезенском торфе, а в архангельском торфе – наоборот (Чибисова, 2022). По показателю глубины гумификации ($C_{ГК}:C_{ФК}$) все исследуемые торфа, кроме самого верхнего горизонта онежского торфа, относятся к

гуматному типу – $C_{ГК}:C_{ФК} > 2$. Горизонт торфа 0-110 см болота Большой Мох относится к фульватно-гуматному типу – $C_{ГК}:C_{ФК} = 1,8$ (Орлов Д. С. и др., 1996).

К легкогидролизуемым соединениям относятся вещества, растворимые в воде только после гидролиза слабыми кислотами: пентозы, гексозы, уроновые кислоты, азотсодержащие вещества белковой природы. К трудногидролизуемым веществам относят целлюлозу, которая подвергается гидролизу под действием концентрированных кислот. Доля ЛГВ и ТГВ в целом снижается в торфе каждого болота с увеличением глубины залегания. Однако так же, как и для других компонентов органического вещества торфа, есть отличия для горизонта 110-180 см в онежском торфе – до уровня примерно 1 м происходит снижение доли ЛГВ и ТГВ, а на уровне около 2 м начинается увеличение (незначительное) содержания этих компонентов. Снижение ЛГВ и ТГВ в торфе свидетельствует о протекании гумификации растительных остатков и образования гуминовых веществ за счет распада биодоступных соединений. Количество ЛГВ в торфе болота Большой Мох варьируется от 19,6 до 50,3 %, от 37,1 до 48,4 % – в торфе Трофимовского болота и от 27,0 до 45,5 % – в торфе Иласского болота. Закономерно, снижение доли ЛГВ и ТГВ в торфе с глубиной приводит к увеличению негидролизуемого остатка (лигнина). Причем в данном случае отличий по содержанию лигнина в торфе трех болот не отмечается (Чибисова, 2022).

Для подтверждения достоверности различий в содержании групп веществ был применен непараметрический критерий Краскела-Уоллеса (ρ), рассчитанный в программе Statistica (таблица 8). Результаты расчета показали, что значение критерия (ρ) не превышает уровня значимости 0,05 для гуминовых кислот и битумов верхних горизонтов торфа, а для нижних горизонтов – для всех проанализированных групп веществ (битумы, гуминовые кислоты, легкогидролизуемые вещества, лигнин). Это свидетельствует о существовании статистически значимых отличий в содержании этих групп веществ (Бондаренко, Жигунов, 2016).

Таблица 8 – Значения критерия Краскела-Уоллеса

Группа веществ	Значение критерия (ρ) при уровне значимости 0,05
Верхние горизонты (0-100, 0-260, 0-110 см)	
Битумы	0,0033
Гуминовые кислоты	0,0338
Легкогидролизуемые вещества	0,1034
Лигнин	0,6449

Продолжение таблицы 8

Нижние горизонты (100-150, 260-350, 180-300 см)	
Битумы	0,0023
Гуминовые кислоты	0,0013
Легкогидролизуемые вещества	0,0015
Лигнин	0,0005

Таким образом, онежский торф обладает наибольшей степенью разложения и зольностью и в то же время имеет менее кислую реакцию среды, чем торф двух других болот. При этом мезенский и архангельский торф незначительно отличается по этим показателям. Агрохимические свойства наиболее значимо отличаются также для онежского торфа – количество аммиачного азота, фосфора и калия в несколько раз превышает содержание эти элементов в торфе других болот и сопоставимо со значением этих показателей для низинного торфа. В целом агрохимические свойства торфа каждого исследуемого болота остаются низкими, и использование такого материала в сельском хозяйстве возможно лишь после нейтрализации и внесения удобрений, однако, при использовании онежского торфа затраты на улучшение торфа будут меньше. Химический состав органической части исследуемых болот различается (в том числе и с глубиной залегания торфа) по содержанию практически всех групп веществ, особенно это касается битумной части и гуминовых кислот. Наибольшее содержание этих групп веществ выявлено также в онежском торфе.

3.3 Антропогенное воздействие

3.3.1 Атмосферный перенос как источник поступления загрязнения

Болота и их компоненты уже более 30 лет используются при мониторинге антропогенного загрязнения окружающей среды, в том числе для оценки атмосферного переноса и выпадений загрязняющих веществ, в странах Европы, Скандинавии и некоторых регионах России. Наиболее часто изучают состояние мхов, являющихся биоиндикаторами загрязнения атмосферы металлами в настоящий момент времени, и торфяные отложения, отражающие динамику накопления поллютантов на разных этапах развития болота (Волкова и др., 2012; Королева, 2010; Пожитков и др., 2020; Шевченко и др., 2011; Hansson et. al., 2015; Schröder et. al., 2013).

В работах (Кузнецова, Ларионов, 2018; Ларионов и др., 2008; Орлов и др., 2017) подтверждена высокая способность торфяных залежей аккумулировать загрязняющие вещества из атмосферы, поверхностных и грунтовых вод для верхового торфа

Архангельской области, способного эффективно поглощать нефтяные разливы, а также сорбировать тяжелые металлы. Основными источниками загрязнения атмосферы региона являются крупные предприятия лесопромышленного и топливно-энергетического комплексов, а также автотранспорт. Отметим, что отсутствие в районе исследований металлургических и горно-обогатительных предприятий не является залогом отсутствия примесей в воздухе – исследования показывают значительное влияние дальнего атмосферного переноса на формирование общего уровня загрязнения атмосферы (Виноградова, Котова, 2018; Тарханов и др., 2004; Шевченко и др., 2009). Известно, что около 20% выбрасываемых в атмосферу загрязнителей переносится воздушными массами за пределы размещения их источников, причем интенсивность влияния отдаленных источников зависит от множества метеорологических факторов: направления и скорости перемещения воздушных масс, устойчивости атмосферы, наличия осадков, температуры воздуха и т.д. (Костарева, 2017). Перенос загрязнений в северных регионах, где время нахождения примесей в воздухе велико, возможен на расстояния до 10 тыс. км (Виноградова, Пономарева, 2012). По некоторым оценкам (Виноградова, Котова, 2018) вклад дальнего атмосферного переноса в загрязнение Европейской части России свинцом, поступающим от источников зарубежной Европы, может достигать 85%.

Исследования антропогенного влияния, в том числе за счет атмосферного переноса аэрозолей, на болотные массивы водосбора Белого моря проводились рядом авторов (Овсепян, Масык, 2010; Потапова, Новиков, 2006; Шевченко и др., 2015; Шевченко и др., 2009). Для болот Архангельской области определяли элементный состав торфяных отложений и химический состав болотных вод. Было показано, что существует вклад атмосферного переноса в загрязнение компонентов болот тяжелыми металлами. Однако исследований о конкретных источниках этих элементов в атмосфере, а также количественных оценок возможного антропогенного воздействия на болотные массивы области за счет атмосферного переноса не проводилось. Стоит отметить, что труднодоступность некоторых болот (например, находящихся в зоне многолетней мерзлоты), а также погодные условия усложняют детальные исследования, поэтому оценить антропогенное влияние достаточно сложно. Дополнительным источником информации могут служить дистанционные методы, в том числе, модельные оценки. Таким образом, задача данной части работы состояла в изучении

влияния атмосферного переноса на загрязнение исследуемых болот антропогенными примесями. Для этого были рассмотрены многолетние закономерности перемещения воздушных масс к районам исследования, выявлены основные регионы-источники загрязнителей, определены концентрации в приземном слое воздуха и потоки элементов Pb, Cd, As, Zn, Ni, Cr и Cu на поверхность болот (Татаринцева, Котова, 2021).

На основе расчетов траекторий движения воздушных масс были построены карты-схемы распределения значений функции Z , показывающей влияние различных регионов России на состав атмосферного аэрозоля вблизи районов исследования, за период с 2001 по 2020 гг. в зимние и летние месяцы. Различный цвет областей на картах характеризует степень влияния территории на состав воздуха: красный цвет – максимальное влияние, синий цвет – минимальное. Так как изучаемые болота расположены в пределах юго-восточного Прибеломорья, и в масштабах переноса воздушных потоков их расстояние друг от друга можно считать несущественным, визуальнo карты-схемы сходны для трех исследуемых объектов, и поэтому для удобства представлены для одного объекта – Иласского болота (рисунок 16). Карты-схемы для болот Большой Мох и Трофимовское представлены в Приложении А (рисунки А.1 и А.2).

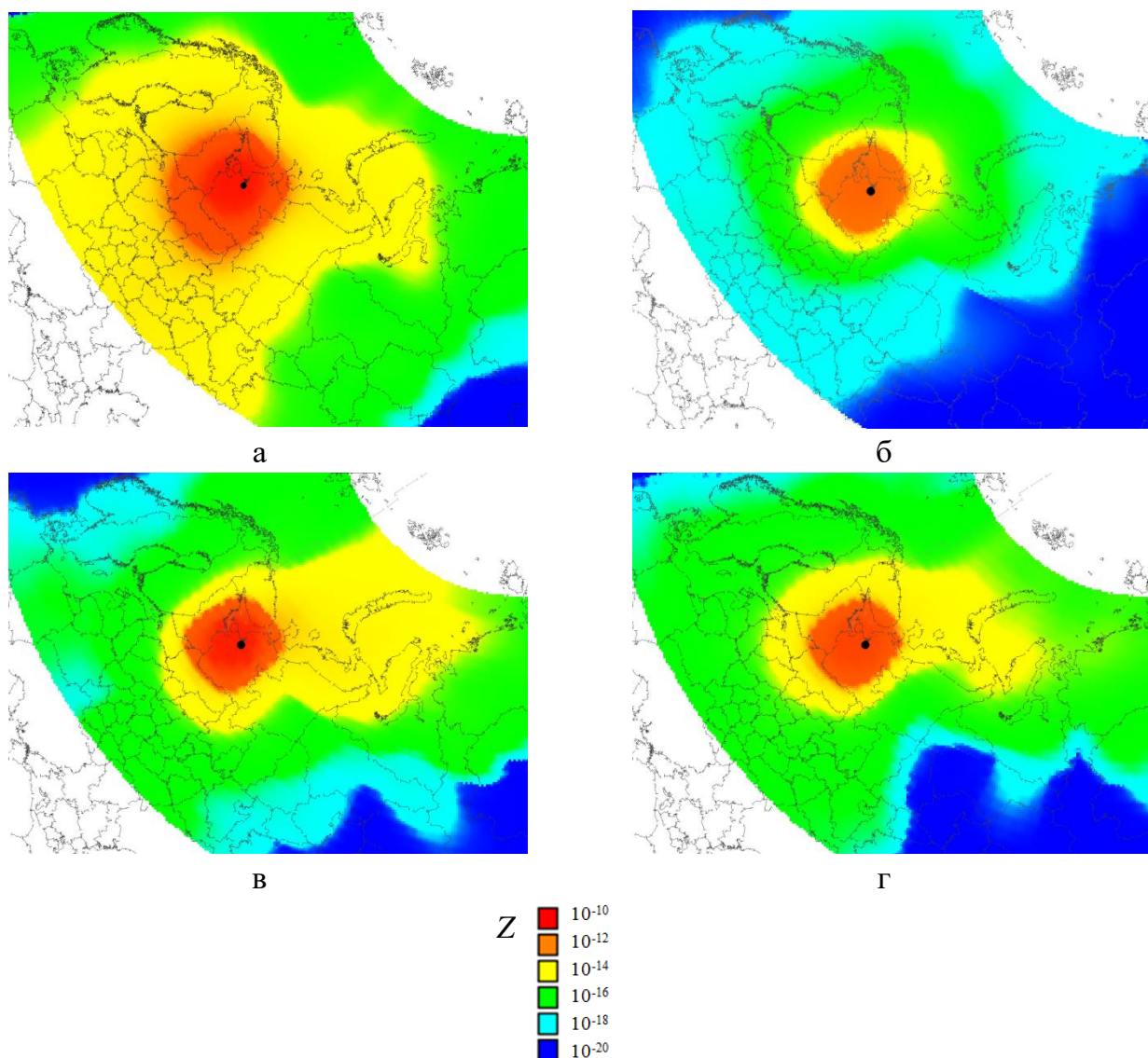


Рисунок 16 – Карты-схемы распределения значений функции Z , показывающей влияние различных регионов России на состав атмосферного аэрозоля вблизи Иласского болота за период с 2001 по 2020 гг.: а – зимой, б – летом, где красный цвет – максимальные значения функции, синий цвет – минимальные значения функции

Анализ карт-схем показал, что значительное влияние на процессы перемещения воздушных масс оказывает сезон года. Так, в зимние месяцы (рисунок 16 а) происходит максимальное расширение ареала территорий, способных оказывать влияние на исследуемые объекты. В частности, значительные смещения отмечены на юг и запад, что во втором случае свидетельствует о выраженном влиянии воздушных масс, проходящих над территориями таких европейских стран как Финляндия, Швеция, Норвегия. Несмотря на то, что в данной работе вклад зарубежных стран не учитывался, этот факт необходимо принять во внимание.

Иная картина наблюдается в летний сезон (рисунок 16 б), в период которого воздушные массы циркулируют на наиболее близком расстоянии от объектов исследования. В весенний и осенний периоды ареал влияния смещается в северном и северо-восточном направлениях (рисунок 16в, г). В действительности большую часть года в на исследуемой территории преобладают ветры юго-восточного, южного и юго-западного направлений, а зимой и весной возможно влияние северных ветров (Северное управление по гидрометеорологии...,2019).

В таблице 9 представлены основные регионы-источники примесей и мощности их выбросов (Ежегодник...,2011) (для каждого элемента полужирным шрифтом выделены наиболее мощные источники).

Таблица 9 – Мощности выбросов в атмосферу элементов (т/год) с территорий городов и регионов России за 2010 год

Источник	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cr	Cu
г. Мончегорск	4,4	-	2,3	-	1,7	0,002	457,1
Мурманская область*	0,4	0,02	1,3	-	306,2	0,43	150,4
г. Норильск	14,2	-	0,001	0,001	320,2	0,13	315,2
г. Петрозаводск	0,04	-	-	0,47	0,48	1,8	1,1
Республика Башкортостан	0,29	0,01	-	-	-	1,3	12,1
Новгородская область	1,2	0,08	0,33	8,5	0,06	0,25	3,6
Пермский край	0,09	0,005	-	2,5	0,87	6,1	1,7
Свердловская область	85,6	9,9	133,9	745,0	16,5	53,9	448,1
Московская область	1,7	1,1	3,6	-	0,03	7,1	2,2
Челябинская область	5,2	0,3	0,73	-	0,49	6,6	15,2
Ленинградская область	0,06	-	0,01	2,5	0,08	28,2	0,08
Кировская область	0,11	-	0,04	6,3	0,03	0,41	2,0
Владимирская область	2,4	-	0,14	-	-	0,87	4,3
Вологодская область	0,03	-	-	7,1	0,03	0,34	1,2

*Без города Мончегорска

При сопоставлении карт-схем распределения функции Z с данными таблицы 9, а также с исследованиями других авторов (Виноградова, Пономарева, 2007; Виноградова и др., 2008; Стародымова и др., 2016), можно констатировать влияние определенных источников на состав атмосферного аэрозоля вблизи района исследований.

Самым мощным регионом-источником Ni и Cu на севере Европы является Мурманская область (предприятия городов Никель и Мончегорск, а также другие

горнорудные и металлургические компании области). Характерно, что, независимо от сезона года, данный регион попадает в область максимальных значений функции Z . В работе (Гинзбург, Виноградова, 2008) показаны средние распределения металлов в воздухе над севером Евразии и морями в 1990-х годах от двух источников: предприятий Кольского полуострова и города Норильск. На рисунке 17 видно, что исследуемая территория подвержена влиянию обоих источников, однако, в большей степени источников Кольского полуострова.

