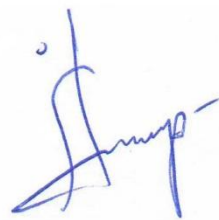


На правах рукописи



УКРАИНЦЕВ Александр Викторович

**ОСОБЕННОСТИ МИГРАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ
В СНЕЖНОМ ПОКРОВЕ И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДАХ В РАЙОНАХ
ЛЕСНЫХ ПОЖАРИЩ ЦЕНТРАЛЬНОЙ БУРЯТИИ**

Специальность 25.00.09 – Геохимия, геохимические методы поисков
полезных ископаемых

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск, 2017

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Геологическом институте Сибирского отделения Российской академии наук (ГИН СО РАН), г. Улан-Удэ.

Научный руководитель: **Плюснин Алексей Максимович,**
доктор геолого-минералогических наук,
профессор

Официальные оппоненты: **Тайсаев Трофим Табанович,**
доктор географических наук, профессор,
Бурятский государственный университет,
профессор кафедры экологии и
природопользования

Щербов Борис Леонидович,
кандидат геолого-минералогических наук,
ФГБУН Институт геологии и минералогии
им. В.С. Соболева СО РАН, старший научный
сотрудник лаборатории геохимии
благородных и редких элементов и
экогеохимии

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук (ИПРЭК СО РАН), г. Чита.

Защита диссертации состоится 19 декабря 2017 года в 14⁰⁰ часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.170.03 при ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», ФГБУН Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет» по адресу: г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, 20-й корпус ТПУ, аудитория 504.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55) и на сайте <http://portal.tpu.ru/council/2799/worklist>.

Автореферат разослан «___» _____ 2017 года

Ученый секретарь
диссертационного совета,
К.Г.-М.Н.



Лепокурова Олеся Евгеньевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В условиях постоянного увеличения антропогенной нагрузки на природную среду, лесные пожары стали одной из наиболее серьезных глобальных экологических проблем. Значительные по площади лесные территории ежегодно выгорают в крупнейших странах мира, таких как США, Канада, Россия, Австралия, Бразилия. Процесс обезлесения планеты, который обычно связывают с ростом населения и хозяйственным освоением лесных территорий, значительно усугубляется потерей лесов за счет крупных пожаров. Одновременно с процессом сокращения площади лесного покрова планеты наблюдается процесс деградации лесов, проявляющийся в снижении видового, структурного и генетического разнообразия лесных сообществ, уменьшении количества биомассы.

Помимо непосредственного ущерба от выгорания лесной растительности, после крупных пожаров длительное время проявляются вторичные поражающие факторы: усиливаются эрозионные процессы, нарушаются условия формирования поверхностного стока, меняется химический состав природных вод [Майорова и др., 2013]. Дымовая эмиссия лесных пожаров поставляет в атмосферу огромное количество дисперсных частиц, ухудшающих оптические и химические свойства атмосферы. Аэрозоли, в огромном количестве появляющиеся в атмосфере в результате лесных пожаров, также служат источником поступления водорастворимых солей в атмосферные осадки, снежный покров, поверхностный сток [Куценогий и др., 1996]. Оставшиеся после прохождения пожаров на поверхности почвы зола, обугленные и сгоревшие остатки древесно-растительного покрова также оказывают большое влияние на формирование химического состава атмосферных осадков (в результате эолового переноса) и водных объектов дренирующих пирогенно измененные водосборы [Шестеркин и др., 2002].

Лесные пожары являются мощным геохимическим фактором, определяющим миграцию химических элементов из живого вещества в окружающую среду. Причем результаты деятельности пожаров по перераспределению химических элементов на земной поверхности можно наблюдать многие годы после прохождения огня, наблюдая за состоянием выгоревших площадей. Суммарная площадь лесных территорий, пострадавших от пожаров, постоянно увеличивается. Скорость восстановления сгоревших участков не совпадает с темпами ежегодного пожарного повреждения, вследствие чего все большие участки леса занимают гари различных возрастов. Воздействие лесных пожаров на экологическое состояние окружающих территорий в этой связи представляет определенный научный интерес. Появляется необходимость наблюдения за состоянием выгоревших территорий на каждом этапе послепожарного восстановления.

