

На правах рукописи

Чибисова Валерия Геннадьевна

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

Специальность: 1.6.21 – Геоэкология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Санкт-Петербург – 2023

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

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 (Инишева и др., 2019; Сирина и др., 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. Агрохимические 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 содержания 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 Microsoft Excel 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. Наибольшее воздействие 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 конференция «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.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель, задачи, объекты и предмет исследования. Показаны научная новизна, теоретическая и практическая значимость, методология и методы работы, а также степень достоверности результатов и личный вклад автора. Сформулированы защищаемые положения.

В первой главе «Состояние вопроса» приведена информация о торфяных ресурсах России в целом и района исследований в частности (запасы, добыча, районирование). Охарактеризована сущность процесса торфообразования, описаны основные свойства торфа. Приведена информация о применении торфа, его комплексной переработке и возможностях рационального использования. Описана разработанность темы исследования.

Во второй главе «Объекты и методы исследования» рассмотрены географическое положение и природные условия изучаемого района, обоснован выбор объектов исследования и приведена их подробная характеристика. Описаны методы исследования.

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 1) – Иласское болото в нижнем течении р. Северной Двины, болото Большой Мох в нижнем течении р. Онега и Трофимовское болото в нижнем течении р. Мезень.

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 среднееголетние годовые 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 1.



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

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 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 участка Иласского болота.

Таблица 1 – 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

Методы исследования

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 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.

Отбор проб торфа проводили в летние полевые сезоны 2019-2022 гг. методом послонного бурения торфяным буром Р 04.09 (EIJKELKAMP, Нидерланды) согласно (ГОСТ 17644-1983). Подготовка торфа к дальнейшим анализам включала в себя сушку до воздушно-сухого состояния, а затем фракционирование на сите с диаметром ячеек 2 мм. Степень разложения и ботанический состав торфа определяли в лабораторных условиях микроскопическим методом (ГОСТ 28245–89). Влажность и зольность торфа определяли по стандартным методикам (ГОСТ 11305–2013, ГОСТ 11306–2013) 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. Групповой химический состав органической части торфа проводили по аттестованной методике (Методика измерений..., 2017), основанной на последовательном выделении компонентов торфа растворителями различной природы и их количественном определении гравиметрическим методом.

Агрохимические показатели торфа были определены по общепринятым методикам. 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).

Изучение влияния атмосферного переноса на загрязнение исследуемых болот антропогенными примесями проводили на основе анализа многолетних закономерностей перемещения воздушных масс в районы исследования методом статистики обратных траекторий. Сущность метода заключается в получении массива данных о траекториях движения воздушных масс, которые способны собирать и переносить на дальние расстояния примеси к объектам исследования от конкретных источников. При этом каждая точка траекторий характеризуется координатами и метеорологическими параметрами (высота слоя перемешивания и количество осадков). Эта информация была получена с использованием модели NYSPLIT на сервере Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA). Дальнейшие расчеты проводили в Microsoft Excel, где территория Северной Евразии была разбита на ячейки $1^\circ \times 1^\circ$ с координатами (от 52° до 69° N и от 4° до 180° E) и рассматривалась в качестве пространства, на котором расположены исследуемые объекты (для каждого болота была выбрана точка с конкретными координатами) и источники загрязнения (регионы на территории РФ, которые выбрасывают примеси в атмосферу). Затем данные о траекториях движения воздушных масс «накладывались» на координатную сетку, и на основе этого рассчитывали значения функции Z – функции, характеризующей все атмосферные процессы, влияющие на перенос загрязнителя от источника к объекту. Она 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 (Виноградова, 2014). Далее для количественной оценки переноса антропогенных примесей в расчетную таблицу с координатами были занесены данные о количестве выбросов элементов (Pb, Cd, As, Zn, Ni, Cr и Cu) от конкретных источников на территории России, полученные из сборника (Ежегодник..., 2011) за 2010 год, который

содержит наиболее полную информацию. В расчетах учитывались выбросы всех регионов, указанных в сборнике. На основе рассчитанных значений функции Z и известного количества выбросов примесей в Microsoft Excel рассчитывали концентрации элементов в приземном слое воздуха вблизи рассматриваемого объекта (C) и их потоки на подстилающую поверхность (D). С целью выявления территорий, через которые проходит большее количество траекторий, и которые, соответственно, сильнее влияют на состав атмосферного аэрозоля вблизи исследуемых объектов, в программе MapInfo построены карты-схемы распределения значений функции Z – чем выше значение функции, тем сильнее территория оказывает влияние на воздух вблизи исследуемых объектов.