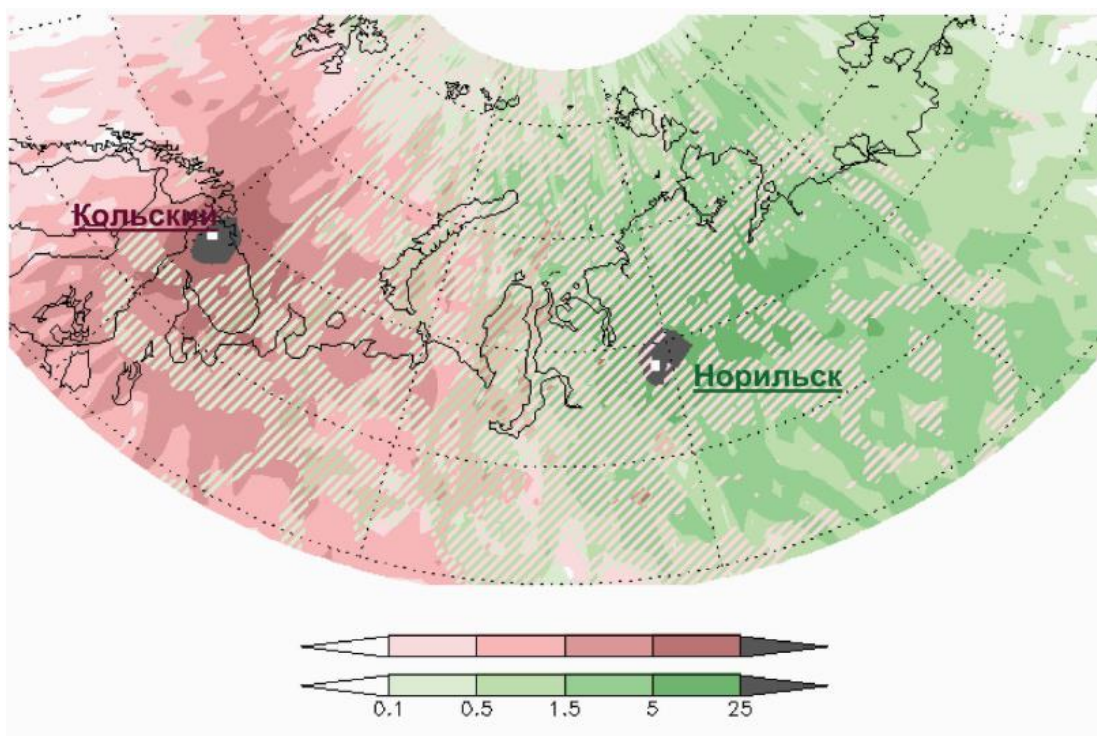


Рисунок 17 – Средние распределения металлов от двух источников в воздухе над севером Евразии и морями Северного Ледовитого океана (январь, 1990-е годы, усл. ед.) (Гинзбург, Виноградова, 2008)

В зимний период можно ожидать влияния выбросов предприятий, расположенных на юге, юго-западе и юго-востоке страны (Московская, Свердловская, Новгородская области, Пермский край и др.), а также Красноярского края, влияние которых усиливается также в весенний и осенний периоды.

При анализе межсезонных вариаций накопления примесей в атмосфере было выявлено, что наибольшие концентрации всех элементов в воздухе должны быть в зимний период. Такая тенденция отмечена и в других работах (Виноградова, 2014; Виноградова, Иванова, 2013; Виноградова, Иванова, 2016). Данный факт обусловлен, в первую очередь, метеорологическими особенностями сезона, а также более широким

ареалом поступления аэрозольных примесей, что хорошо иллюстрируют карты-схемы пространственного распределения функции Z (рисунок 16). Таким образом, значительные количества элементов выпадают на поверхность болотных массивов в зимний сезон и накапливаются в снежном покрове. При таянии снега часть из них поступает в водотоки, резко повышая антропогенную нагрузку весной и в начале лета, а другая часть остается в торфяной залежи. Дальнейшая миграция металлов во многом зависит от свойств торфа и климатических параметров сезона года, и является отдельным вопросом для изучения.

Для трех исследуемых болот из рассматриваемых элементов наибольшие концентрации в приземном слое, а также значительные потоки на подстилающую поверхность за 20-летний период определены для меди (Cu), никеля (Ni) и хрома (Cr) (таблица 10). Важным фактором накопления этих примесей в атмосфере является не только сезон года, но и расположение болот относительно предполагаемых источников загрязнения.

Таблица 10 – Средние за 20 лет (2001–2020 гг.) годовые потоки металлов на поверхность трех болот, мкг/м²/год

Иласское болото						
Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cr	Cu
9,6	0,34	9,6	33,8	186,2	320,1	801,6
Болото Большой Мох						
9,5	0,36	5,9	39,3	171,5	68,6	463,2
Трофимовское болото						
8,0	0,42	9,9	24,9	495,5	11,8	585,8

Анализ данных за 20-летний период показал, что преобладающим поллютантом для всех территорий является медь – расчетные концентрации этого металла в приземном слое воздуха в разы превышают значения для остальных металлов. Рисунок 18 иллюстрирует сезонные вариации концентрации в воздухе, а также потоки меди на поверхность в период с 2001 по 2020 гг. для трех болот. Хорошо видно, что максимальное содержание Cu в воздухе предполагается зимой. Наиболее подвержено загрязнению медью Иласское болото, где расчетные годовые потоки меди на поверхность болота превышают потоки металла в 1,4-1,7 раза для двух других болот. Анализ данных о траекториях прохождения воздушных масс показал, что самым

мощным источником меди для трех болот являются предприятия г. Мончегорск, причем преобладающая часть металла поступает именно в зимний период.

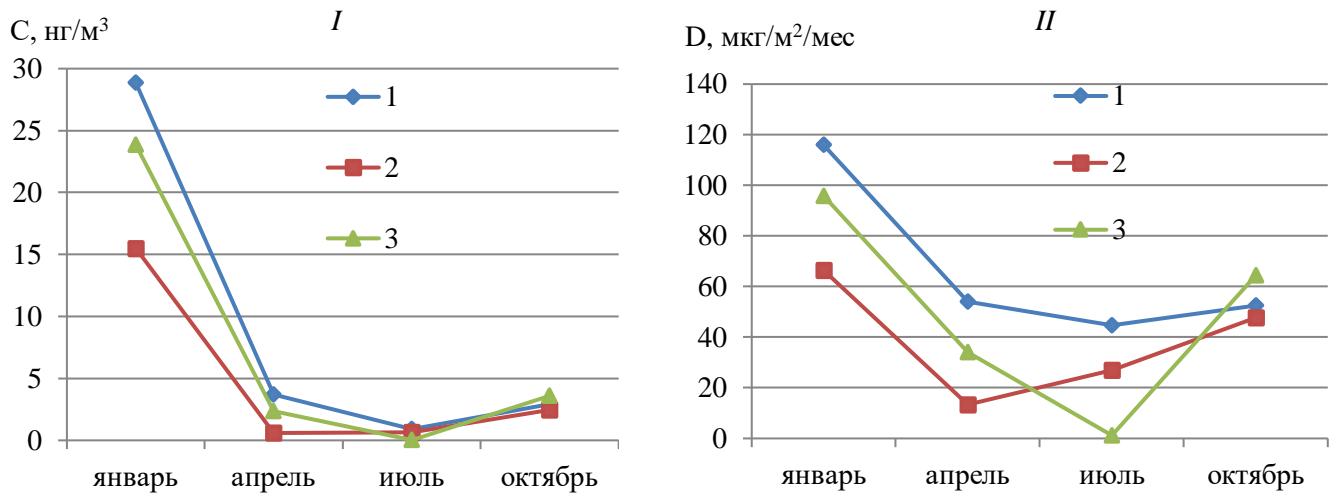


Рисунок 18 – Сезонные вариации концентрации в воздухе – С (I) и потока на поверхность – D (II) меди за период с 2001 по 2020 гг.: Иласское болото (1), болото Большой Мох (2) и Трофимовское болото (3)

Среди других источников также можно отметить предприятия Мурманской области (без г. Мончегорска), влияние которых особенно проявляется для территории Мезенского района, и г. Петрозаводск, влияние которого значительно меньше (рисунок 19).

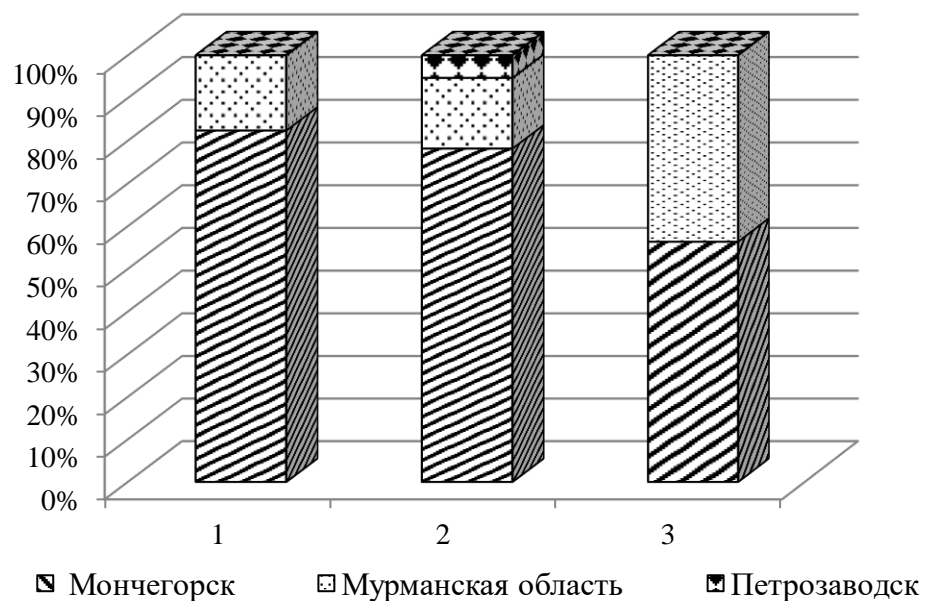


Рисунок 19 – Вклад основных источников в загрязнение воздуха меди зимой (январь) за период с 2001 по 2020 гг.: Иласское болото (1), болото Большой Мох (2) и Трофимовское болото (3)

Основной и самый мощный источник антропогенного никеля располагается также на территории Мурманской области. Интересно отметить, что, хотя максимальная концентрация элемента в воздухе отмечена в зимний период, он также в значительных количествах накапливается весной и осенью (рисунок 20). Загрязнение никелем наиболее характерно для Трофимовского болота, при этом увеличение концентрации в воздухе происходит не за счет влияния других мощных источников, например, г. Норильска, расположенного ближе к Мезенскому району, а вследствие увеличения переноса примесей с территории Мурманской области. На рисунке 20 также показано, что для Трофимовского болота изменение потока никеля на подстилающую поверхность происходит скачкообразно, а максимальный поток наблюдается в осенний период. К сожалению, этот эффект может быть обусловлен некорректностью параметризации скорости осаждения примесей из атмосферы в переходные сезоны для этого (самого северного) пункта, где апрель и октябрь – скорее зимние месяцы (Татаринцева, Котова, 2021).

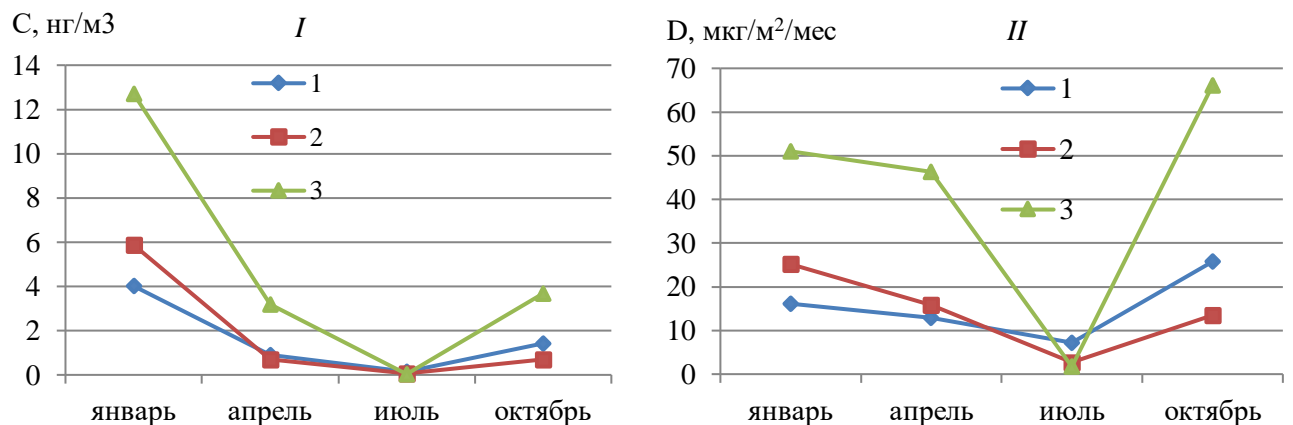


Рисунок 20 – Сезонные вариации концентрации в воздухе – С (I) и потока на поверхность – D (II) никеля за период с 2001 по 2020 гг.: Иласское болото (1), болото Большой Мох (2) и Трофимовское болото (3)

Среди большого количества источников поступления хрома в атмосферу наиболее значимыми для объектов исследования являются Новгородская область, Петрозаводск, Республика Татарстан и Пермский край. Кроме того, обнаружено множество источников, чей вклад в загрязнение атмосферы хромом незначителен, однако, в сумме они дают достаточно высокие концентрации в воздухе (рисунок 21). Поступление хрома в атмосферу происходит за счет выбросов предприятий черной металлургии, а также сжигания топлива, главным образом, угля.

Наибольшая концентрация в воздухе и поток хрома на поверхность получены для Иласского болота, где основным источником поступления металла является Новгородская область. Интересно отметить, что, несмотря на максимальную концентрацию металла в воздухе зимой, наибольший поток на поверхность приходится на весенний период (17,7 и 42,3 мкг/м²/месяц для января и апреля соответственно). Для болота Большой Мох преобладающими являются 2 источника – Петрозаводск и Новгородская область, вклады которых практически равнозначны. Минимальные концентрации хрома обнаружены для торфа Трофимовского болота.

На примере хрома четко видно, что определяющим фактором загрязнения атмосферы является не только мощность выбросов конкретного источника, но и процессы циркуляции воздушных масс. Несмотря на значительное количество выбросов элемента в Свердловской области и Республике Татарстан (таблица 9), эти источники не являются основными и вносят лишь незначительный вклад в загрязнение атмосферы. Так, вклад Свердловской области в загрязнение Иласского болота хромом составляет всего 2,4% от общего количества, Республики Татарстан – 3,9 %, а вклад Новгородской области, где выбросы элемента на порядки ниже, составляет 47,9%.

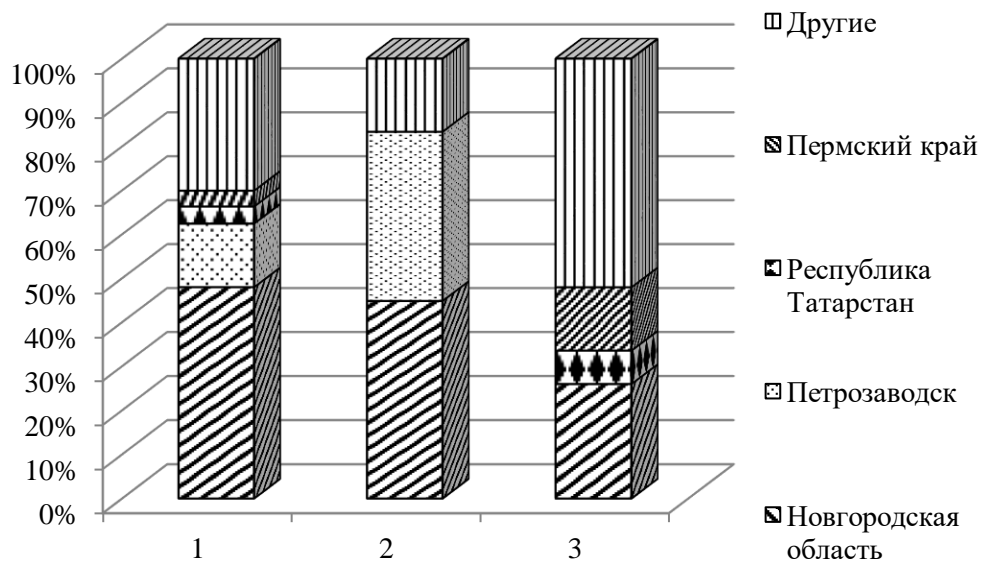


Рисунок 21– Вклад основных источников в загрязнение воздуха Cr зимой (январь) за период с 2001 по 2020 гг.:Иласского болота (1), болото Большой Мох (2) и Трофимовское болото (3)

Сезонные вариации свинца (Pb), кадмия (Cd), мышьяка (As) и цинка (Zn) аналогичны данным, представленным на рисунке 18 – максимальные концентрации

элементов в воздухе отмечены в январе. Значительных отличий в их территориальном распределении не обнаружено, в то время как вклады различных регионов в загрязнение воздуха вблизи трех болот неодинаковы (рисунок 22).