Цель работы: изучить миграцию химических элементов в снежном покрове и поверхностных водах на лесных пожарищах и в зоне их атмосферного влияния в послепожарный период.

Задачи:

- проанализировать изменения химического состава снежного покрова территорий, в разное время пострадавших от лесных пожаров;
- изучить химический состав поверхностных вод, дренирующих пирогенно поврежденные участки;
- исследовать размер, морфологию, химический состав нерастворимых дисперсных частиц, накапливающихся в снежном покрове на участках лесных пожарищ.

Фактический материал и методы исследования. В основу диссертационной работы положены статистические данные мониторинга природных сред в районе исследования, а также результаты анализов образцов снега и поверхностных вод. Собранная статистическая информация включала в себя количественные данные о географическом распределении лесных пожаров на территории Заиграевского района Республики Бурятия в 2010-2015 годах, гидрометеорологическую информацию, полученную на метеостанции в с. Новая Курба Заиграевского района, данные гидрологических наблюдений, проводимых на гидрологическом посту службы Росгидромет в п. Заиграево.

Отбор проб, подготовка их к анализу и обработка результатов проводилась лично автором. Количество изученных образцов: 50 проб снега и 30 проб поверхностных вод. Произведено 4050 элементоопределений. Из образцов снега, отобранных в 2015 году, были выделены твердые частицы для определения размера и их химического состава – 20 проб.

Количественное определение содержания химических элементов было выполнено комплексом современных методов анализа: многокомпонентного ИСП МС анализа на приборе Element XR (Finnigan MAT), ИСП АЭС анализа на спектрометре Optima-2000 DV, а также методов определения массовых концентраций ионов в природных и сточных водах, включенных в реестр ПНДФ. Морфология и состав дисперсных частиц снежного покрова были изучены по снимкам электронной микроскопии и результатам энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX-элементного анализа) с помощью электронного микроскопа JEM-2010 с системой микроанализа EDAX PHOENIX. Все аналитические работы проведены в аккредитованных лабораториях, с применением аттестованных методик. Внутренний контроль качества измерений показал удовлетворительную сходимость результатов.

Массивы исходных данных и результатов проведенных анализов обрабатывались с применением методов математической статистики. Основные статистические закономерности были получены с применением программного пакета Microsoft Office Excel 2010. Для реализации более сложных многомерных статистических методов анализа, таких как

однофакторный и многофакторный дисперсионный анализ, факторный анализ, использовался программный пакет Statistica 10.

Научная новизна. Установлены основные процессы определяющие миграцию химических элементов в снежном покрове и поверхностных водах на пожарищах и в зоне их влияния. Показано, что процесс разложения органических остатков, продолжающийся после пожара, задает на окружающей территории кислую среду снега и талых вод, что приводит к интенсификации миграционной способности ряда химических элементов.

Выделены три ассоциации микроэлементов, содержащихся в снежном покрове пирогенно поврежденных участков леса, поведение которых в многолетнем аспекте имеет значительное внутригрупповое сходство. Поведение элементов первой группы (Mg, P, K, Mn, Fe, Al, PЗЭ) характеризуется резким повышением концентрации в 1-й год после пожара и резким снижением на 2-й и последующие годы до значений, близких к фоновому уровню. Эта ассоциация элементов поступает в снег в результате послепожарного разложения органических остатков. Вторая группа представлена щелочными и щелочно-земельными элементами (Li, Ca, Sr, Cs, Ba) тяжелыми металлами (V, Co, Mo, Sn, W). Поведение этих элементов также характеризуется повышением концентрации в 1-й послепожарный год, но в отличие от элементов первой группы, снижение значений происходит плавно в течение нескольких последующих лет. Третий фактор обуславливает содержание в снежном покрове типичных тяжелых металлов (Cr, Ni, Cu, Pb). В отличие от элементов первой и второй групп, концентрация этих элементов сохраняется на уровне, близком к уровню негоревших участков, первые два года после пожара, а затем наблюдается повышение на 3-й и 4-й годы.