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).

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.

В третьей главе «Влияние природных условий и антропогенных факторов на свойства торфа» описаны природные условия, влияющие на свойства торфа, и антропогенные факторы. Рассматриваются экспериментальные данные, полученные для торфа исследуемых болот: ботанический состав, физико-химические и агрохимические свойства, групповой химический состав органической части торфа. Показаны влияние атмосферного переноса на поступление антропогенных примесей на поверхность болот и основные регионы-источники загрязнений, а также содержание непосредственно в торфе металлов и мышьяка. Охарактеризовано влияние осушения на свойства торфа.

Природные условия формирования торфяных отложений

На рисунке 2 представлена блок-схема природных факторов, влияющих на процесс торфообразования и, как следствие, свойства торфа. 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.



Рисунок 2 – Блок-схема факторов, влияющих на свойства торфа (составлено автором)

Как следствие, процесс трофообразования 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.

Для исследования влияния природных условий на свойства торфа торфяные профили на каждом болоте были визуально разделены на характеристические горизонты (см. п. 2.3). Результаты определения физико-химических показателей торфа приведены в таблице 2.

Таблица 2 – 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. 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 в степени деструкции торфа и его кислотности (pH). 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 %. Подобные тенденции отмечаются и для pH. 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.

Анализ агрохимических свойств торфяных отложений показал, что характеристики торфа трех болот отличаются (таблица 3). Особенно выделяется торф болота Большой Мох, который по содержанию аммиачного азота, фосфора и калия можно сопоставить с некоторыми низинными торфами (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.

Таблица 3 – 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 C _{орг} , %	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

Таким образом, наибольшие отличия в агрохимических показателях отмечаются для онежского торфа. Однако, 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 2, 3). 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.

Групповой химический состав органической части торфа также имеет ряд отличий (таблица 4). Доля водорастворимых веществ (ВРВ) в торфе трех болот в среднем

варьируется в пределах от 0,9 до 2 %. Содержание ВРВ не меняется по глубине залежи на болоте Большой Мох, снижается на Иласском болоте, а на Трофимовском болоте – возрастает.

Таблица 4 – Групповой химический состав органической части торфа

Глубина, см	ВРВ, %	Б, %	ГК, %	ФК, %	ЛГВ, %	ТГВ, %	Л, %
Большой Мох							
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							
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							
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 (Б) части торфа. Содержание этой группы веществ 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 и Трофимовского болот с увеличением глубины залегания увеличивается содержания битумов, а содержание битумов в 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. Поскольку формирование торфа – это длительный процесс с постоянно изменяющимися условиями окружающей среды, содержание гуминовых кислот (ГК) и фульвокислот (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 торфе Онежского района – 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 торфе Онежского и Мезенского районов, а в торфе Приморского района – наоборот. Доля

легкогидролизуемых (ЛГВ) и трудногидролизуемых (ТГВ) веществ 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 торфе Онежского района – 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 онежском торфе варьируется от 19,6 до 50,3 %, от 37,1 до 48,4 % в мезенском торфе и от 27,0 до 45,5 % в архангельском торфе. Закономерно, снижение доли ЛГВ и ТГВ в торфе с глубиной приводит к увеличению негидролизуемого остатка (лигнина).

Результаты расчета непараметрического критерия Краскела-Уоллеса показали, что значение критерия 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.

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.