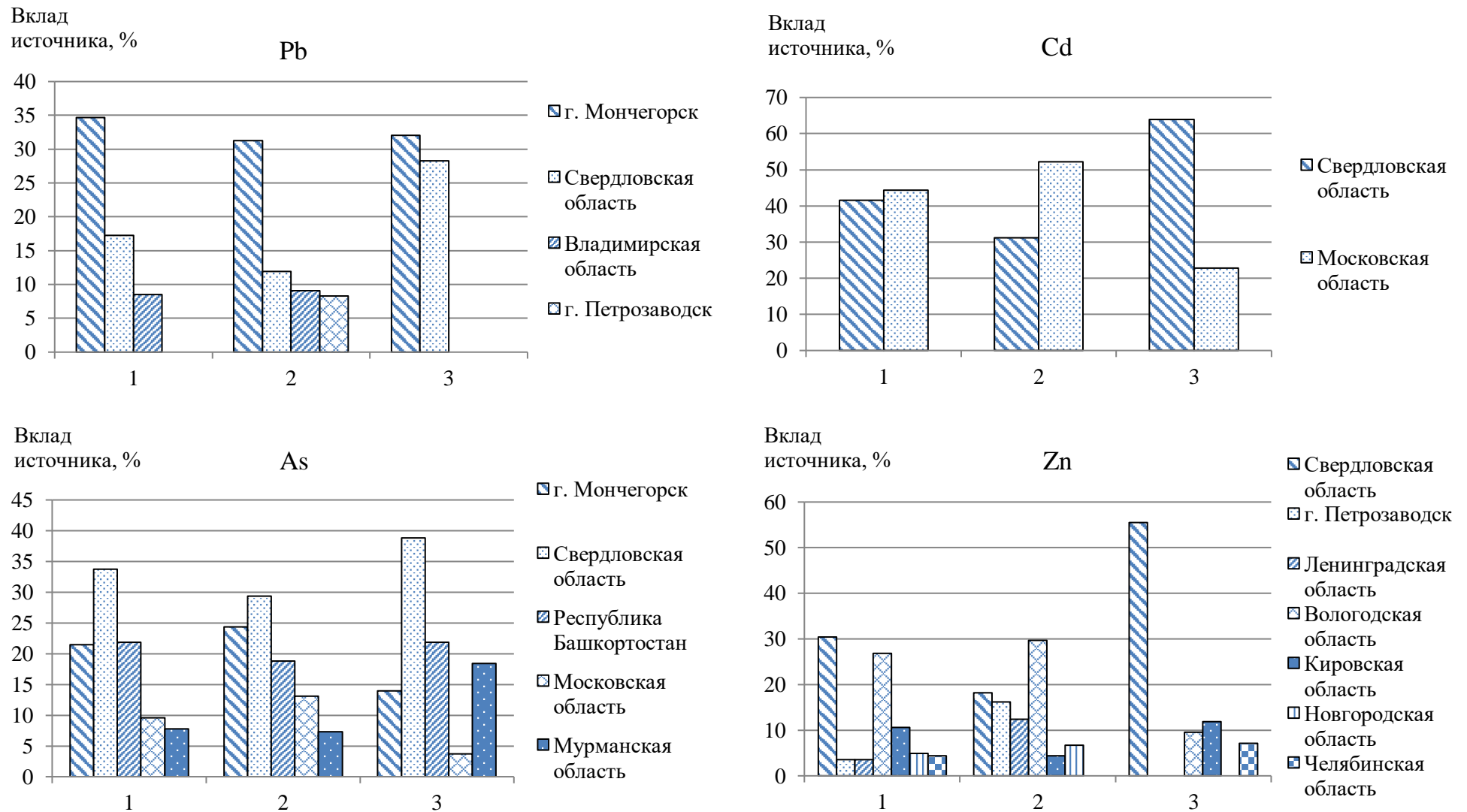


Рисунок 22 – Вклад основных источников в загрязнение воздуха Pb, Cd, As и Zn зимой (январь) за период с 2001 по 2020 гг.: Иласское болото (1), болото Большой Мох (2) и Трофимовское болото (3)

Основными источниками антропогенного свинца для трех болот являются г. Мончегорск и Свердловская область, причем наибольшее влияние Свердловская область оказывает на Трофимовское болото. Отметим вклад Владимирской области (особенно для Иласского болота и болота Большой Мох), а также влияние предприятий г. Петрозаводска, которое в наибольшей степени проявляется для болота Онежского района (возможно, ввиду наиболее близкого расположения). Более 80% поступления кадмия приходится на источники Свердловской и Московской областей. Как и в случае со свинцом, выбросы с территории Свердловской области оказывают наибольшее влияние на болото в Трофимовское болото. Для мышьяка и цинка имеется большее число источников поступления. Свердловская, Мурманская, Московская области, Мончегорск и Республика Башкортостан – основные источники As. Перенос цинка (помимо Свердловской области) происходит с территорий Вологодской, Кировской, Ленинградской, Новгородской и Челябинской областей, а также Петрозаводска.

В расчетах межгодовых вариаций загрязнений средние за год значения интенсивности выбросов оставались неизменны. Полученные за десятилетия 2001-2010 гг. и 2011-2020 гг. изменения в потоках металлов в данном случае обусловлены только изменением атмосферных процессов, влияющих на перенос примесей. В таблице 11 представлены концентрации в воздухе и потоки тяжелых металлов на поверхность исследуемых болот за два десятилетия (2001-2010 гг. и 2011-2020 гг.), а также для сравнения приведены данные других авторов.

Для трех исследуемых болот в последнее десятилетие (2011-2020 гг.) наблюдается увеличение поступления свинца, кадмия, мышьяка и цинка, причем в некоторых случаях повышение концентрации в воздухе происходит более чем в 2 раза. Потоки металлов на поверхность также увеличиваются. Исключение составляют потоки свинца и мышьяка на территорию Иласского болота, где выпадение этих элементов в последние 10 лет (с 2011 по 2020 гг.) ниже. Концентрации никеля и хрома в приземном воздухе во втором десятилетии незначительно снижаются на всей рассматриваемой территории, в то время как для меди снижение наблюдается лишь для территории Иласского болота (Татаринцева, Котова, 2021).

Таблица 11 – Концентрации в воздухе и потоки элементов на поверхность за два десятилетия (2001-2010 гг. и 2011-2020 гг.)

Объект исследования	Средняя за год концентрация в воздухе (2001-2010 гг.), нг/м ³							Источник
	Pb	Cd	As	Zn	Ni	Cr	Cu	
Иласское болото	0,16	0,006	0,19	0,58	1,7	2,5	10,4	Эта работа
Болото Большой Мох	0,11	0,006	0,06	0,59	2,5	1,3	5,3	
Трофимовское болото	0,10	0,004	0,11	0,26	5,9	0,17	8,0	
Земля Франца-Иосифа	0,08	0,004	0,01	0,26	0,11	0,03	0,16	(Виноградова, Пономарева, 2013)
Северная Земля	0,06	0,004	0,02	0,22	0,13	0,06	0,20	(Виноградова, Пономарева, 2013)
Костомукшский заповедник	-	-	-	-	0,24	-	0,53	(Виноградова, Иванова, 2013)
Беломорская биологическая станция	-	-	-	-	1,2	-	4,5	
Арктическая Финляндия*	4,6	-	-	-	0,97	-	14,1	(Lainget. al., 2014)
Белое море**	-	0,02	-	-	0,40	-	7,6	(Голубева и др., 2013)
Средняя за год концентрация в воздухе (2011-2020 гг.), нг/м ³								
Иласское болото	0,18	0,008	0,18	0,80	1,5	1,8	8,0	Эта работа
Болото Большой Мох	0,19	0,007	0,13	0,81	1,4	1,0	6,3	
Трофимовское болото	0,20	0,02	0,28	0,99	3,8	0,29	8,5	
Беломорская биологическая станция***	-	-	-	-	4,0	-	3,0	(Стародымова и др., 2016)
Годовые потоки на поверхность (2001-2010), мкг/м ² /год								
Иласское болото	10,4	0,33	10,4	32,6	221,0	341,5	949,7	Эта работа
Болото Большой Мох	9,1	0,36	5,4	35,4	250,9	79,2	628,4	
Трофимовское болото	7,0	0,32	7,8	19,0	609,7	10,3	582,5	
Земля Франца-Иосифа	6,8	0,35	0,88	21	9,9	2,4	14	(Виноградова, Пономарева, 2013)
Северная Земля	4,3	0,27	1,2	15	9,5	3,9	15	(Виноградова, Пономарева, 2013)
Костомукшский заповедник	-	-	-	-	18	-	46	(Виноградова, Иванова, 2013)
Беломорская биологическая станция	-	-	-	-	140	-	610	
Годовые потоки на поверхность (2011-2020), мкг/м ² /год								
Иласское болото	9,8	0,42	9,6	41,3	160,8	298,0	702,5	Эта работа
Болото Большой Мох	11,5	0,42	7,6	51,7	115,3	69,6	452,9	
Трофимовское болото	17,6	1,4	24,4	94,3	392,7	18,6	758,2	

*1964-2010 гг.; **2009-2010 гг.; ***2013 г.

Сравнение полученных данных с работами других авторов показало, что зачастую сопоставить результаты модельных оценок для различных объектов достаточно сложно, особенно это касается никеля, хрома и меди. Концентрации и потоки этих металлов для исследуемых нами болот в разы превышают значения, полученные для Костомукшского заповедника (Виноградова, Иванова, 2013), Земли Франца-Иосифа и Северной Земли (Виноградова, Пономарева, 2013). В то же время значения, полученные в работе (Виноградова, Иванова, 2013) для Беломорской биологической станции, сопоставимы с результатами в данной работе, а измерения, проведенные в Финляндии, превышают полученные в этой работе значения для меди (Laing et. al., 2014). Подобные отличия могут быть связаны как со скоростью осаждения примесей на поверхность, которая зависит от сезона года, так и с расположением рассматриваемых объектов по отношению к источникам загрязнения. На исследованных нами территориях неодинаковы длительности сезонов, в частности, зима заметно длиннее лета, а переходные сезоны могут продолжаться более 3 месяцев. Это может быть одной из причин неточности в расчетах годовых потоков тяжелых металлов.

Расположение территорий, с которыми сравнивали полученные данные, относительно источников загрязнения и объектов нашего исследования также имеет значение. Так, Костомукшский заповедник расположен западнее изучаемых болот и, что особенно важно, южнее основных источников элементов – предприятий Кольского полуострова, поэтому закономерно, что при западном переносе территория заповедника загрязняется значительно меньше. Сравнение полученных данных со значениями потоков элементов для территории Беломорской биологической станции подтверждает это объяснение – расположение станции относительно источников примесей обуславливает высокий уровень загрязнения металлами, особенно никелем и медью. Кроме того, в данной работе учтены потоки элементов от источников, расположенных только на территории России, при этом вклад европейских стран может быть значительным (рисунок 16). Таким образом, данный метод дает представление об основных источниках загрязнения, позволяет выявить многолетние тенденции переноса воздушных масс и приблизительно оценить количество примесей в воздухе и на поверхности исследуемых территорий. Однако результаты расчетов зависят от

качества метеорологической информации, способа расчета, а также полноты и достоверности официальных данных о выбросах примесей в атмосферу (Татаринцева, Котова, 2021).

3.3.2 Металлы и мышьяк в торфе

Несмотря на общемировую тенденцию снижения выбросов загрязнений в окружающую среду (Водяницкий, 2013), металлы (в том числе элементы 1 и 2 классов опасности) остаются в числе наиболее распространенных поллютантов. Основные источники загрязнения торфяных залежей опасными элементами – атмосферные выпадения из стационарных источников (промышленных объектов черной и цветной металлургии, энергетики и производства минеральных удобрений), гидрогенное загрязнение промышленными сточными водами, разливы нефти и солевых растворов, отвалы золы, шлака, руд, шламов, свалки бытовых отходов и автотранспорт. Большая часть торфяных болот исследуемого района не подвергаются прямому антропогенному воздействию. Однако на территории Архангельской области расположены предприятия лесопромышленного и топливно-энергетического комплексов, космодром и ядерный полигон, которые оказывают свое влияние на экологическую обстановку (Доклад..., 2021). Кроме того, как было показано выше (п. 3.2.1), через эту территорию проходят воздушные массы, способные приносить с собой антропогенные примеси от различных источников, включая мощные промышленные регионы (Мурманскую и Свердловскую области, Красноярский край и др.), а также стран Европы (Татаринцева и др., 2022).

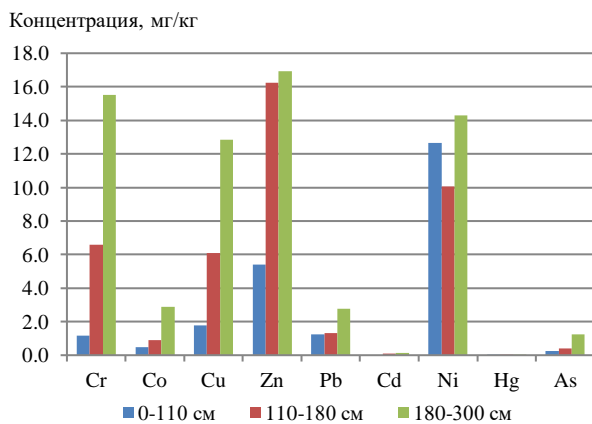
Таким образом, изучение содержания металлов в торфяных отложениях болот юго-восточного Прибеломорья – актуальная задача. Это необходимо не только для мониторинга состояния болотных экосистем и контроля атмосферных выпадений примесей, но и для оценки качества и чистоты торфа как сырья для последующей переработки. Для рассматриваемого района имеются отдельные исследования, посвященные содержанию металлов в торфяных почвах (Зыкова и др., 2018; Яковлев и др., 2020; Сыпалов и др., 2020). Наиболее изучено в этом отношении Иласское болото, которое является базой для многолетних исследований широкого круга специалистов. Что касается болот Большой Мох и Трофимовское, то публикации по данной тематике отсутствуют. Цель данной части

работы заключается в изучении и оценке содержания металлов (Cr, Co, Cu, Zn, Pb, Cd, Ni, Hg) и As в торфяных отложениях трех болот региона и их сравнение между собой.

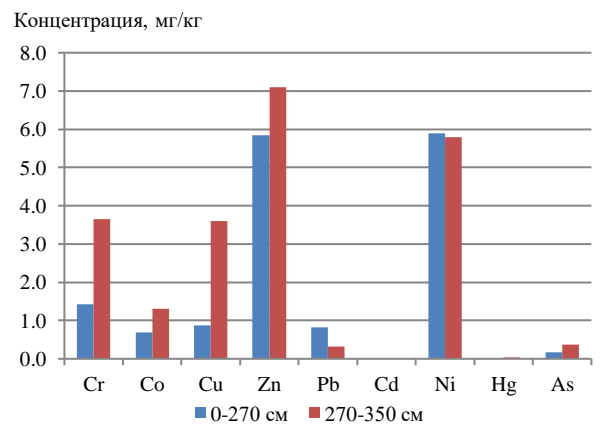
Большая часть исследуемых металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Hg) относится к халькофильным элементам (имеют выраженное сродство к сере и концентрируются вместе с серой в гидротермальных месторождениях). Они подвижны и слабоподвижны в окислительной и глеевой среде, инертны в восстановительной сероводородной среде. Все металлы такого рода обладают большой способностью концентрироваться в глубоких частях земной коры. В биосфере они в основном рассеяны, некоторые сильно ядовиты. Наиболее биофильным и подвижным элементом среди халькофильных металлов считается цинк. Он имеет постоянную валентность, поэтому главное влияние на его миграцию оказывают изменение кислотно-щелочных условий, сорбционные процессы, а также гидролиз и комплексообразование. Ввиду поливалентности меди, большое влияние на ее миграцию и концентрацию оказывают окислительно-восстановительные условия. Медь – отличный комплексообразователь, обладает хорошими адсорбционными свойствами, поэтому легко сорбируется из вод глинистыми и органическими коллоидами (в том числе торфом) (Перельман, Касимов, 1999). Никель относительно распространенный металл, относящийся к сидерофильным водным мигрантам. Концентрация никеля снижается в ряду от ультраосновных до кислотных пород, а в щелочных породах он содержится в наименьшем количестве. Также никель может присутствовать в углеродистых (карбонатовых, карбонатных) породах и в железо-марганцевых осадочных отложениях по причине его способности адсорбироваться на железо-марганцевых гидроксидах. Его биофильность в биосфере довольно низкая, в гидросфере подвижность никеля высокая при низких значениях pH. Никель токсичный и канцерогенный элемент, его сульфаты и хлориды относятся к опасным веществам (Salminen et. al., 2004).