Впервые изучено поведение редкоземельных элементов в снежном покрове и поверхностных водах в районах лесных пожарищ. Установлены высокие содержания редких земель, которые накапливаются в снегу в результате послепожарного разложения негоревшего органического вещества. Максимальные концентрации наблюдаются в первый послепожарный год. Миграция растворимых форм РЗЭ с пожарищ в составе талых вод приводит к повышению их содержания в воде рек, дренирующих исследуемые участки, в весенний период.

Показано, что лесные пожарища длительное время генерируют большое количество экологически наиболее опасных тонкодисперсных частиц, которые накапливаются в снежном покрове. Установлен химический состав твердых включений в снежном покрове пожарищ различного возраста и в зоне их атмосферного влияния. Изучены их размеры и морфология.

Практическая значимость. Показано, что начало пожароопасного сезона и его характер в весенние месяцы в значительной степени определяется метеорологическими условиями предшествующего зимнего периода, в особенности количеством осадков. Разработана карта распространения лесных пожаров на территории Заиграевского района Республики Бурятия в 2010-2012 годах, выявлены и обоснованы

закономерности их географического распределения, которые могут быть использованы для повышения эффективности мероприятий по предупреждению лесных пожаров и подготовке к пожароопасному сезону.

Полученные данные могут быть полезны при экологическом мониторинге лесных экосистем, пострадавших от лесных пожаров, а также при прогнозировании развития негативных последствий лесных пожаров на пожарищах и сопредельных территориях.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в сборе статистических данных и фактического материала. Автором лично производился отбор и подготовка к анализам проб снега и поверхностных вод, а также обработка полученных данных. Проводился анализ и обобщение результатов, построение графиков и таблиц, подготовка и написание публикаций и диссертационной работы. Сформулированы научная новизна и защищаемые положения.

Достоверность результатов исследования достигается количеством проб и представительностью материала анализируемых сред, достаточным для проведения статистической обработки результатов анализа, применением количественных аналитических методов исследования сертифицированными методиками в аккредитованных лабораториях, использованием современного программного обеспечения, а также глубиной проработки полученного материала и литературы по теме исследований.

Апробация результатов исследования. По теме диссертации опубликовано 15 работ, отражающих ее основное содержание, из них 2 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на конференциях и конкурсах: региональной научно-практической конференции «Научно-прикладные разработки и инновационные идеи молодых ученых – развитию инновационной экономики России» (г. Улан-Удэ, 2014); конкурсе Science Slam в Бурятском Научном Центре (г. Улан-Удэ, 2014); VII Сибирской научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (г. Новосибирск, 2014); XXVI Всероссийской молодежной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (г. Иркутск, 2015); Международной научно-практической конференции «Земельные и водные ресурсы: мониторинг эколого-экономического состояния и модели управления» (г. Улан-Удэ, 2015); III Всероссийской Байкальской молодежной научной конференции по геологии и геофизике (г. Улан-Удэ, 2015); VIII Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные вопросы техносферной безопасности» (г. Улан-Удэ, 2015); Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы в области землеустройства, кадастров и природообустройства» (г. Улан-Удэ, 2016); The 8th International Siberian Early Career GeoScientists Conference (г. Новосибирск, 2016); I Международной научно-практической конференции «Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: климат и экология северных территорий Байкальского региона» (г. Иркутск, 2017);

IV Всероссийской Байкальской молодежной научной конференции по геологии и геофизике (г. Улан-Удэ, 2017).

Структура и объем работы. Диссертация включает введение, четыре главы, заключение и список литературы, изложенные на 141 странице печатного текста, содержащих 14 таблиц и 49 рисунков. Список литературы насчитывает 214 источников.