Атмосферный перенос как источник поступления загрязнения

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, определены концентрации в приземном слое воздуха и потоки свинца (Pb), кадмия (Cd), мышьяка (As), цинка (Zn), никеля (Ni), хрома (Cr) и меди (Cu) на поверхность болот, выявлены основные регионы-источники загрязнителей.

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. Карты-схемы визуально сходны для трех объектов, поэтому представлены только для Иласского болота (рисунок 3а, б).

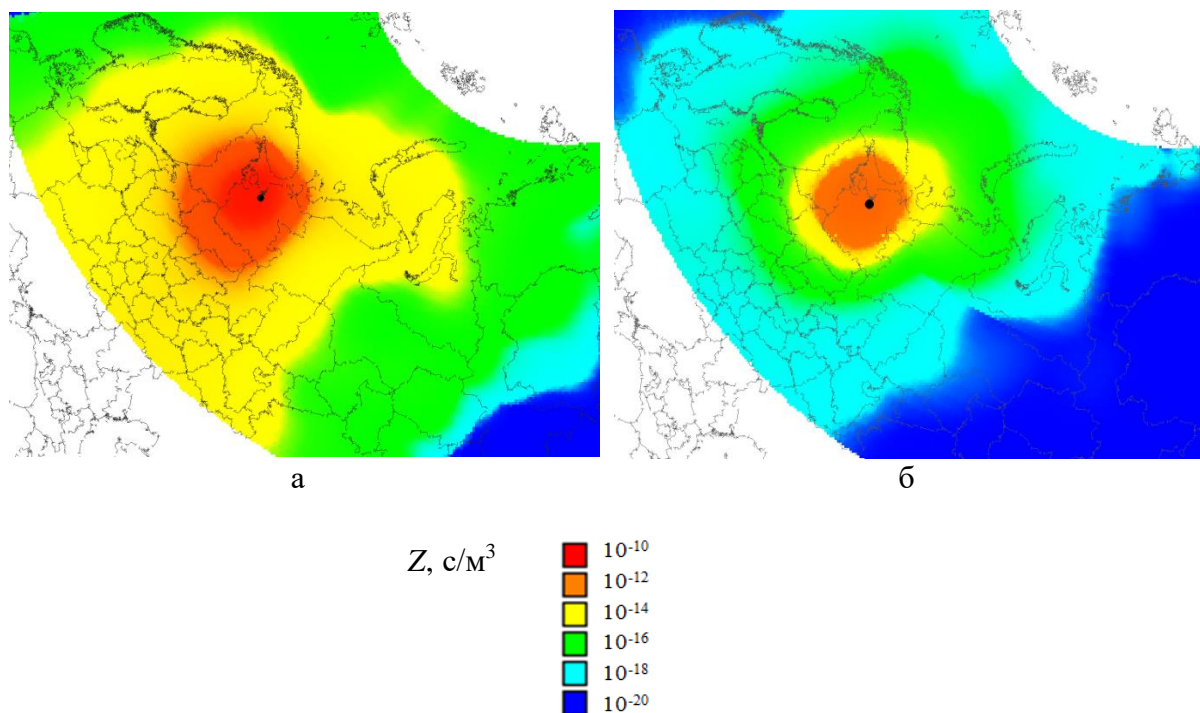


Рисунок 3 – Карты-схемы распределения значений функции Z , показывающей влияние различных регионов России на состав атмосферного аэрозоля вблизи Иласского болота за период с 2001 по 2020 гг.: а – зимой, б – летом, где красный цвет – максимальные значения функции, синий цвет – минимальные значения функции

Различный цвет областей на картах характеризует количественные значения функции и, соответственно, степень влияния территории, выделенной цветом, на состав воздуха вблизи исследуемых объектов: красный цвет – максимальное влияние, синий цвет – минимальное. В результате исследования было выявлено значительное влияние сезона года на процессы переноса примеси от источника загрязнения. Максимальное расширение ареала территорий, способных оказывать влияние на состав атмосферного воздуха региона, происходит в зимние месяцы. Это иллюстрируется расширением областей, выделенных красным, оранжевым и желтым цветами, во всех направлениях, и в наибольшей степени на юг и запад (рис. 3а). Для болотных массивов это может означать повышение антропогенной нагрузки на них и связанные с ними водные объекты весной – значительные количества металлов могут выпадать на поверхность болот в зимний период и накапливаться в снежном покрове, а при таянии снега поступать в водотоки и проникать непосредственно в торфяную залежь. В летний период воздействие дальнего атмосферного переноса минимально (рис. 3б). Это подтверждается и расчетами концентраций элементов в приземном слое воздуха и их потоков на поверхность болот за 4 сезона – максимальные концентрации и потоки всех элементов отмечены в зимний период.