В результате исследования было выявлено, что количество металлов и их распределение в торфе исследуемых болот неодинаково. В торфе болот Большой Мох и Иласское в наибольшем количестве обнаружены цинк, хром, медь и никель, причем максимальные концентрации этих элементов зарегистрированы в нижних горизонтах онежского торфа (рисунок 23 а). Тенденции увеличения содержания

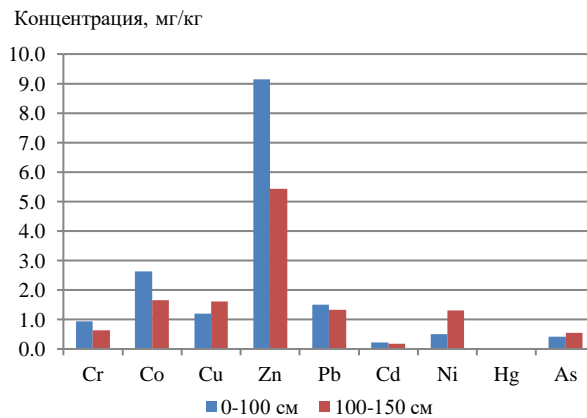
этих элементов в торфе с глубиной сохраняются и для Иласского болота, однако, количества элементов более чем в 2 раза ниже (рисунок 23 б). Для торфа Трофимовского болота наиболее характерно накопление цинка, а количество остальных элементов не так значительно. При этом прослеживается тенденция накопления элементов в верхних слоях торфа (рисунок 23 в). По данным (Salminen et. al., 2004) для территории Баренцева региона (зона северной тайги) в органическом слое почвы концентрации цинка могут варьироваться в пределах 6,1-312 мг/кг, хрома 1,0-88,6 мг/кг, меди 1,37-1950 мг/кг, а никеля 0,92-2610 мг/кг, что свидетельствует о широкой вариабельности возможных результатов.



а



б



в

Рисунок 23 – Содержание элементов в торфе болот Большой Мох (а), Иласское (б), Трофимовское (в)

Содержание Co, Pb, Cd, Hg и As значительно ниже, чем вышеупомянутых элементов. Например, по всему профилю залежи торфа Иласского болота концентрации Cd ниже предела обнаружения (0,01 мг/кг), а количество Hg не превышает 0,03 мг/кг. Следовые количества Cd обнаружены в верхних горизонтах

торфа Большой Мох, а концентрация Hg не превышает 0,04 мг/кг по всему профилю залежи. Содержание Pb и As в онежском торфе несколько выше, чем в архангельском и мезенском торфе. Максимальные концентрации этих элементов характерны для нижних горизонтов онежского торфа, и составляют 2,8 мг/кг и 1,3 мг/кг, соответственно, в то время как в архангельском торфе содержание Pb не превышает 0,8 мг/кг, As – 0,4 мг/кг, а в мезенском – 1,5 мг/кг Pb и 0,5 мг/кг As. Максимальные концентрации Co отмечены для нижнего горизонта онежского торфа – 2,9 мг/кг, тогда как в архангельском торфе не более 1,3 мг/кг, а в мезенском – 2,6 мг/кг (рисунок 23).

В таблице 12 приведены максимальные зарегистрированные концентрации металлов (в мг/кг) в торфе Иласского (ИБ), Трофимовского (ТБ) болот и болота Большой Мох (БМ), а также других болот Архангельской (АО), Псковской (ПО), Томской (ТО), Тверской (ТВО) областей, полученные нами и другими авторами. Сравнение полученных нами результатов с данными других авторов показывает, что в целом значения концентраций металлов сопоставимы, а скачки концентраций элементов могут быть вызваны локальным загрязнением, поступающим от близлежащих промышленных объектов с атмосферными потоками или иными путями (Татаринцева и др., 2022).

Таблица 12 – Сравнение полученных результатов с данными других авторов

Регион, болото	Cr	Co	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni	Hg	As
АО, ИБ(эта работа)	3,7	1,3	3,6	7,1	0,8	<0,03	5,9	0,03	0,4
АО, БМ (эта работа)	15,5	2,9	12,9	16,9	2,8	0,2	14,3	0,03	1,3
АО, ТБ (эта работа)	0,9	2,6	1,6	9,2	1,5	0,2	1,3	0,02	0,5
АО, ИБ (Сыпалов и др.,2020)	1,9	0,7	3,9	24,0	5,0	0,1	1,9	0,06	3,2
АО, Черноозерская площадь (Яковлев и др., 2020)	28,1	1,1	4,0	40,7	7,1	0,3	2,5	-	0,3
АО, болото близ п. Рикасиха (Яковлев и др., 2020)	150,0	2,2	4,7	36,2	21,0	0,1	6,1	-	0,3
АО, почвы Северодвинского промышленного района* (Зыкова и др., 2018)	400,0	-	20,0	60,0	30,0	-	150,0	-	-
ПО, верховое болото (Федоров и др., 2017)	-	-	4,1	11,0	0,8	1,8	7,1	-	-

Продолжение таблицы 12

ТО, верховое болото (Иванова, Кириллова, 2015)	-	-	3,7	27,3	2,0	0,29	-	-	-
ТВО, верховое болото (Кузьмин, 2019)	0,54	-	-	-	1,92	0,20	0,95	-	0,94

*концентрации зарегистрированы в 2007 г.

Для оценки экологической опасности загрязнения окружающей среды используют несколько основных эталонов сравнения – предельно допустимые концентрации (ПДК), ориентировочно допустимые концентрации (ОДК), фоновые значения и кларки элементов в земной коре. Сравнение полученных нами результатов с ОДК для кислых почв с $pH_{KCl} < 5,5$ (Пименова, Леснов, 2009) показало, что значения не превышают ориентировочно допустимые концентрации.

В работе (Касимов, Власов, 2015) авторы обобщили данные отечественной и зарубежной литературы по кларкам химических элементов в земной коре и показали, что оценка содержания элементов сильно различается у разных авторов. Для удобства обсуждения в таблице 13 приведена выборка из источника (Касимов, Власов, 2015) применительно к металлам, определявшимся в исследованных образцах торфа. При сравнении полученных результатов с данными таблицы 12 можно сказать, что концентрации всех проанализированных нами элементов, за исключением кадмия и ртути значительно ниже их кларков в земной коре. В работе (Шевченко и др., 2015) было проведено исследование элементного состава отложений Иласского болота, где было показано, что содержание большинства химических элементов определяется вкладом литогенного и биогенного источников, за исключением цинка, свинца, кадмия и сурьмы, которые поступали на территорию болота за счет осаждения из атмосферы.

Таблица 13 – Кларки металлов в земной коре, мг/кг (Касимов, Власов, 2015)

Эл-т	А.П.Виноградов (1962)	А.А. Беусидр. (1976)	S.R. Taylor, S.M. McLennan (1985)	S. Gaoetal. (1998)	R.L. Rudnick, S. Gao (2003)
Cr	83	34	35	80	92
Co	18	7,3	10	17	17,3
Cu	47	22	25	32	28
Zn	83	51	71	70	67
Pb	16	16	20	18	17
Cd	0,13	0,16	0,098	0,079	0,090

Продолжение таблицы 13

Ni	58	26	20	38	47
Hg	0,083	0,033	—	0,0123	0,05
As	1,7	1,9	1,5	4,4	4,8

Таким образом, удаленность природных объектов от промышленных источников загрязнений не является залогом отсутствия антропогенного воздействия и чистоты природного сырья. Так, для исследуемых болот характерно содержание в торфе следующих элементов (в порядке убывания): Иласское болото – Zn > Ni > Cr > Cu > Co > Pb > As, Большой Мох – Zn > Cr > Ni > Cu > Co > Pb > As > Cd, Трофимовское болото – Zn > Co > Cu > Pb > Ni > Cr > As > Cd. При этом максимальные концентрации в торфе болот Иласского и Большой Мох отмечаются для Zn, Ni, Cr и Cu, а для торфа Трофимовского болота преобладающим поллютантом является Zn. Это согласуется с модельными данными по атмосферному переносу примесей, где средние за 20 лет годовые потоки элементов на поверхность максимальны также для Zn, Ni, Cr и Cu (таблица 10). При этом максимальные концентрации этих элементов отмечены в нижнем горизонте онежского торфа: 16,9 мг/кг цинка, 15,5 мг/кг хрома, 14,3 мг/кг никеля и 12,9 мг/кг меди. Полученные значения не превышают значений ОДК для почв с $pH_{KCl} < 5,5$. Согласно литературным данным, тенденции увеличения или уменьшения концентраций элементов в торфе с глубиной связаны с такими факторами, как степень мобильности конкретных элементов, наличие местных фоновых вариаций распределения элементов и изменений скорости осаждения атмосферных частиц в связи с изменениями климата в голоцене, а также ввиду увеличения/уменьшения загрязнения в разные хронологические периоды.

3.3.3 Влияние осушения на свойства торфа

Осушение, как основной вид антропогенного воздействия на торфяно-болотные экосистемы, влечет за собой глубокие изменения биогеохимических и биологических циклов болот (Косов, 2007), приводит к быстрой «сработке» торфяной залежи, усилению окислительных процессов в торфяной толще (Walter et al., 2006). Воздействие осушения на состояние торфяных болот привлекает внимание как отечественных, так и зарубежных исследователей. Интерес вызывают особенности микробиологических процессов в осушенной торфяной залежи (Xu et al., 2021), трансформация свойств и химического состава торфа и

болотных вод (Harris et al., 2020; Семенов, 2011; Моторин, 2018; Вомперский и др., 2017), изменения в составе битумной части торфа (Серебренникова и др., 2014), естественные процессы, происходящие при осушении и последующем восстановлении болот (Войтехов, 2012; Rochefort, 2006). В настоящее время мнения ученых по поводу устойчивости верховых болот к осушению неоднозначны. Однако многие исследователи отмечают не только крайне низкий лесоводственный эффект даже при интенсивном осушении верховых болот (увеличение продукции древостоя равно снижению продукции напочвенного покрова), но также сохранение олиготрофной растительности и олиготрофного типа обмена веществ в целом. Например, по данным (Войтехов, 2012), осушение верхового болота в Московской области сказалось лишь на территории до 20 м от канав, где за 25-летний период после осушения сосна выросла до 6-8 м, в то время как растительный покров большей части болота остался практически без изменений. Отметим, что влияние мелиорации на состояние олиготрофных болот северных территорий России, отличающихся суровым климатом, может быть более значительным. Несмотря на высокую заболоченность, а также наличие осушенных в прошлом торфяных болот, на территории Европейского Севера России такие исследования носят единичный характер (Чибисова и др., 2022).

Для изучения влияния осушения на свойства торфа были выбраны осушенный и ненарушенный участки Иласского болота, расположенные на расстоянии около 1,5-2 км друг от друга (для исключения влияния геоклиматических факторов) (рисунок 24). Характеристические горизонты торфа каждой из площадок были проанализированы на физико-химические и агрохимические показатели, а также на групповой химический состав органической части торфа. Описание ненарушенного участка Иласского болота приведено в главе 2, п. 2.2.2, а характеристики торфа – в главе 3, п. 3.1.1.

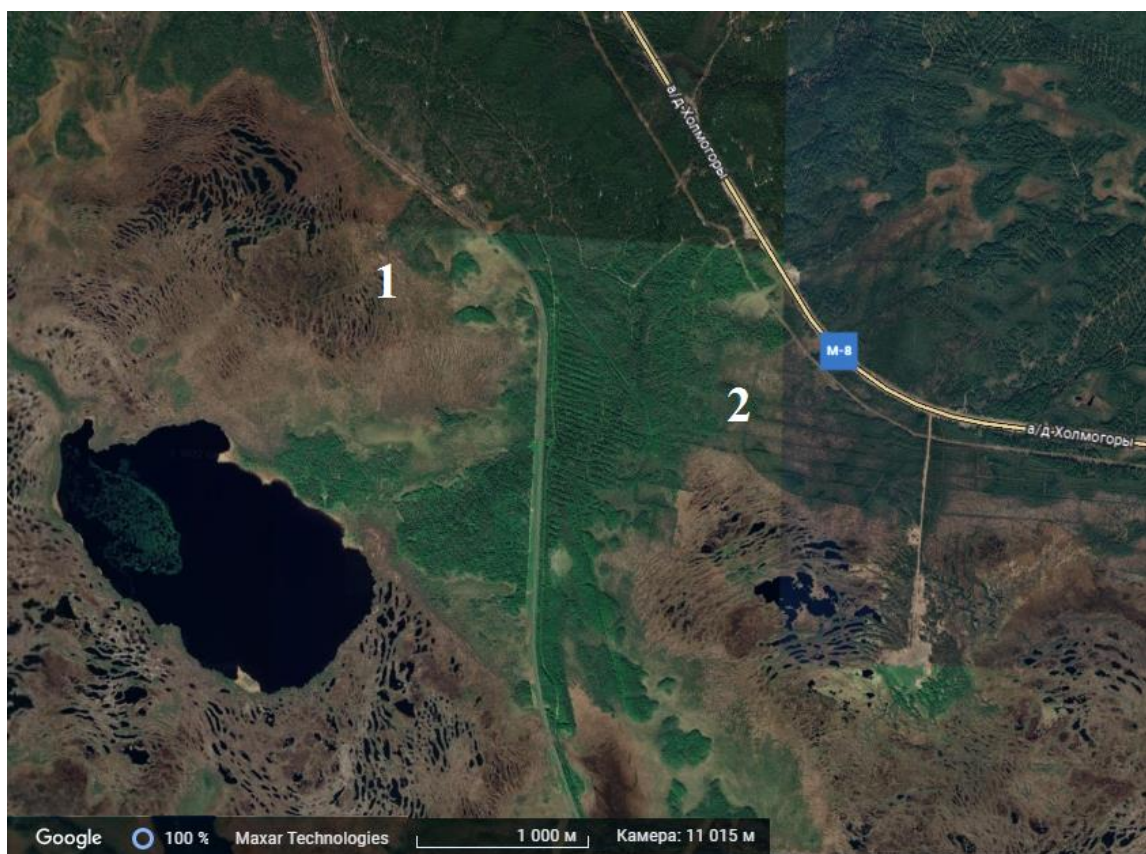


Рисунок 24 – Ненарушенный (1) и осушенный (2) участки Иласского болота

Осушение по окраинам болота было проведено в 1969-1972 гг. методом открытого дренажа (среднее расстояние между канавами 100 м) с целью отведения избыточной влаги от дорожного полотна при строительстве трассы М8 – «Холмогоры». В растительном покрове осушенного участка доминируют кустарнички голубики (*Vaccinium uliginosum*), черники (*V. Myrtillus*) и багульника (*Ledum palustre*). Сфагновые мхи встречаются спорадически и приурочены к понижениям рельефа. Значителен процент проективного покрытия зеленых мхов, представленных видами плевроциум (*Pleurozium schreberi*), кукушкин лен обыкновенный (*Polytrichum commune*), дикранум волнистый (*Dicranum bergeri*) и дикранум многоножковый (*D. Polysetum*). Появляются лишайники рода *Cladonia*. Древесный ярус образован *Pinus sylvestris* с сомкнутостью 0,6. Подстилающие породы на участке представлены мореной среднего механического состава. Уровень грунтовых вод в течение вегетационного периода изменялся в пределах 15-30 см. После обильных осадков осушительные канавы заполняются водой, профиль канав зарастает сфагновыми мхами. Мощность торфяной залежи не

превышает 1,5 м (Отчет..., 2020). Общий вид осушенного участка Иласского болота представлен на рисунке 25.



Рисунок 25 – Общий вид осушенного участка Иласского болота

Результаты определения физико-химических показателей торфа приведены в таблице 14 (для удобства восприятия в таблице продублированы данные по естественному участку Иласского болота из таблицы 5). В отличие от торфа ненарушенного участка, который однороден по ботаническому составу всей глубине залежи и практически полностью состоит из остатков сфагновых мхов, торф осушенного участка неоднороден. Верхние слои торфа также состоят в основном из остатков сфагновых мхов с примесью вересковых и пушицей, в то время как нижние слои сложены сосново-пушицевым торфом с небольшой примесью шейхцерии и корешками вересковых.

Таблица 14 – Физико-химические показатели торфа осушенного и естественного участков

Показатель	Осушенный участок		Ненарушенный участок	
	Сфагновый верховой	Сосново-пушицевый	Сфагновый верховой	
Глубина, см	0-30	30-140	0-270	270-350
Естественная влажность, %	92,0	84,9	93,2	87,9

Продолжение таблицы 14

Зольность, %	1,1	2,0	0,9	1,8
Степень разложения, %*	5-10	20-25	5-10	10-15
pH _{KCl}	2,6	3,0	2,9	3,1
pH _{вод}	3,7	4,2	4,3	4,3

Торф как естественного, так и осушенного участков имеет примерно одинаковую естественную влажность, которая несколько снижается с глубиной. В верхних горизонтах влажность изменяется в пределах 92-93 %, а в нижних – 85-87 %. Следует отметить, что осушение не привело к снижению содержания гравитационной влаги в торфяной залежи, что связано со специфичным ботаническим составом и характерно для верховых болот. Средние значения зольности в верхней части залежи для обеих площадок примерно равны 1 %. С глубиной зольность увеличивается до 1,8-2,0 %.