В **главе 1** приведен обзор современных результатов изучения условий возникновения и распространения лесных пожаров на территории Сибири и Дальнего Востока, а также исследований воздействия лесных пожаров на окружающую среду. Дано обоснование выбора района для проведения исследований, приведена краткая характеристика его природно-климатических особенностей, геолого-гидрогеологического строения. Приведены закономерности географического распределения очагов возгорания на территории района в 2010-2012 годах. **Глава 2** содержит информацию о выборе участков опробования, методиках пробоотбора, пробоподготовки, методах анализа проб и статистической обработки полученных данных. В **главе 3** рассматривается процесс загрязнения снежного покрова и атмосферных осадков под влиянием лесных пожаров, приводятся результаты исследования долгосрочного влияния последствий пожаров на состояние снежного покрова и поверхностных вод. Описывается зависимость гидрологического и гидрохимического режима водных объектов, в водосборах которых фиксируются лесные пожары, от напряженности лесопожарного сезона. **Глава 4** содержит описание процесса образования дымовой аэрозольной эмиссии при лесном пожаре и результаты анализа морфологии и химического состава нерастворимых дисперсных частиц в снежном покрове пирогенно поврежденных лесных территорий.

Работа выполнена в лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Федерального государственного бюджетного учреждения науки Геологического института СО РАН.

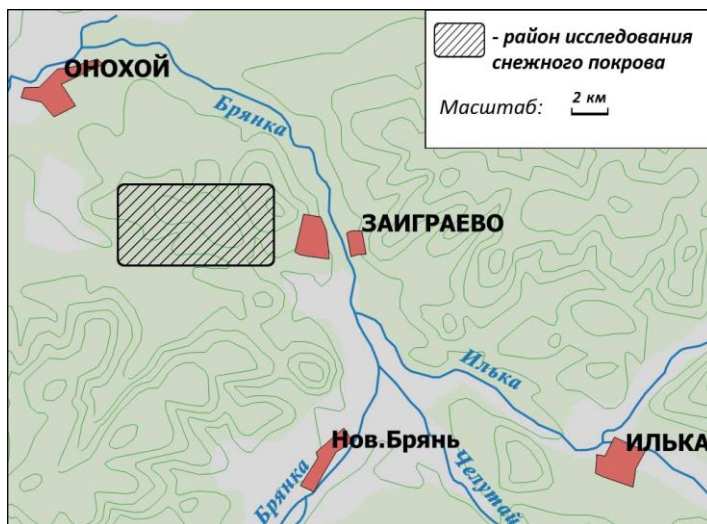
Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю, д.г.-м.н. Алексею Максимовичу Плюснину за совместное обсуждение и обобщение материалов, всестороннюю поддержку и помощь на всех этапах выполнения работы. Особую благодарность автор выражает д.г.-м.н. профессору Степану Львовичу Шварцеву за ценные советы и научные консультации. За содействие в проведении исследований и постоянное внимание к данной работе автор искренне благодарен к.г.н. М.К. Чернявскому, научному сотруднику ГИН СО РАН. За предоставленные данные и помощь в организации полевых работ автор выражает искреннюю благодарность сотрудникам отдела по делам ГО и ЧС Администрации МО «Зайгравский район» и отдельно В.Д. Сидинкину. За проведение аналитических работ, ценные советы и объективную критику автор признателен сотрудникам лаборатории гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН: к.г.-м.н. Д.И. Жамбаловой, Л.А. Онходоевой, к.б.н. С.Г. Дорошкевич, к.г.-м.н. О.К. Смирновой. Также автор искренне благодарен своей семье за моральную поддержку и безграничное терпение.

ОСНОВНЫЕ ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Первое защищаемое положение. На пирогенно поврежденных лесных территориях в снежном покрове в послепожарный период долгое время фиксируются процессы разложения пирогенно поврежденной растительности. Выявлено, что на протяжении не менее 4 лет в снежном покрове устанавливается более кислая среда, в формировании его минерализации возрастает роль гидрокарбонат-иона, фиксируются повышенные содержания некоторых тяжелых металлов (Zn, Cd, Mn, Fe) и редкоземельных элементов.

Для изучения динамики изменения химического состава снежного покрова в ближайшие годы после крупных лесных пожаров нами был выбран участок в Заиграевском районе республики Бурятия (рис. 1). В 2013, 2014 и 2015 годах нами проводился отбор образцов снега и измерение характеристик снежного покрова. Схема опробования включала в себя 15 точек, разделенных на 3 группы. Первая группа образцов отбиралась с участков, пострадавших в результате крупных лесных пожаров летом 2010 года, вторая группа – с участков, пройденных пожарами летом 2011 года, третья группа – с участков долгое время не подвергавшихся влиянию лесных пожаров.