Количественный анализ годовых потоков примесей на поверхность болот за 20 лет (таблица 5) показал, что основным поллютантом, поступающим в результате атмосферного переноса, для трех болот является медь, также в значительном количестве поступают никель и хром. Загрязнение медью и хромом наиболее характерно для Иласского болота, а никелем – для Трофимовского болота.

Таблица 5 – Средние за 20 лет (2001–2020 гг.) годовые потоки примесей на поверхность трех болотных массивов, 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

Самым мощным регионом-источником меди для трех болот являются предприятия г. Мончегорск, причем значительный объем примеси поступает в зимний период. Среди других источников можно отметить предприятия Мурманской области в целом (без г. Мончегорск), а также г. Петрозаводск. Основной и самый мощный регион-источник никеля расположен также на территории Мурманской области. Поступление в атмосферу хрома, в отличие от никеля и меди, обусловлено действием большего количества источников, наиболее значимыми являются Новгородская область, г. Петрозаводск, Республика Татарстан и Пермский край.

Концентрации в воздухе и потоки на поверхность свинца, кадмия, мышьяка и цинка значительно ниже, чем меди, никеля и хрома. Атмосферный перенос свинца происходит в основном с территорий Свердловской и Мурманской областей (г. Мончегорск), а кадмия – Свердловской и Московской областей. Влияние Свердловской области наиболее велико для Трофимовского болота. Важными источниками мышьяка, помимо Мончегорска и Свердловской области, являются Республика Башкортостан, Московская и Мурманская области. Поступление цинка обусловлено выбросами Свердловской и Вологодской областей, а также ряда южных регионов страны.

Таким образом, вклад атмосферного переноса в загрязнение болот антропогенными примесями может быть значительным. При этом главным фактором, определяющим количество загрязнений в приземном слое воздуха и на поверхности болот, является не близость расположения исследуемых объектов по отношению к крупным промышленным предприятиям, а закономерности циркуляции воздушных потоков в атмосфере. Значимым фактором является и сезон года.

Металлы и мышьяк в торфе

Для сопоставления результатов модельных оценок загрязнения торфяных отложений путем атмосферного переноса, а также для качественной характеристики торфа как сырья для последующей переработки был проведен анализ торфяных отложений на содержание элементов (хрома (Cr), кобальта (Co), меди (Cu), цинка (Zn), свинца (Pb), кадмия (Cd), никеля (Ni), ртути (Hg) и мышьяка (As)). Результаты анализа представлены на рисунке 4 (а, б, в).

Основными поллютантами для трех болот являются цинк, хром, медь, и никель. При этом наибольшие концентрации этих элементов выявлены в нижних горизонтах торфа болота Большой Мох Онежского района (рис. 5а). Для Иласского болота наиболее характерно загрязнение торфа цинком и никелем, однако, по сравнению с болотом в Онежском районе, концентрации на Иласском болоте более чем в 2 раза ниже (рис. 5б). В торфе Трофимовского болота в наибольшем количестве присутствует цинк, а концентрации хрома, меди и никеля незначительны (рис. 5в).

В целом можно отметить, что концентрации всех элементов сопоставимы между собой для торфа каждого из трех болот. Сравнение полученных нами результатов с данными других авторов (Сыпалов и др., 2020; Яковлев и др., 2020; Зыкова и др., 2018; Федоров и др., 2017; Иванова, Кириллова, 2015; Кузьмин, 2019) показывает, что значения

концентраций металлов также сопоставимы, а скачки концентраций элементов могут быть вызваны локальным загрязнением, поступающим от близлежащих промышленных объектов с атмосферными потоками или иными путями.