Наибольшие отличия заметны в степени деструкции торфа и его кислотности. Верхние горизонты обеих площадок обладают одинаково низкой степенью разложения (не более 10 %), в то время как на осушенном участке в горизонте 30-140 см торф находится в более деградированном состоянии. Это обусловлено различиями в ботаническом составе торфа, так как известно, что сфагновые мхи мало подвержены разложению ввиду специфики химического состава (Добровольская и др., 2013). Более кислая реакция среды на осушенном участке может быть вызвана хвоей сосны. Есть мнение, что хвойный опад закисляет почву (Аксянова и др., 2021).

Результаты анализа агрохимических свойств торфа осушенного и ненарушенного участков представлены в таблице 15 (для удобства восприятия в таблице продублированы данные по естественному участку Иласского болота из таблицы б). Торф верхнего горизонта осушенного участка содержит в 3 раза больше фосфора, чем торф естественного участка, и в 2,5 раза больше калия. Вероятнее всего, это происходит за счет уплотнения залежи при спуске свободной воды. Также можно отметить увеличение содержания обменных катионов кальция и магния, и повышение гидролитической кислотности и снижение суммы поглощенных оснований. Несмотря на отмеченные изменения, торф осушенного участка по-прежнему обладает низким содержанием основных питательных элементов и повышенной кислотностью, что не позволяет говорить о

существенном положительном изменении агрохимических свойств. Так, по данным (Котова и др., 2014) в осушенном низинном торфе (Республика Карелия) содержится 200,9-271,0 мг/100 г фосфора, 29,6-30,4 мг/100 г калия, 120,7-143,6 мг/100 г азота. Также в значительно большем количестве (более чем в 1000 раз) содержатся кальций, магний и железо.

Таблица 15 – Агрохимические свойства торфа осушенного и естественного участков

Показатели	Осушенный участок		Ненарушенный участок	
	0-30	30-140	0-270	270-350
Глубина, см				
Аммиачный азот, мг/100 г	7,5	5,0	7,5	7,5
Нитратный азот, мг/100 г	1,0	2,5	1,0	2,0
P ₂ O ₅ , мг/100 г	15,0	5,0	5,0	5,0
K ₂ O, мг/100 г	1,0	0,6	0,4	0,4
Обменный Са мг-экв/100 г	0,028	0,056	0,039	0,042
Обменный Mg мг-экв/100 г	0,037	0,052	0,013	0,039
Подвижные формы Fe, мг-экв/100 г	8,6	21,5	7,2	25,7
Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	137,7	125,8	107,1	101,0
Массовая доля C _{орг} , %	51,9	62,0	50,4	59,1
Сумма поглощенных оснований, мг-экв/100 г	105,7	61,0	134,1	85,3

Групповой химический состав торфа осушенного и естественного участков также имеет ряд отличий. На рисунке 26 представлена гистограмма распределения основных компонентов органической части торфа осушенного и естественного участков Иласского болота по глубинам. Гистограмма построена на основе средних арифметических значений.

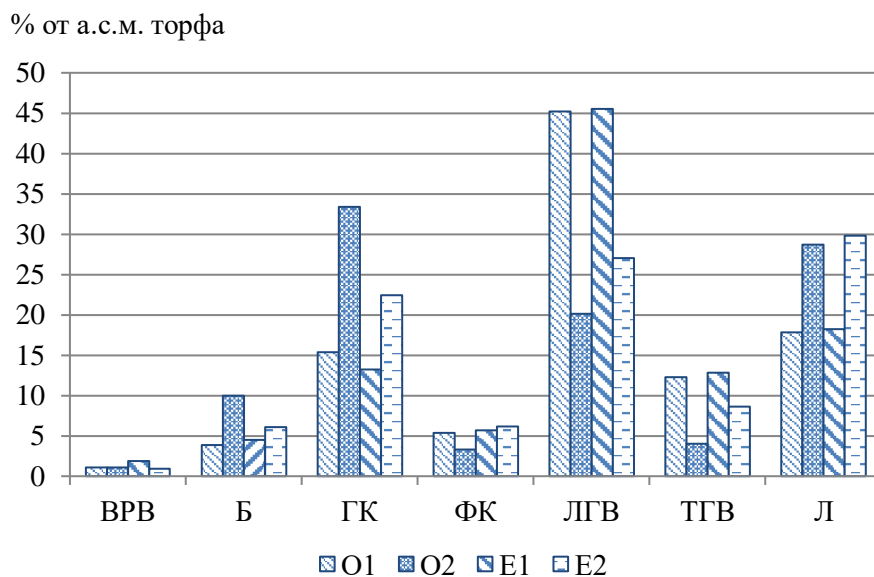


Рисунок 26 – Групповой состав органической части торфа осушенного (О) и ненарушенного (Е) участков Иласского болота (средние значения)
 O1 – 0-30 см; O2 – 30-140 см; E1– 0-270 см; E2 – 270-350 см

Содержание водорастворимых веществ (ВРВ) находится в пределах 1-2 %, и в целом снижается с глубиной для обеих площадок. Однако в верхнем горизонте осушенного участка водорастворимых соединений больше, чем в том же горизонте неосушенного, почти в 2 раза. Количество битумов (Б), наоборот, увеличивается с глубиной на каждом участке. Максимальное содержание битумов обнаружено в горизонте 30-140 см на осушенном участке – 10 % от органической части торфа, в то время как для нижнего горизонта естественного участка это значение составляет 6,1 %. Содержание гуминовых кислот (ГК) также увеличивается по глубине залежи, однако, значения ГК на осушенном участке на всех глубинах превышают значения для естественного участка. Максимальное количество гуминовых кислот отмечается для горизонта 30-140 см – 33,4 %. Количество фульвокислот (ФК) на естественном участке увеличивается с глубиной, а на осушенном наоборот. В целом, содержание ФК на ненарушенном участке выше – для верхних горизонтов значения составляют 5,7 и 5,4 %, а для нижних – 6,2 и 3,3 %. Содержание легко- и трудногидролизующихся (ЛГВ и ТГВ) соединений на обоих участках закономерно снижаются, а количество лигнина (Л) – увеличивается. Значения ЛГВ и ТГВ для верхних горизонтов на двух участках примерно одинаковы, в то время как нижний горизонт осушенного участка характеризуется более низкими значениями ЛГВ и

ТГВ. Количество лигнина по всей глубине для обоих участков практически одинаково.

С помощью непараметрического теста Манна-Уитни была проверена достоверность различий химического состава торфа двух площадок (таблица 16). При $U_{эмп} < U_{кр}$ делается вывод о том, что различия между выборками значимы и достоверны (Бондаренко, Жигунов, 2016). Несмотря на то, что при сравнении средних значений содержания основных компонентов торфа осушенного и естественного участка можно выделить значительные отличия для каждой группы веществ, статистически значимыми отличия являются только для зольности верхних горизонтов, а также для битумов и гуминовых кислот нижних горизонтов двух площадок. Кроме того, достоверная разница существует между разными горизонтами одного участка, что логично, если принять во внимание отличия в содержании золы, а также кислотности и степени разложения. По-видимому, изменения, которые показательны при сравнении средних значений, нивелируются в виду разброса этих значений. Это характерно для большинства природных объектов, а также выборок с ненормальным распределением данных.

Таблица 16 – Значения критерия Манна-Уитни ($U_{эмп}$)

Группа веществ	$U_{эмп}$	$U_{кр}$
Верхние горизонты (0-30, 0-270 см)		
Зольность	0	7
Битумы	11	7
Гуминовые кислоты	8	7
Легкогидролизуемые вещества	16	7
Лигнин	14	7
Нижние горизонты (30-140, 270-350 см)		
Зольность	12	7
Битумы	0	7
Гуминовые кислоты	0	3
Легкогидролизуемые вещества	4	3
Лигнин	6	3

Таким образом, достоверные изменения химического состава осушенного и естественного участков отмечены только для зольности верхних горизонтов, а также битумов и гуминовых кислот нижних горизонтов. Эти отличия обусловлены разным ботаническим составом, а не конкретно действием осушения, так как статистически значимых отличий в слоях осушенного и ненарушенного участков с аналогичным видом торфа не обнаружено. Таким образом, осушение не приводит к

существенному изменению химического состава органической части торфа и его агрохимических свойств, позволяющего говорить о его экономической целесообразности.

4 ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

На основании полученных результатов можно дать следующие практические рекомендации:

1. Ввиду низких значений зольности (не более 2 %) и степени разложения (не более 20 %), а также однородности ботанического состава сфагновый торф нижнего течения рек Северной Двины и Мезень рекомендуется для производства сорбентов. Согласно многочисленным исследованиям, именно верховой сфагновый торф с низкой степенью разложения и зольностью (Орлов и др., 2017; Соколов, Ивко, 2000; Томсон, Наумова, 2009; Патент..., 2015) наиболее подходит для производства сорбентов. Кроме того, сфагновый мох, широко распространенный на этих торфяниках, можно успешно применять для составления почвенных смесей и в качестве самостоятельного субстрата при выращивании цветов, проращивании семян и микрозелени, для улиток и террариумов.

2. Торф нижних горизонтов (ниже 1 м) болота Большой Мох (нижнее течение реки Онега) наиболее перспективно применять в сельском хозяйстве, так как он менее кислый, по сравнению с другими исследованными торфами ($\text{pH}_{\text{KCl}} = 4,3$, $\text{pH}_{\text{вод}} = 5,4$) и содержит большее количество, сопоставимое с низинными торфами, питательных элементов: 20 мг/100 г аммиачного азота, 10 мг/100 г фосфора и 1,3 мг/100 г калия. Это говорит о том, что торф потребует меньших затрат на его улучшение (известкование, насыщение минеральными компонентами и т.д.). По типу торфа, степени разложения, зольности и кислотности данный торф соответствует требованиям ГОСТ Р 51661.3-2000 «Торф для улучшения почвы. Технические условия». При этом верхний горизонт торфа (до 1 м) по физико-химическим показателям аналогичен верховому торфу нижнего течения рек Северная Двина и Мезень, поэтому также может быть рекомендован в качестве сорбента. Кроме того, такой торф богат такими ценными компонентами, как гуминовые кислоты и битумы, поэтому целенаправленное выделение этих групп веществ также перспективно.

3. Торф осушенного участка Иласского болота рекомендуется в качестве сырья для получения восков и гуминовых кислот – это выгодно, так как месторождение уже было осушено, а торф содержит значительное количество этих компонентов. С другой стороны, перспективно было бы организовать на

территории осушенного участка карбоновый полигон для наблюдения за эмиссией и поглощением парниковых газов. Данный участок интересен тем, что мелиорация была проведена более 50-ти лет назад, при этом должный уход за участком отсутствовал.

4. Необходимо проводить регулярный мониторинг за экологическим состоянием поверхности болот путем отбора проб торфа и воды с целью их анализа на содержание антропогенных примесей. Особое внимание уделить таким элементам, как цинк, хром, медь и никель.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам исследований можно сделать следующие выводы:

1. При движении с юго-запада на северо-восток по трансекте изученных болот такие физико-химические характеристики торфа, как зольность, степень разложения и кислотность, уменьшаются. Максимальная зольность характерна для торфа болота Большой Мох (21,9 %), а зольность торфа Трофимовского и Иласского болот близка по значениям и составляет 1,1-1,2 и 0,9-1,8 %, соответственно. При этом степень разложения онежского торфа достигает 40-50 %, а для мезенского и архангельского торфа она почти не отличается и не превышает 20 %. Характерной чертой онежского торфа также являются более высокие значения рН (максимальное значение – 4,3), в то время как рН торфа двух остальных болот ниже – 2,9-3,1 для приморского торфа и 2,7-2,6 для мезенского торфа. Аналогично, агрохимические свойства торфа также изменяются с юго-запада на северо-восток: количества аммиачного азота, фосфора, калия и кальция уменьшаются, нитратного азота – увеличивается, содержание магния и железа меняется нестабильно. При этом максимальные значения элементов (аммиачного азота, фосфора и калия), сопоставимые со значениями для низинных торфов, отмечены для онежского торфа – 20, 10 и 1,3 мг/100 г, соответственно.

Групповой химический состав органической части торфа трех исследуемых объектов отличается по содержанию всех проанализированных компонентов: водорастворимых веществ, битумов (липидов), гуминовых и фульвовых кислот, легко- и трудногидролизуемых соединений и лигнина. При этом анализ на статистическую значимость различий с применением критерия Краскела-Уоллеса показал, что в верхних горизонтах отличия достоверны для битумов и гуминовых кислот, а в нижних – для всех групп веществ. При этом значения критерия Краскела-Уоллеса не превышают уровня значимости, равного 0,05. В целом при движении с юго-запада на северо-восток происходит снижение содержания битумов, фульвовых кислот, легкогидролизуемых веществ и лигнина и увеличение содержания водорастворимых соединений. Количество гуминовых кислот и трудногидролизуемых веществ меняется нестабильно. Однако наиболее ценные компоненты торфа – битумы и гуминовые кислоты – в наибольшем количестве

содержатся в онежском торфе – максимальное содержание этих веществ в достигает 30 % для гуминовых кислот и 7,9 % для битумов.

Таким образом, наибольшие отличия по всем проанализированным свойствам характерны для торфа в нижнем течении реки Онега, а именно его нижнего горизонта. Это объясняется типом торфа и его ботаническим составом, которые, в свою очередь, сформировались под действием комплекса природных условий. Так, для территории близ г. Онега характерны более высокие значения среднегодовое температур и количества осадков, по сравнению с двумя другими исследованными территориями, наличие песчано-глинистых подстилающих пород со слабой водопроницаемостью, а также слабых ветров с преобладанием юго-восточных и западных направлений.

2. Анализ содержания металлов (хрома (Cr), кобальта (Co), меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb), кадмия (Cd), никеля (Ni), ртути (Hg)) и мышьяка (As) в торфе показал, что основными поллютантами являются цинк, хром, медь и никель. При этом наибольшие концентрации этих элементов выявлены в онежском торфе – 16,9 мг/кг цинка, 15,5 мг/кг хрома, 12,9 мг/кг меди и 14,3 мг/кг никеля. При этом данные значения не превышают ОДК для кислых ($pH_{KCl} < 5,5$) почв. По данным модельных расчетов, эти металлы в большей степени, чем остальные, поступают вследствие дальнего атмосферного переноса. Наибольшего воздействия атмосферного переноса примесей с отдаленных территорий следует ожидать в зимний период, что вызвано сезонными особенностями метеорологических факторов, таких как скорость осаднения и циркуляция воздушных масс. Согласно модельным оценкам, основные регионы-источники металлов – Мурманская область, Республика Карелия, Новгородская область, Республика Татарстан и Пермский край.

3. Осушение торфяного болота приводит к изменению физико-химических и агрохимических свойств торфа, которое выражается в увеличении кислотности и степени разложения торфа, а также в повышении содержания в осушенном торфе фосфора (в 3 раза) и калия (в 2,5 раза), что обусловлено различиями в ботаническом составе торфа, а также уплотнением торфа при спуске свободной воды. Несмотря на это, существенных положительных изменений в составе торфа с точки зрения его агрохимической ценности не происходит. Изменения в

химическом составе органической части торфа касаются только гуминовых кислот и битумов, которые присутствуют в большем количестве в торфе нижнего горизонта осушенного участка – 33,4 и 10 %, соответственно. Это связано с отличиями в ботаническом составе и степени разложения торфа осушенного и естественного участков. Достоверность различий подтверждена непараметрическим тестом Манна-Уитни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абрамова, Т. Г. Районирование болот Архангельской области / Т. Г. Абрамова, В. Н. Кирюшкин // Северо-Запад европейской части СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1965. – Вып. 4. – С. 65-93.
2. Аксянова, Т. Ю. Использование хвойных растений в типовых ландшафтных проектах / Т. Ю. Аксянова, О. М. Ступакова, Е. А. Усова [и др.] // Хвойные бореальной зоны. – 2021. – № 4. – С. 245-252.
3. Атлас Архангельской области / под ред. Д. Ф. Федорова. – Москва : ГУГК, 1976. – 72 с.
4. Базин, Е. Т. Использование торфа и торфяных месторождений в сельском хозяйстве: учебное пособие / Е. Т. Базин, Ю. Н. Женихов, З. М. Макурина. – Калинин: КГУ, 1982. – 100 с.
5. Бамбалов, Н. Н. Выделение компонентов при групповом анализе органического вещества торфа / Н. Н. Бамбалов // Химия твердого топлива. – 2020. – № 5. – С. 31-50.
6. Бамбалов, Н. Н. Использование торфа в качестве органического сырья для химической переработки / Н. Н. Бамбалов // Химия твердого топлива. – 2012. – № 5. – С. 6-12.
7. Бамбалов, Н. Н. Методика фракционно-группового анализа органического вещества торфяных почв / Н. Н. Бамбалов, Т. Я. Беленькая // Мелиорация и проблемы органического вещества. – Минск, 1994. – С. 92–102.
8. Бамбалов, Н. Н. Соотношение биотических и абиотических процессов при формировании торфяных и сапропелевых отложений / Н. Н. Бамбалов // Междисциплинарный научный и прикладной журнал «Биосфера». – 2013. – Т. 5. – №.2. – С. 211-222.
9. Белькевич, П. И. Битумы торфа и бурого угля / П. И. Белькевич, Н. Г. Голованов, Е. Ф. Долидович. – Мн.: Наука и техника, 1989. – 127 с.
10. Беневоленский, И. И. Обзор работ Архангельского болотного опытного поля за 1914-1928 гг / И. И. Беневоленский. – Архангельск, 1930 – 48 с.