Рисунок 1 – Расположение района исследования снежного покрова.



Ландшафт рассматриваемой территории относится к горно-таежному Южно-Сибирскому классу ландшафтов, горно-таежным и подгорно-подтаежным светлохвойным в сочетании с горно-степными группам фаций. Основные площади лесов принадлежат подтаежным соснякам (Удинский боровой район). Почвы района исследования слаборазвиты, сформированы на песчаных отложениях кривоярской свиты. Дерново-боровые почвы на песчаных буграх являются примером начального развития почвообразования. Органическое вещество почв характеризуется низкой степенью гумификации.

Анализируя талую воду снежного покрова, мы определяли ее макро- и микрокомпонентный состав. Результаты макроэлементного анализа содержали данные о концентрациях главных ионов: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , а также показатели pH, жесткости, общей минерализации и окисляемости воды по перманганату калия.

Минерализация снега в среднем составляет $31,1 \text{ мг/дм}^3$, максимальные значения $50,8 \text{ мг/дм}^3$, минимальные $17,9 \text{ мг/дм}^3$. На пожарах снежный

покров имеет слабо кислую реакцию, причем наиболее кислая реакция в снежном покрове устанавливается не на пожарищах, а на окружающих территориях, в том числе и на выбранном нами не горевшем участке, который располагался от пожарищ на расстоянии 1-2 км. Со временем pH снега на всех участках возрастает, но в течение всего периода наблюдений остается слабо кислой. Непосредственно на пожарищах в регулировании pH участвует зола, содержащая в своем составе щелочные и щелочноземельные элементы, которые нейтрализуют образующиеся кислоты. Наиболее интенсивная динамика возрастания pH характерна для участков леса не подвергавшихся возгораниям. Полученные результаты позволяют предполагать, что окислы углерода, и возможно азота, в газовой фазе в первые годы после пожара удаляются от пожарища на значительные расстояния и могут задавать кислые условия среды на окружающей территории. К примеру, содержание свободной двуокиси углерода в снеге в среднем достигает значений 5,58 мг/дм³, максимальные 7,0-7,5 мг/дм³. Их удаление от пожарища определяется направлением и силой ветра. Непосредственно на пожарищах в снеге обнаруживаются относительно высокие содержания растворенного органического вещества. Это указывает на изменение естественных схем биологического разложения органических остатков, что приводит к образованию в больших количествах низкомолекулярных летучих органических соединений.

Талые снеговые воды пожарищ и окружающих территорий по своему химическому составу гидрокарбонатные кальциево-натриевые и натриево-кальциевые. При общем повышении минерализации в первые годы после пожара, соотношения между концентрациями отдельных катионов к общему их количеству изменяются.

Постепенное удаление золы с пожарищ приводит к снижению относительного содержания ионов кальция и магния в течение четырех лет после пожара (рис. 2). Что касается концентрации анионов в отношении к их

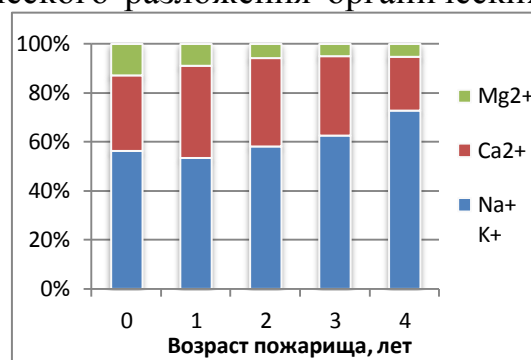


Рисунок 2 – Соотношение главных катионов в снеге в зависимости от «возраста пожарища» (0 – не горевшие участки)