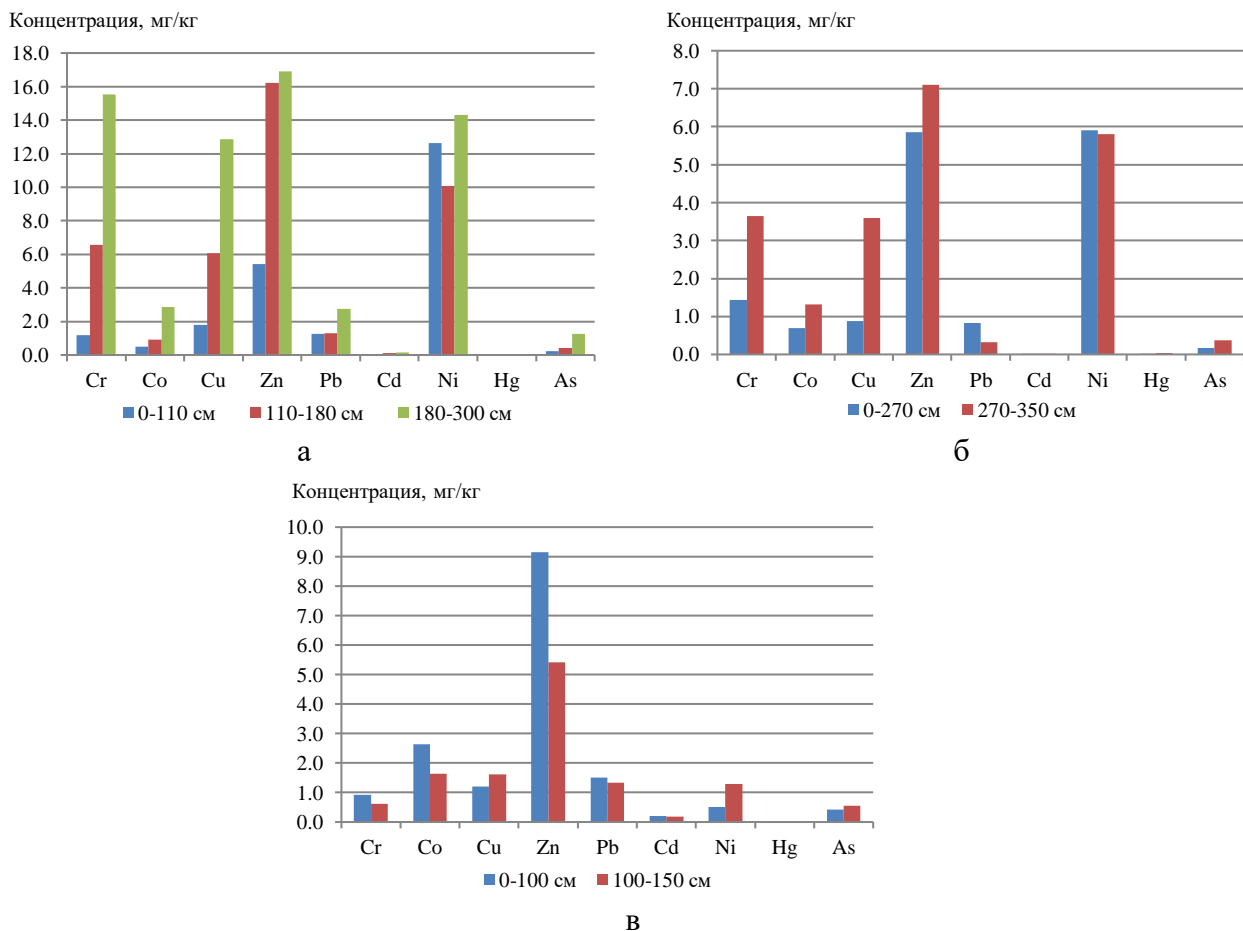


Рисунок 4 – Содержание элементов в торфе болот Большой Мох (а), Иласское (б) и Трофимовское (в)

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 5). 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.