11. Бондаренко, А. С. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований: учебное пособие / А. С. Бондаренко, А. В. Жигунов. – СПб: Из-во Политехнического университета, 2016. – 125 с.
12. Боч, М. С. Экосистемы болот СССР / М. С. Боч, В. В. Мазинг. – Л.: Наука, 1979. – 188 с.
13. Виноградова, А. А. Атмосферный перенос антропогенных примесей в Арктические районы России (1986 – 2010 гг.) / А. А. Виноградова, Т. Я. Пономарева // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – № 6. – С. 475–483.
14. Виноградова, А. А. Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов с территории Кольского полуострова на поверхность Белого и Баренцева морей / А. А. Виноградова, Л. О. Максименков, Ф. А. Погарский // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 44. – № 6. – С. 812–821.
15. Виноградова, А. А. Вклады источников Европы в загрязнение свинцом и кадмием северных районов Европейской России / А. А. Виноградова, Е. И. Котова // Живые и биокосные системы: [сайт]. – 2018. – № 23. – URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-23/article-2> (дата обращения: 20.08.2020).
16. Виноградова, А. А. Дистанционная оценка влияния загрязнения атмосферы на удаленные территории / А. А. Виноградова // Геофизические процессы и биосфера. – 2014. – Т. 13. – № 4. – С. 5–20.
17. Виноградова, А. А. Загрязнение воздушной среды в Центральной Карелии при дальнем переносе антропогенных примесей в атмосфере / А. А. Виноградова, Ю. А. Иванова // Известия РАН. Серия географическая. – 2013. – № 5. – С. 98–108.
18. Виноградова, А. А. Источники и стоки антропогенных микроэлементов в атмосфере Арктики: тенденции изменения с 1981 по 2005 г. / А. А. Виноградова, Т. Я. Пономарева // Оптика атмосферы и океана. – 2007. – Т. 20. – № 6. – С. 471–480.
19. Виноградова, А. А. Источники тяжелых металлов, накапливающихся в кустистых эпифитных лишайниках Карелии / А. А. Виноградова, Н. С. Замбер, С. А. Кутенков [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 5. – С. 1-8.

20. Виноградова, А. А. Тяжелые металлы в атмосфере над северным побережьем Евразии: межгодовые вариации зимой и летом / А. А. Виноградова, Ю. А. Иванова // Геофизические процессы и биосфера. – 2016. – Т. 15. – № 4. – С. 5–17. DOI 10.21455/GPB2016.4-1.

21. Водяницкий, Ю. Н. Современные тенденции загрязнения почв тяжелыми металлами / Ю. Н. Водяницкий // Агрехимия. – 2013. – № 9. – С. 88-96.

22. Войтехов, М. Я. Восстановление осушенных лесо-болотных угодий (на примере Дубненского лесо-болотного массива). Проблемы. Практика. Теория / М. Я. Войтехов. – М.: АПКИППРО, 2012. – 200 с.

23. Волкова, Е. М. Биомониторинг антропогенного загрязнения Тульской области на основе анализа накопления тяжелых металлов в торфяных залежах болот / Е. М. Волкова, С. В. Горелова, Е. Н. Музафаров // Известия Тульского государственного университета. – 2012. – Вып. 2. – С. 253-263.

24. Вомперский, С. Э. Трансформация торфянистого горизонта почв заболоченных лесов в южной тайге под влиянием поверхностного осушения / С. Э. Вомперский, М. И. Вомперская, Т. В. Глухова [и др.] // Почвоведение. – 2017. – № 10. – С. 1229-1237.

25. Гинзбург, А. С. Динамика климата и загрязнение воздуха российской Арктики : [презентация : Международная рабочая встреча «Влияние глобальных климатических изменений на здоровье населения в российской Арктике», Москва, 19–20 мая 2008 г.] / А. С. Гинзбург, А. А. Виноградова. – URL: http://www.npa-arctic.ru/splash_screen.html. – Дата публикации: 20 мая 2008 г.

26. Голубева, Н. И. Результаты измерений тяжелых металлов в атмосферных аэрозолях в открытых районах арктических морей в 2009–2010 гг. / Н. И. Голубева, Л. В. Бурцева, Г. Г. Матишов [и др.] // Доклады Академии Наук. – 2013. – Т. 453. – № 1. – С. 72–75. DOI: 10.7868/S0869565213230175.

27. ГОСТ 11305-83. Торф. Методы определения влаги: издание официальное : введен 1984-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1983. – 9 с.

28. ГОСТ 11306-83. Торф и продукты его переработки. Методы определения зольности: издание официальное : введен 1985-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1984. – 7 с.

29. ГОСТ 11623-89. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Метод определения обменной и активной кислотности : издание официальное : введен 1991-01-01. – Москва : Издательство стандартов, 1991. – 6 с.

30. ГОСТ 27894.10-88. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Метод определения обменного кальция и обменного магния : издание официальное : введен 1991-01-01. – Москва : Госстандарт СССР, 1991. – 7 с.

31. ГОСТ 27894.1-88. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Метод определения гидролитической кислотности : издание официальное : введен 1991-01-01. – Москва : Госстандарт СССР, 1991. – 5 с.

32. ГОСТ 27894.3-88. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения аммиачного азота : издание официальное : введен 1991-01-01. – Москва : Госстандарт СССР, 1991. – 11 с.

33. ГОСТ 27894.4-88. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения нитратного азота : издание официальное : введен 1991-01-01. – Москва : Госстандарт СССР, 1991. – 13 с.

34. ГОСТ 27894.5-88. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм фосфора : издание официальное : введен 1990-01-01. – Москва : Госстандарт СССР, 1990. – 8 с.

35. ГОСТ 27894.6-88. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Методы определения подвижных форм калия : издание официальное : введен 1990-01-01. – Москва : Госстандарт СССР, 1990. – 5 с.

36. ГОСТ 27894.7-88. Торф и продукты его переработки для сельского хозяйства. Метод определения подвижных форм железа : издание официальное : введен 1990-01-01. – Москва : Госстандарт СССР, 1990. – 7 с.

37. ГОСТ 28245–89. Торф. Методы определения ботанического состава и степени разложения : издание официальное : введен 1990-01-07. – Москва: Стандартиформ, 2006. – 7 с.

38. ГОСТ 17644-83. Торф. Методы отбора проб из залежи и обработки их для лабораторных испытаний : издание официальное : введен 1984-01-07. – Москва : Издательство стандартов, 1983. – 14 с.

39. Государственный баланс запасов полезных ископаемых Российской Федерации на 1 января 2021 года. Торф. Сводные данные / М. В. Хадырова, Ю. Д.

Валенкова; под ред. Г. П. Ковтонюк. – Министерство природных ресурсов и экологии Российской Федерации, ФГБУ «Росгеолфонд». – Москва, 2021. – Вып. 96. – 224 с.

40. Демиденко, Н. А. Динамика взвешенных наносов в макроприливном эстуарии р. Мезени / Н. А. Демиденко // Динамика и термика рек, водохранилищ и прибрежной зоны морей: Труды VI конференции. – Москва: издательство ИВП РАН, 2004. – С.522-524.

41. Добровольская, Т. Г. Функционирование микробных комплексов в верховых торфяниках – анализ причин медленной деструкции торфа: монография / Т. Г. Добровольская, А. В. Головченко, Д. Г. Звягинцев [и др.] // Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2013. – 128 с.

42. Доклад. Состояние и охрана окружающей среды Архангельской области за 2020 год / отв. ред. О. В. Перхурова. – ГБУ Архангельской области «Центр природопользования и охраны окружающей среды». – Архангельск: САФУ, 2021. – 478 с.

43. Доктуровский, В. С. Торфяные болота. Курс лекций по болотоведению / В. С. Доктуровский. – Государственное научно-техническое горное издательство. – Москва-Ленинград, 1932. – 199 с.

44. Дубинкина, Е. С. Моделирование аэрозольных полей на основе совместного анализа данных солнечной фотометрии и информации о динамике атмосферы : специальность 25.00.29 «Физика атмосферы и гидросферы» : диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук / Дубинкина Екатерина Сергеевна ; ФГБУН Институт промышленной экологии. – Екатеринбург, 2015. – 131 с.

45. Ежегодник выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух городов и регионов Российской Федерации за 2010 год / под ред. А. Ю. Недре – ОАО «Научно-исследовательский институт охраны атмосферного воздуха». – СПб.: НИИ Атмосфера, 2011. – 560 с.

46. Елина, Г. А. Болотные экосистемы низкогорий северной тайги / Г. А. Елина, Т. К. Юрковская // Болотные экосистемы европейского Севера. – Петрозаводск: КарНЦ АН СССР, 1998. – С. 5-24.

47. Елина, Г. А. Верховые болота на левобережье Северной Двины / Г. А. Елина, Т. К. Юрковская // Ботанический журнал. – 1980. – Т. 63. – № 7. – С. 958-970.
48. Елина, Г. А. История и современное состояние исследований болот Карелии (55 лет лаборатории болотных экосистем) / Г. А. Елина, О. Л. Кузнецов // Болотные экосистемы Севера Европы: разнообразие, динамика, углеродный баланс, ресурсы и охрана. – Петрозаводск, 2006. – С. 11-34.
49. Елина, Г. А. Структурно-функциональная организация и динамика болотных экосистем Карелии / Г. А. Елина, О. Л. Кузнецов, А. И. Максимов. – Л.: Наука, 1984. – 128 с.
50. Ефимов, В. Н. Торфяные почвы и их плодородие / В. Н. Ефимов. – Л., 1986.- 264 с.
51. Зарецкая, Н. Е. Юго-восточное Прибеломорье в позднем плейстоцене: первые результаты обобщения материалов / Н. Е. Зарецкая, Д. В. Баранов, Н. Н. Луговой [и др.] // Рельеф и четвертичные образования Арктики, Субарктики и Северо-Запада России. – 2022. – Вып. 9. – С. 96-101.
52. Зубов, И. Н. Оценка нефтепоглощающей и теплотворной способности верхового торфа Европейского Севера России / И. Н. Зубов, А. С. Орлов, А. Н. Попов [и др.] // Химия твердого топлива. – 2022. – № 5. – С. 18-24.
53. Зыкова, Е. Н. Сравнительно-временной анализ содержания тяжелых металлов в аномальных зонах почв Северодвинского промышленного района / Е. Н. Зыкова, С. Б. Зыков, Е. Ю. Яковлев [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 8. – С. 130-135.
54. Иванова, Е. С. Содержание Cu, Cd, Pb и Zn в торфяной залежи участка Бакчарского болота / Е. С. Иванова, М. Е. Кириллова // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: материалы Третьей международной научно-практической конференции, г. Томск, 27 сентября-3 октября 2015 г. – Ставрополь, Изд-во «Альфа Принт», 2015. – С. 80-85.
55. Инишева, Л. И. Болотоведение: учебник для вузов / Л. И. Инишева. – ГОУ ВПО «Том. гос. пед. университет». – Томск: Издательство Томского государственного педагогического университета, 2009. – 210 с.

56. Инишева, Л. И. Агрономическая природа торфа / Л. И. Инишева // Химия растительного сырья. – 1998. – № 4. – С. 17-22.

57. Инишева, Л. И. Критерии оценки свойств торфов при их использовании в сельском хозяйстве / Л. И. Инишева, Т. В. Дементьева, С. Г. Маслов // Агрехимия. – 2017. – № 5. – С. 48-55.

58. Инишева, Л. И. Развитие процесса заболачивания и скорость аккумуляции углерода в болотных экосистемах России / Л. И. Инишева, К. И. Кобак, И. Е. Турчинович // География и природные ресурсы. – 2013. – № 3. – С. 60-68.

59. Инструкция по разведке торфяных месторождений СССР / под.ред. Н. Т. Короля, В.Д. Макарова, А.В. Предтеченского [и др.]. – Министерство геологии СССР. – Москва, 1983. – 96 с.

60. Касимов, Н. С. Кларки химических элементов как эталоны сравнения в экогеохимии / Н. С. Касимов, Д. В. Власов // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. – 2015. – № 2. – С. 7-17.

61. Кац, Н. Я. Болота и торфяники / Н. Я. Кац. – Москва, 1941. – 403 с.

62. Кац, Н. Я. О торфяниках дельты Северной Двины / Н. Я. Кац, Л. В. Кудряшов, В. М. Эпштейн // Землеведение. – 1935. – Т.37. – Вып. 4. – С. 303-320.

63. Кирюшкин, В. Н. О некоторых болотных системах Архангельской области / В. Н. Кирюшкин // Ботанический журнал. – 1965. – Т. 50. – № 3. – С. 35-37.

64. Кирюшкин, В. Н. Формирование и развитие болотных систем / В. Н. Кирюшкин. – Л.: Наука, 1980. – 88 с.

65. Кононов, О. Д. 100 лет Архангельской опытно-мелиоративной станции / О. Д. Кононов, Т. Б. Лагутина // Мелиорация и водное хозяйство. – 2014. – № 3. – С. 36-39.

66. Копенкина, Л. В. Торфяная отрасль в годы Великой Отечественной войны (к 70-летию Великой Победы) / Л. В. Копенкина // Труды Инсторфа. – 2016. – № 13 (66). – С. 50-56.

67. Королева, Ю. В. Биоиндикация атмосферных выпадений тяжелых металлов на территории Калининградской области / Ю. В. Королева // Вестник

Российского государственного университета им. И. Канта. – 2010. – Вып. 7. – С. 39-44.

68. Косов, В. И. Торф. Ресурсы, технология, геоэкология / В. И. Косов, А. С. Беляков, О. В. Белозеров [и др.]. – СПб: Наука, 2007. – 452 с.

69. Костарева, Т. В. Учет влияния метеорологических факторов при разработке схем прогноза загрязнения воздуха в городах Пермского края / Т. В. Костарева // Географический вестник. – 2017. – № 2 (41). – С. 91–99. DOI: 10.17072/2079-7877-2017-2-91-99

70. Котова, Е. И. Влияние дальнего атмосферного переноса на формирование ионного состава атмосферных осадков и снежного покрова прибрежной зоны западного сектора Российской Арктики / Е. И. Котова, В. П. Шевченко // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12. – С. 2378-2382.

71. Котова, Е. И. Оценка влияния факторов на состав снежного покрова в российской Арктике / Е. И. Котова // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 10. – С. 158-163.

72. Котова, Е. И. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (Белое море) / Е. И. Котова, В. Б. Коробов, В. П. Шевченко, С. М. Иглин // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 5. – С. 121-129.

73. Котова, Е. И. Экстремальное загрязнение на территории Арктической зоны Российской Федерации: случаи и анализ / Е. И. Котова, В. Б. Коробов, В. И. Павленко // Проблемы региональной экологии. – 2018. – № 1. – С. 67-72.

74. Котова, З. П. Ботанический состав растений-торфообразователей и агрохимические показатели осушенного низинного торфа / З. П. Котова, Е. В. Дубина-Чехович, С. Е. Котов // Земледелие. – 2014. – С. 9-10.

75. Крамаренко, В. В. Влияние ботанического состава на физические свойства торфа / В. В. Крамаренко // Известия Тульского государственного университета. – 2009. – Вып. 2. – С. 272-280.

76. Красинская, Т. А. Основные характеристики субстратов, применяемых в сельском хозяйстве / Т. А. Красинская, Н. В. Кухарчик // Плодоводство. – Т. 23. – 2011. – С. 402-419.

77. Кузнецова, И. А. Химический состав и сорбционные свойства торфа – основа ресурсного потенциала типичных верховых болот Северо-Запада России /

И. А. Кузнецова, Н. С. Ларионов // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 7. – С. 165–170. DOI: 10.17513/use.36820

78. Кузьмин, Е. А. Содержание биологически активных элементов в торфе и сапропеле / Е. А. Кузьмин // Коллективная монография «Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса». – 2019. – С. 165-167.

79. Кутенков, С. А. Болотные экосистемы / С. А. Кутенков // Природа и историко-культурное наследие Кожозерья. – Архангельск: УрО РАН, 2006. – С. 39-50.

80. Кутенков, С. А. Растительность болот и болотных лесов природного парка «Кожозерский» / С. А. Кутенков // Биоразнообразие, охрана и рациональное использование растительных ресурсов Севера. Материалы XI Перфильевских научных чтений, посвящ. 125-летию со дня рождения И.А. Перфильева (1888-1942). – Архангельск, 2007. – Ч 1. – С. 214-225.

81. Лагутина, Т. Б. История развития мелиоративной науки на Севере: (100 лет Архангельской опытно-мелиоративной станции) / Т. Б. Лагутина, Л. Н. Шалагинова. – Архангельск, 2014. – 110 с.

82. Ларионов, Н. С. Характеристика сорбционных свойств верхового торфа по отношению к d- и p-металлам / Н. С. Ларионов, К. Г. Боголицын, М. В. Богданов [и др.] // Химия растительного сырья. – 2008. – № 4. – С. 147–152.

83. Леонтьев, А. М. Геоботанические районы Беломорско-Кулойской части Северного края / А. М. Леонтьев // Труды Ботанического ин-та АН СССР. Геоботаника. – 1937. Вып. 2. – С. 81-222.

84. Лиштван, И. И. Основные свойства торфа и методы их определения / И. И. Лиштван, Н. Т. Король. – Минск, 1976. – 319 с.

85. Лиштван, И. И. Физика и химия торфа / И. И. Лиштван, Е. Т. Базин, Н. И. Гамаюнов [и др.]. – Москва: Недра, 1989. – 304 с.

86. Лиштван, И. И. Физико-химические свойства торфа и их трансформация при использовании торфяных месторождений / И. И. Лиштван // Химия твердого топлива. – 2010. – № 6. – С. 3-10.

87. Марков, В. И. Периоды развития торфяной промышленности России / В. И. Марков // Труды Инсторфа. – 2012. – № 6 (59). – С. 10-21.

88. Материалы маршрутной разведки торфяного месторождения «Большой Мох», расположенного в Онежском районе Архангельской области. – Росторфразведка, 1952. – 21 с.

89. Материалы маршрутной разведки торфяного месторождения «Трофимовское», расположенного в Мезенском районе Архангельской области. – Росторфразведка, 1953. – 27 с.

90. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии М-МВИ-80-2008. – Текст : электронный. – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293824/4293824289.htm> (дата обращения: 10.10.2022)

91. Методика измерений группового химического состава торфа гравиметрическим методом № 88-16365-009-2017. Свидетельство об аттестации выдано 06.12.2017. Номер госрегистрации "ФР.1.31.2018.29621" / С. Б. Селянина, Т. И. Пономарева, А. С. Орлов, О. Н. Ярыгина, М. В. Труфанова. – 20 с.

92. Методика измерений массовой доли органического углерода в торфах, сапропелях, лесных подстилках, органических удобрениях, почвах фотометрическим методом. – Лабораторно-аналитический центр. – Томск, 2015.

93. Методические указания по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом. – М.: ЦИНАО, 1993. – 13 с.

94. Михайлов, А. В. Торфяные ресурсы Северо-Западного федерального округа России и перспективы их освоения / А. В. Михайлов, С. Л. Иванов, А. В. Большунов [и др.] // Записки горного института. – 2013. – Т. 200. – С. 226-230.

95. Моторин, А. С. Торф – важный ресурс для развития сельского хозяйства Тюменской области / А. С. Моторин // Достижения науки и техники АПК. – 2018. – Т. 32. – № 8. – С. 17-20. DOI: 10.24411/0235-2451-2018-10804

96. Овсепян, А. Э. Распределение и содержание ртути в почвах Иласского болотного массива Архангельской области / А. Э. Овсепян, А. Н. Масык // Болота и биосфера. – Томск: ТПУ, 2010. – С. 218–222.

97. Орлов, А. С., Труфанова М.В., Парфенова Л.Н. Структура и сорбционные свойства верхового торфа приарктических территорий / А. С. Орлов, Т. И. Пономарева, С. Б. Селянина [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2017. – № 1. – С. 18–22.

98. Орлов, Д. С. Органическое вещество почв Российской Федерации / Д. С. Орлов, О. Н. Бирюкова, Н. И. Суханова. – М.: Наука, 1996. – 256 с.

99. Отчет о научно-исследовательской работе «Особенности функционирования болотных экосистем Арктической зоны РФ» (промежуточный). – Архангельск, 2019. – 118 с.

100. Отчет о научно-исследовательской работе «Особенности функционирования болотных экосистем Арктической зоны РФ» (промежуточный). – Архангельск, 2020. – 126 с.

101. Парфенова, Л. Н. Структура и свойства торфа болотных массивов Европейского Севера России / Л. Н. Парфенова, К. Г. Боголицын, С. Б. Селянина [и др.] // Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири: материалы третьей международной научно-практической конференции, 27 сентября-3 октября 2015 г., г. Томск. – Ставрополь: Изд-во «Альфа Принт». – 2015. – С. 159-162.

102. Патент № 2307707 Российская Федерация, МПК В01J 20/24 (2006.01). Сфагновый сорбционно-активный препарат : № 2006122090 : заявл. 20.06.2006 : опубл. 10.10.2007 / Чаков В. В. – 5 с.

103. Патент № 2318592 Российская Федерация, МПК В01J 20/24 (2006.01). Сорбент для очистки почвы от нефтепродуктов : № 2006142599 : заявл. 01.12.2008 : опубл. 10.03.2008 / Чаков В. В. – 5 с.

104. Патент № 2560366 Российская Федерация, МПК В01J 20/24 (2006.01), В01J 20/30 (2006.01). Сорбент торфяной и способ его получения : № 2014112717 : заявл. 01.04.2014 : опубл. 20.08.2015 / Бобошин А. Н.; заявитель ОАО «Соколагрохимия». – 7 с.

105. Перельман А. И. Геохимия ландшафта: учебное пособие / А. И. Перельман, Н. С. Касимов. – М.: Астрейя-2000, 1999. – 768 с.

106. Пешкова, Г. Ю. Предпосылки развития торфяной промышленности Северо-Западного региона / Г. Ю. Пешкова, Е. Г. Бондарь // Экономика Северо-Запада: проблемы и перспективы развития. – 2020. – № 4 (63). – С. 141-147.

107. Пименова, Е. В. Химические методы в агроэкологическом мониторинге почвы: учебное пособие / Е. В. Пименова, А. Е. Леснов. – Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО Пермская ГСХА, 2009. – 145 с.

108. Пичугин, А. В. Торфяные месторождения и их разведка / А. В. Пичугин, Б. К. Дунаев, А. Н. Исаев [и др.]. – Москва, 1956. – 496 с.

109. Пожитков, Р. Ю. Элементный состав торфяных отложений верхового типа Пур-Тазовского междуречья / Р. Ю. Пожитков, Д. В. Московченко, А. А. Тигеев // Географический вестник. – 2020. – № 1. – С. 154–165. DOI: 10.17072/2079-7877-2020-1-154-165

110. Поморская энциклопедия: в 5 томах. – Т. 2: Природа Архангельского Севера / гл. ред. Н. М. Бызова. – Помор. гос. ун-т, Ломонос. Фонд. – 2007. – 603 с.

111. Попова, Л. Н. О работе труднодоступной болотной станции Брусовица: информационное письмо №2 (184) / Л. Н. Попова, С. М. Ружникова. – Архангельск: Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, 2007. – С. 3-6. – URL: <http://www.sevmeteo.ru/company/i/letter-184.pdf> (дата обращения 14.03.2022).

112. Потапова, Т. М. Оценка антропогенных изменений химического состава болотных вод и стока растворенных веществ с территории естественных и мелиорированных верховых болот / Т. М. Потапова, С. М. Новиков // Вестник СПбГУ. – 2006. – Вып. 2. – С. 85–95.

113. Практикум по агрохимии: учеб. пособие. / под ред. академика РАСХН В. Г. Минеева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.

114. Пьявченко, Н. И. Состояние и перспективы изучения болотных биогеоценозов / Н. И. Пьявченко // Современное состояние и перспективы развития биогеоценологических исследований. – Петрозаводск, 1976. – С. 32-46.

115. Работнов, Т. А. Болота бывшего Никольского уезда Северо-Двинской губернии / Т. А. Работнов // Известия лугового ин-та. – 1929. – № 4-6. – С. 34-47.

116. Работнов, Т. А. О болотах Архангельского округа / Т. А. Работнов // Торфяное дело. – 1930. – № 5. – С. 232-235.

117. Разведка торфяных месторождений / под ред. А. С. Оленина, Н. И. Прохорова, А. С. Проворкина [и др.]. – Главное управление торфа министерства сельского хозяйства и заготовок РСФСР. – Москва, 1953. – 371 с.

118. Регионы России. Основные характеристики субъектов Российской Федерации. 2021. – Стат. сб. Росстат. – М., 2021. – 766 с.

119. Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды: официальный сайт. – URL: <http://www.sevmeteo.ru/weather/gidro/> (дата обращения 05.11.2019).

120. Селянина, С. Б. Влияние растворителя на выход и состав торфяных битумов / С. Б. Селянина, В. Г. Татаринцева, О. В. Серебренникова [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2019. – № 5. – С. 83–88.

121. Селянина, С. Б. Особенности биотрансформации органических веществ в условиях болотных экосистем Севера (на примере Иласского болотного массива / С. Б. Селянина, М. В. Труфанова, О. Н. Ярыгина [и др.] // Труды ИБВВ РАН. – 2017. – Вып. 79 (82). – С. 200-206.

122. Семененко, Н. Н. Трансформация химического состава торфяных почв под влиянием осушения и длительного сельскохозяйственного использования / Н. Н. Семененко, Е. В. Каранкевич // Вести Национальной Академии наук Беларуси. – 2011. – № 1. – С. 45–50.

123. Сергеева, М. А. Торф: химический анализ и основы комплексной переработки: учебное пособие / М. А. Сергеева, О. А. Голубина. – Томск: Изд-во ТГПУ, 2011. – 84 с.

124. Серебренникова, О. В. Состав экстрактивных веществ торфов осушенных и ненарушенных верховых болот Беларуси и Западной Сибири / О. В. Серебренникова, Е. Б. Стрельникова, Ю. И. Прейс [и др.] // Известия ТПУ. Химия и химические технологии. – 2014. – Т. 325. – № 3. – С. 31–45.

125. Смагин, В. А. Болота южной части Кенозерского национального парка: растительность и типологическое разнообразие / В. А. Смагин // Биоразнообразие, охрана и рациональное использование растительных ресурсов Севера. Материалы XI Перфильевских научных чтений, посвящ. 125-летию со дня рождения И.А. Перфильева (1888-1942). – Архангельск, 2007. – Ч 1. – С. 266-272.

126. Соколов, О. М. Торфяные ресурсы Архангельской области и их использование / О. М. Соколов, В. Р. Ивко. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2000. – 37 с.

127. Справочно-информационный портал «Погода и климат»: сайт. – Обновляется в течение суток. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 05.11.2019).

128. Стадников, Г. Л. Химия торфа / Г. Л. Стадников. – М., 1932. – 180 с.
129. Стародымова, Д. П. Вещественный и элементный состав нерастворимых частиц в снеге северо-западного побережья Кандалакшского залива Белого моря / Д. П. Стародымова, В. П. Шевченко, А. Г. Боев // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 12. – С. 449-453.
130. Стародымова, Д. П. Влияние антропогенных источников на формирование микроэлементного состава приземного аэрозоля побережья Белого моря / Д. П. Стародымова, А. А. Виноградова, В. П. Шевченко [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 11. – С. 407–410.
131. Стародымова, Д. П. Элементный состав приземного аэрозоля у северо-западного побережья Кандалакшского залива Белого моря / Д. П. Стародымова, А. А. Виноградова, В. П. Шевченко [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2017. – № 11. – С. 956-961. DOI: 10.15372/AOO20171108
132. Стародымова, Д. П. Элементный состав рассеянного осадочного вещества снежного покрова Приморского района Архангельской области в марте 2019 г. / Д. П. Стародымова, В. П. Шевченко, С. К. Белоруков [и др.] // Международный научно-исследовательский журнал. – 2020. – № 2 (92). – С. 111-119. DOI: 10.23670/IRJ.2020.92.2.022
133. Степанова, В. А. Макроэлементный состав торфа выпуклых верховых болот средней тайги Западной Сибири (на примере болотного комплекса «Мухрино») / В. А. Степанова, О. С. Покровский // Вестник Томского государственного университета. – 2011. – С. 211-214.
134. Сыпалов, С. А. Оценка загрязнения торфа некоторыми тяжелыми металлами в зависимости от глубины залегания / С. А. Сыпалов, А. Ю. Кожевников, Н. Л. Иванченко [и др.] // Химия твердого топлива. – 2020. – № 1. – С. 38-42. DOI: 10.31857/S0023117720010107
135. Тарханов, С. Н. Лесные экосистемы бассейна Северной Двины в условиях атмосферного загрязнения: диагностика состояния / С. Н. Тарханов, Н. А. Прожерина, В. Н. Коновалов. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004. – 333 с.
136. Татаринцева, В. Г. Аэротехногенное загрязнение водно-болотных объектов водосбора Белого моря (на примере Архангельской области) /

В. Г. Татаринцева, Е. И. Котова // Географический вестник. – 2021. – № 2 (57). – С. 135-150. DOI: 10.17072/2079-7877-2021-2-135-150.

137. Татаринцева, В. Г. Металлы и As в торфе верховых болот Архангельской области / В. Г. Татаринцева, Е. И. Котова, А. С. Орлов [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 6. – С. 60-65. DOI: 10.17513/use.37842

138. Технический отчет по геоботаническому обследованию восточной части торфяного месторождения «Брусовица» Приморского района Архангельской области / Северо-Западное геологическое управление геологоразведочная экспедиция по разведке торфяных месторождений, 1964.

139. Томсон, А. Э. Сорбенты на основе торфа как компонент подстилки при напольном содержании цыплят-бройлеров / А. Э. Томсон, Т. В. Соколова, Ю. Ю. Навоша [и др.] // Труды Инсторфа. – 2019. – № 19 (72). – С. 45-48.

140. Томсон, А. Э. Сравнительный анализ органической части верхового торфа, сформированного в различных геоклиматических условиях / А. Э. Томсон, А. С. Орлов, С. Б. Селянина [и др.] // Природопользование. – 2018. – № 1. – С. 198-207.

141. Томсон, А. Э. Торф и продукты его переработки / А. Э. Томсон, Г. В. Наумова. – Минск: Беларус. навука, 2009. – 328 с.

142. Томсон, А. Э. Энтеросорбционная ферроцинсодержащая кормовая добавка на основе торфа / А. Э. Томсон, Т. В. Соколова, Н. Е. Сосновская [и др.] // Природопользование. – 2020. – № 2. – С. 125-131.

143. Торфяные болота Карелии. – Петрозаводск: Государственное издательство Карельской АССР, 1959. – 160 с.

144. Торфяные болота России: к анализу отраслевой информации / под ред. А. А. Сирина и Т. Ю. Минаевой. – М.: Геос, 2001. – 190 с.

145. Тюремнов, С. Н. Торфяные месторождения / С. Н. Тюремнов. – М.: «Недра», 1976. – 488 с.

146. Указ Президента РФ от 27 июня 2017 г. № 287 «О внесении изменений в Указ Президента РФ от 2 мая 2014 г. № 296 «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации». Текст : электронный // Президент России : [Сайт]. – URL: <http://static.kremlin.ru/media/acts/files/0001201706270043.pdf>.

147. ФР.1.31.2012.13573 «Методика измерений массовых долей токсичных металлов в пробах почв атомно-абсорбционным методом» / ОАО «Союзцветметавтоматика», Свидетельство об аттестации № 222.0195/01.00258/2012.

148. Царенко, В. П. Изменение агрохимических свойств освоенных торфяных почв при длительном возделывании сельскохозяйственных культур / В. П. Царенко, А. Н. Уланов, А. С. Горский // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – С. 99-103.

149. Чибисова, В. Г. Особенности группового химического состава органической части торфа Архангельской области / В. Г. Чибисова // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 11. – С. 95-100.

150. Чибисова, В. Г. Влияние осушения болот на групповой состав органического вещества верхового торфа Европейского Севера России / В. Г. Чибисова, С. Б. Селянина, О. Н. Ярыгина [и др.] // Геосферные исследования. – 2022. – № 3. – С. 126-135. DOI: 10.17223/25421379/24/8

151. Шагаева, Л. Л. Агрохимические свойства торфов Горного Алтая и перспективы использования их в растениеводстве / Л. Л. Шагаева, М. В. Шурова // Болота и биосфера: материалы VII Всероссийской с международным участием научной школы, 13–15 сентября 2010 г., Томск. – Томск: Издательство ТПУ, 2010. С. – 261-263.