Влияние осушения на свойства торфа

Для изучения влияния искусственного осушения на свойства торфа были выбраны характеристические горизонты осушенного и ненарушенного участков Иласского болота, расположенные на расстоянии около 3 км друг от друга (для исключения влияния геоклиматических факторов). Анализировали характеристические горизонты торфа каждой из площадок. В отличие от торфа ненарушенного участка, который однороден по ботаническому составу всей глубине залежи и практически полностью состоит из остатков сфагновых мхов (таблица 2), 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 6).

Таблица 6 – 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
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 % (таблица 6). 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, поскольку сфагновые мхи мало подвержены разложению ввиду специфики химического состава. Более кислая реакция среды на осушенном участке может быть вызвана хвоей сосны. Есть мнение, что хвойный опад в процессе разложения закисляет почву.

Анализ агрохимических свойств торфа осушенного и ненарушенного участков (для удобства восприятия данные из таблицы 2 для ненарушенного участка перенесены в таблицу 7) показал, что торф верхнего горизонта осушенного участка содержит в 3 раза больше фосфора, чем торф естественного участка, и в 2,5 раза больше калия (таблица 7). Это происходит за счет уплотнения залежи при спуске свободной воды из торфяной залежи. Также можно отметить увеличение содержания обменных катионов кальция и магния, и повышение гидролитической кислотности.

Таблица 7– Агрохимические свойства торфа осушенного и естественного участков

Показатели	Осушенный участок		Ненарушенный участок	
	0-30	30-140	0-270	270-350
Глубина, см	0-30	30-140	0-270	270-350
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 представлена гистограмма распределения основных компонентов органической части торфа осушенного и естественного участков Иласского болота по глубинам. Гистограмма построена на основе среднеарифметических значений.

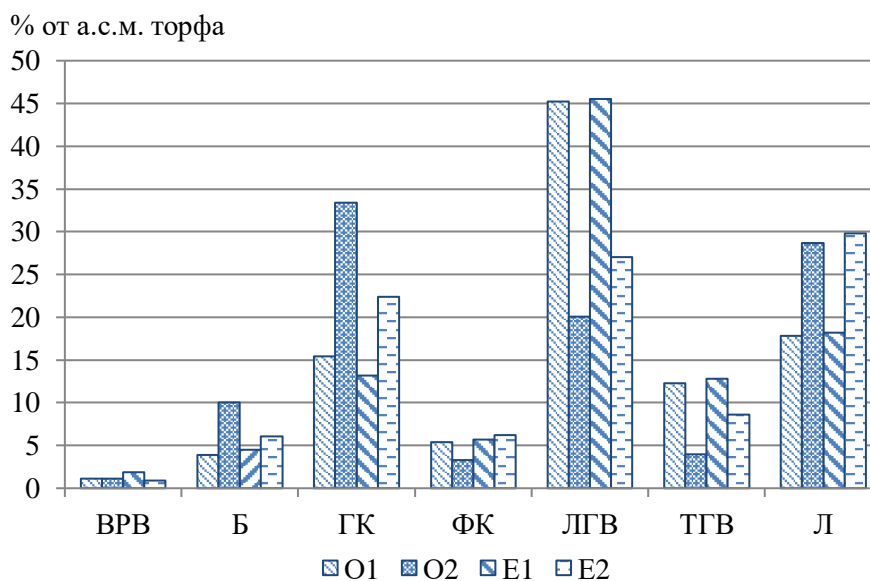


Рисунок 6 – Групповой химический состав органической части торфа (в % от абсолютно сухой массы) осушенного (О) и естественного (Е) участков Иласского болота (средние значения); О1 – 0-30 см; О2 – 30-140 см; Е1– 0-270 см; Е2 – 270-350 см

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 трудногидролизуемых (ЛГВ и ТГВ) соединений на обоих участках закономерно снижаются, а количество лигнина (Л) – негидролизуемого остатка – 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.