152. Шевченко, В. П. Атмосферный перенос вещества (включая экотоксиканты) в Белое море и на его водосбор / Шевченко В. П., А. П. Лисицын, Р. А. Алиев, А. А. Виноградова [и др.] // Биологические ресурсы белого моря и внутренних водоемов Европейского Севера. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. – С. 633–637.

153. Шевченко, В. П. Геохимия эпигейных лишайников водосборного бассейна Белого моря / В. П. Шевченко, О. С. Покровский, Д. П. Стародымова [и др.] // Доклады Академии наук. – 2013. – Т.450. – № 1. – С. 87-93.

154. Шевченко, В. П. Загрязнение донных осадков озер водосборного бассейна Белого моря тяжелыми металлами, поступающими из атмосферы / В. П. Шевченко, Н. М. Кокрятская, Д. П. Стародымова [и др.] // Глобальные проблемы Арктики и Антарктики: материалы Всероссийской конференции с международным

участием, посвященной 90-летию со дня рождения акад. Николая Павловича Лавёрова, 2-5 ноября 2020 г., г. Архангельск. – Архангельск, 2020. – С. 605-609.

155. Шевченко, В. П. Поступление микроэлементов из атмосферы, зарегистрированное в природном архиве (на примере Иласского верхового болота, водосбор Белого моря) / В. П. Шевченко, О. Л. Кузнецов, Н. В. Политова [и др.] // Доклады Академии наук. – 2015. – Т. 465. – № 5. – С. 587–592.

156. Шевченко, В. П. Содержание тяжелых металлов в кустистых эпифитных лишайниках Карелии как индикатор атмосферного переноса загрязняющих веществ / В. П. Шевченко, Д. П. Стародымова, С. А. Кутенков [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2011. № 3. – С. 1-8.

157. Шевченко, В. П. Содержание тяжелых металлов в сфагновых мхах Вологодской области / В. П. Шевченко, Д. А. Филиппов, В. В. Гордеев [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2011. – № 4. – С. 51–58.

158. Шенников, А. П. Растительность болотного участка Архангельского болотного опытного поля / А. П. Шенников, М. М. Голубева. – Архангельск, 1930. – 59 с.

159. Ширяев, М. В. Карбоновые полигоны как элемент формирования «зеленой экономики» в Российской Федерации / М. В. Ширяев, С. Н. Яшин, С. А. Борисов [и др.] // Развитие и безопасность. – 2021. – № 4. – С. 95-104.

160. Юрковская, Т. К. Болота Архангельской области: ботанико-географические особенности и динамическое состояние / Т. К. Юрковская // IX Галкинские чтения: материалы конференции, 5-7 февраля 2018 г., г. Санкт-Петербург. – СПб: Издательство Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), 2018. – С. 243-246.

161. Юрковская, Т. К. Болотные экосистемы бассейна Белого моря / Т. К. Юрковская, О. Л. Кузнецов // В кн.: Система Белого моря. Т1. Природная среда водосбора Белого моря. – 2010. – 474 с.

162. Юрковская, Т. К. Ботанико-географические особенности болот и лесоболотных сочетаний в бассейне Пинеги / Т. К. Юрковская // Биоразнообразие, охрана и рациональное использование растительных ресурсов Севера: материалы

XI Перфильевских научных чтений, посвящ. 125-летию со дня рождения И. А. Перфильева (1888-1942). – Архангельск, 2007. – Ч 1. – С. 292-295.

163. Юрковская, Т. К. Верховые болота восточного Прибеломорья как часть единого природно-исторического Поморского региона / Т. К. Юрковская // Природное и историко-культурное наследие северной Фенноскандии: материалы международной научно-практической конференции, 3-4 июня 2003 г., г. Петрозаводск. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2003. – С. 51-57.

164. Юрковская, Т. К. География и картография растительности болот европейской России и сопредельных территорий / Т. К. Юрковская. – Санкт-Петербург, 1992. – 256 с.

165. Яковлев, Е. Ю. Оценка физико-химических параметров и распределения металлов в верховом болоте Архангельской области / Е. Ю. Яковлев, А. С. Дружинин, С. В. Дружинин [и др.] // Успехи современного естествознания. – 2020. – № 5. – С. 115-120. DOI: 10.17513/use.37401

166. Air Resources Laboratory : site. : URL: https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT_traj.php. (дата обращения: 15.02.2021).

167. Grishko, V. V. Optimization of conditions for biocatalytic production of stigmast-4-en-3-one / E.M. Nogovitsyna, I.B Ivshina // Chemistry of Natural Compounds. – 2012. – Vol. 48. – P. 432-435.

168. Grishko, V.V. The biocatalytic containment of physiologically active compounds based on vegetative β -sitosterol / E. M. Nogovitsyna, I. B Ivshina // Catalysis in Industry. – 2009. – Vol. 1. – P. 157-164.

169. Hansson, S. Using Peat Records as Natural Archives of Past Atmospheric Metal Deposition / S. Hansson, R. Bindler, F. De Vleeschouwer // Environmental Contaminants. Developments in Paleoenvironmental Research. – Springer, Dordrecht. – 2015. – Vol 18. DOI:10.1007/978-94-017-9541-8_12

170. Harris, L. I. Limited effect of drainage on peat properties, porewater chemistry, and peat decomposition proxies in a boreal peatland / L. I. Harris, T. R. Moore, N. T. Roulet [et al.] // Biogeochemistry. – 2020. – V. 151. – P. 43-62. DOI: 10.1007/s10533-020-00707-1

171. Laing, J. R. Long-term particle measurements in Finnish Arctic: Part I – Chemical composition and trace metal solubility / J. R. Laing, P. K. Hopke, E. F. Hopke

[et al.] // Atmospheric Environment. – 2014. – V. 88. – P. 275-284. DOI: 10.1016/j.atmosenv.2014.03.002

172. Macias-Rubalcava, M. L. Pentacyclic triterpenes with selective bioactivity from *Sebastiania adenophora* leaves, euphorbiaceae / M. L. Macias-Rubalcava, B. E. Hernandez-Bautista, M. Jimenez-Estrada [et al.] // Journal of chemical ecology. – 2007. – Vol. 33. – № 1. – P. 147-156. DOI: 10.1007/s10886-006-9208-7.

173. Nazaruk, J. The role of triterpenes in the management of diabetes mellitus and its complications / J. Nazaruk, M. Borzym-Kluczyk // Phytochemistry Reviews. – 2015. – Vol. 14. – P. 675-690. – DOI: 10.1007/s11101-014-9369-x

174. Rochefort, L. Restoration of Degraded Boreal Peatlands / L. Rochefort, E. Lode // Boreal Peatland Ecosystems – 2006. – V. 188. – Pp. 381-423. DOI: 10.1007/978-3-540-31913-9_17

175. Salminen, R. Geochemical atlas of eastern Barents Region / R. Salminen, V. Chekushin, M. Tenhola [et al.]. – Elsevier B.V. – 2004. – 548 p.

176. Schröder, W. Correlation between atmospheric deposition of Cd, Hg and Pb and their concentrations in mosses specified for ecological land classes covering Europe / W. Schröder, R. Pesch, A. Hertel [et al.] // Atmospheric Pollution Research. – 2013. – V. 4. – P. 267-274. DOI: 10.5094/APR.2013.029

177. Singh, B. Plant terpenes: defense responses, phylogenetic analysis, regulation and clinical applications / B. Singh, R. A. Sharma // 3 Biotech. – 2015. – Vol. 5. – № 2. – P. 129-151. DOI: 10.1007/s13205-014-0220-2

178. Stein, A. F. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System / A. F. Stein, R. R. Draxler, G. D. Rolph [et al.] // Bulletin of the American Meteorological Society. – 2015. – Vol. 96. – P. 2059-2077. DOI: 10.1175/BAMS-D-14-00110.1

179. Walter, K. M. Methane bubbling from Siberian thaw lakes as a positive feedback to climate warming / K. M. Walter, S. A. Zimov, J. P. Chanton [et al.] // Nature. – 2006. – V. 443. – P. 71-75.

180. Xu, Z. Effect of drainage on microbial enzyme activities and communities dependent on depth in peatland soil / Z. Xu, S. Wang, Z. Wang [et al.] // Biogeochemistry. – 2021. – P. 323-341. DOI:10.1007/s10533-021-00828-1

ПРИЛОЖЕНИЕ А

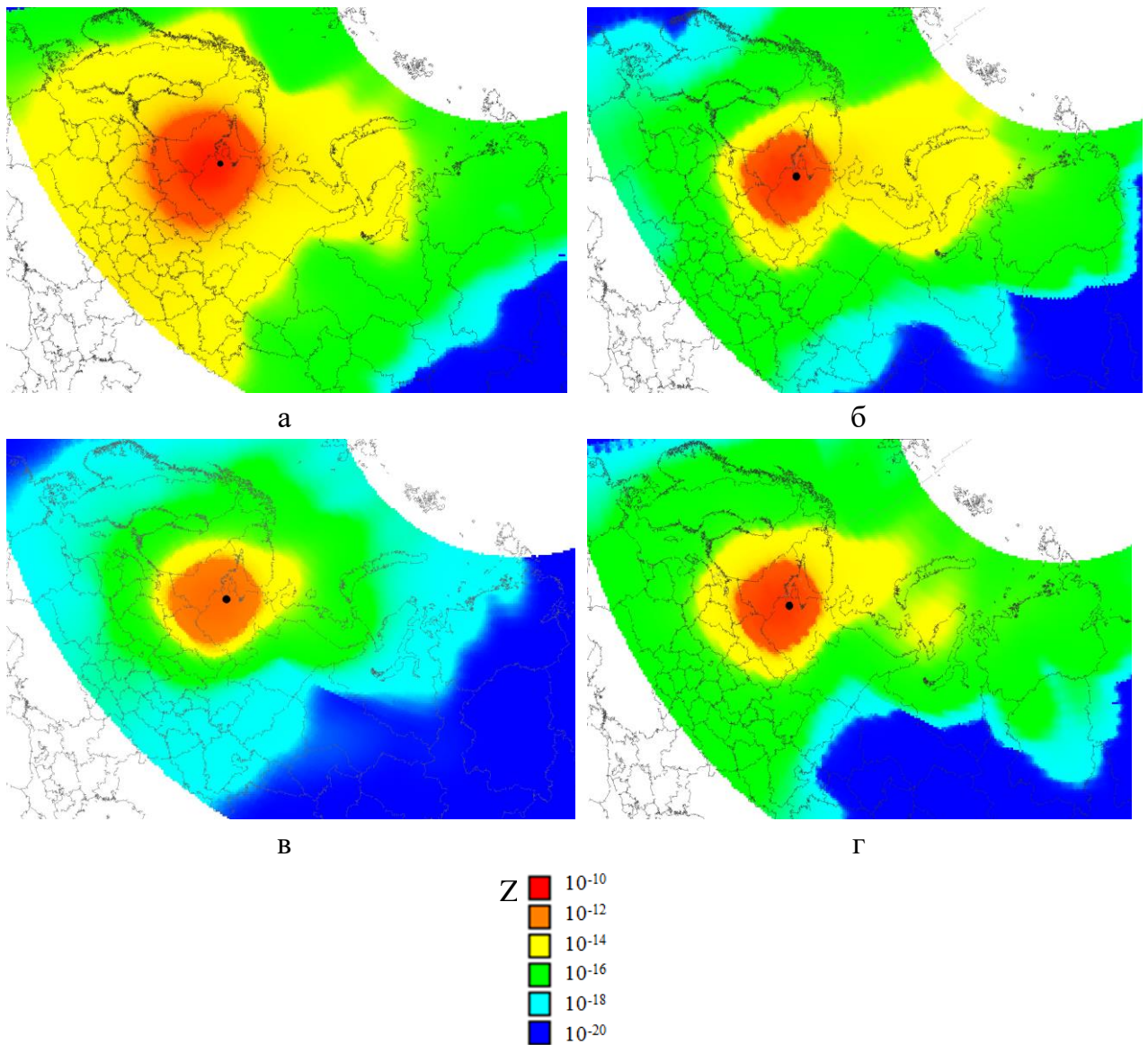


Рисунок А.1 – Карты-схемы распределения значений функции Z , показывающей влияние различных регионов России на состав атмосферного аэрозоля вблизи болота Большой Мох за период с 2001 по 2020 гг.: а – зимой (январь); б – весной (апрель); в – летом (июль); г – осенью (октябрь), где красный цвет – максимальные значения функции, синий цвет – минимальные значения функции

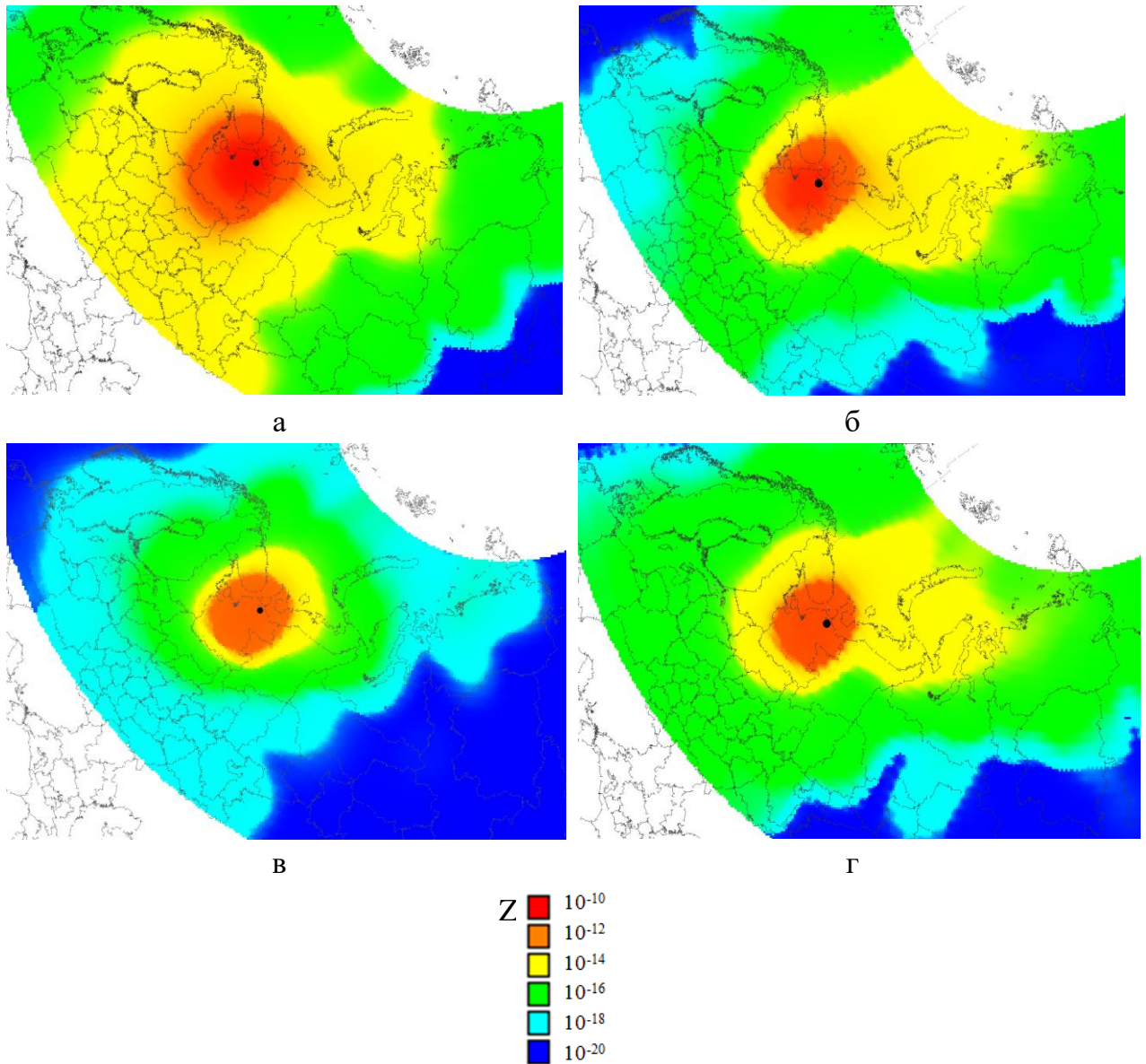


Рисунок А.2 – Карты-схемы распределения значений функции Z , показывающей влияние различных регионов России на состав атмосферного аэрозоля вблизи Трофимовского болота за период с 2001 по 2020 гг.: а – зимой (январь); б – весной (апрель); в – летом (июль); г – осенью (октябрь), где красный цвет – максимальные значения функции, синий цвет – минимальные значения функции