Достоверность различий химического состава торфа двух площадок была проверена с помощью непараметрического теста Манна-Уитни. При $U_{\text{мп}} < U_{\text{кр}}$ делается вывод о том, что различия между выборками значимы и достоверны. Достоверные изменения химического состава осушенного и естественного участков отмечены 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 низкой степени разложения и зольностью (Орлов и др., 2017; Соколов, Ивко, 2000; Томсон, Наумова, 2009; Бобошин, 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 микрорзелени, 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 ($pH_{\text{KCl}} = 4,3$, $pH_{\text{вод}} = 5,4$) 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 pH (максимальное значение – 4,3), в то время как pH 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-востока на северо-запад: количества аммиачного азота, фосфора, калия и кальция уменьшаются, нитратного азота – увеличивается, а 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 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 среднемноголетних 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 осаждения и циркуляция воздушных масс. Согласно модельным оценкам, основные регионы-источники металлов – Мурманская область, Республика Карелия, Новгородская область, Республика Татарстан и Пермский край.

3. Осушение приводит изменению физико-химических и агрохимических свойств, 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 большом 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 ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ (девичья фамилия Чибисовой – Татаринцева):

Публикации в изданиях из перечня ВАК:

1. 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. (1,24/0,87 п.л.)

2. 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. (0,58/0,29 п.л.)

3. Чибисова, В. Г. Особенности группового химического состава органической части торфа Архангельской области / В. Г. Чибисова // Успехи современного естествознания. – 2022. – № 11. – С. 95-100. (0,60/0,60 п.л.)

Публикации в изданиях, входящих в базы данных Web of Science, Scopus:

4. 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. (0,97/0,49 п.л.)

В других изданиях:

5. Татаринцева, В. Г. Атмосферный перенос загрязнителей на территории водно-болотных объектов Архангельской области / В. Г. Татаринцева, Е. И. Котова, С. Б. Селянина // Четвертые Виноградовские чтения. Гидрология от познания к мировоззрению: сборник докладов международной научной конференции. – СПб.: Изд-во ВВМ, 2020. – С.795-798. (0,27/0,19 п.л.)

6. Татаринцева, В. Г. Перспективы использования ресурсов торфяных болот Архангельской области / В. Г. Татаринцева, С. Б. Селянина // Экология и управление природопользованием. Экологическая безопасность территорий (проблемы и пути решения): материалы IV Всероссийской науч.-практич. конфер. с международным участием. – Томск, 2021. – Вып. 4. – С. 91-93. (0,23/0,16 п.л.)

7. Tatarintseva, V. G. Prospects for surfactant peat derivatives / V. G. Tatarintseva, M. V. Trufanova, S. B. Selyanina [et. al.] // EGU General Assembly. – 2021. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-11528>. (0,08/0,04 п.л.)

8. Татаринцева, В. Г. Влияние гидрологических условий на свойства торфяных залежей болот южноприбалтийского типа / В. Г. Татаринцева, С. Б. Селянина,

Т. И. Пономарева [и др.] // Западно-Сибирские торфяники и цикл углерода: прошлое и настоящее: материалы Шестого Международного полевого симпозиума. – Изд-во ТГУ, 2021. – С. 142-143. (0,19/0,095 п.л.)

9. **Татаринцева, В. Г.** Влияние осушения на групповой состав органического вещества верхового торфа Европейского Севера России / В. Г. Татаринцева, С. Б. Селянина, О. Н. Ярыгина [и др.] // Торфяные болота Сибири: функционирование, ресурсы, восстановление: материалы Четвертой международной научной конференции. – Томск: «Издательство Ипполитова», 2021. – С. 117-119. (0,09/0,045 п.л.)

10. **Татаринцева, В. Г.** Металлы в торфяных отложениях болот Архангельской области / В. Г. Татаринцева, Е. И. Котова // Арктические исследования: от экстенсивного освоения к комплексному развитию: сборник докладов III Международной молодежной научно-практической конференции. – Архангельск, 2022. – С.380-383. (0,22/0,15 п.л.)