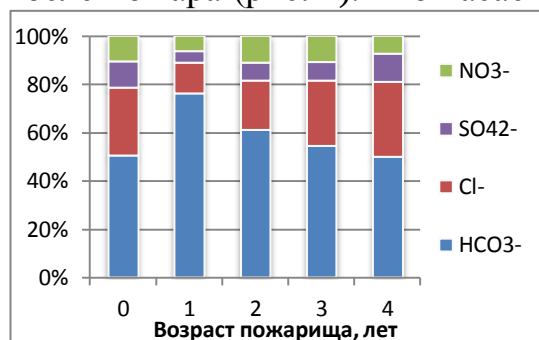


Рисунок 3 – Соотношение главных анионов в снеге в зависимости от «возраста пожарища» (0 – не горевшие участки)

общему количеству, то в первый год после пожара наблюдается увеличение гидрокарбонат-иона в составе талых снеговых вод, а затем постепенное возвращение к фоновому соотношению (рис. 3). Объясняется это влиянием интенсификации разложения органического вещества, включая остатки деревьев, травянистой растительности, почв с образованием окислов, гидроокислов углерода.

Проанализировав динамику состояния участков, не подвергавшихся возгораниям, можно сделать вывод о том, что и на значительном удалении от пожарищ наблюдаются изменения в химическом составе атмосферных осадков. Выявлено, что минерализация снежного покрова на них оставалась повышенной в течение всего периода наблюдений. Это, вероятно, связано с переносом ветром образующихся на пожарищах газов, аэрозолей, частиц пыли.

Результаты ИСП-МС анализа содержали данные о концентрациях 54 элементов химического состава, в их числе представлены практически все тяжелые металлы и редкоземельные элементы. Из тяжелых металлов в наиболее высокой концентрации обнаружены цинк, марганец, железо, кадмий, никель, ванадий. Фиксируются высокие содержания РЗЭ. Весь полученный массив данных обрабатывался с помощью программного пакета Statistica 10.

Таблица 1 – Ассоциации элементов химического состава снежного покрова, имеющие сходства в поведении под влиянием последствий лесных пожаров.

№	Переменные, определяющие выделение фактора	Вес фактора, %
1	Mg, Al, P, K, Sc, Ti, Mn, Fe, Ga, Y, Zr, Nb, La, Ce, Nd, Sm, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu, Hf, Ta, Th	40,3
2	Li, Ca, V, Co, Sr, Mo, Sn, Cs, Ba, W	16,4
3	– (Cr, Ni, Cu, Pb)	9,5

Применив многомерный статистический метод факторного анализа, мы выделили три основных фактора, которыми определяется динамика системы элементов (табл. 1).

В первую группу по результатам факторного анализа вошли 25 из 54 определяемых элементов. Под влияние этого фактора попали некоторые биофильные элементы (Mg, P, K,

Mn, Fe), которые способны интенсивно накапливаться в растениях [Перельман, 1975], алюминий и большая часть редкоземельных элементов (Sc, Y, La, Ce, Nd, Sm, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu), и некоторые другие. Поведение элементов первой группы характеризуется резким повышением концентрации в 1-й год после пожара и резким снижением на 2-й и последующие годы до значений, близких к фоновому уровню. Присутствие биофильных элементов позволяет нам предполагать, что эта ассоциация элементов поступает в снег в результате разложения органических остатков. Сразу после пожара в почвенном воздухе и над поверхностью пожарищ образуется поток аэрозолей содержащий в своем составе эти элементы. Аэрозоли увлекаются в атмосферу вместе с потоком углекислого газа. При выпадении атмосферных осадков они сорбируются частицами снега и растворяются в капиллярных водах. Так как одновременно в снег поступает углекислота, и вследствие этого в капиллярных водах устанавливается кислая среда, эти элементы могут в значительных количествах накапливаться в растворе.

Вторая группа представлена щелочными и щелочноземельными элементами (Li, Ca, Sr, Cs, Ba), представителями тяжелых металлов (по классификации Н.Ф. Реймерса [Реймерс, 1990, 1992]) – V, Co, Mo, Sn, W.

Поведение этих элементов также характеризуется повышением концентрации в 1-й после пожарный год, но в отличие от элементов первой группы, снижение значений происходит плавно в течение нескольких последующих лет. Эта группа элементов, по нашему мнению, поступает в снежный покров в результате взаимодействия снега с золой на пожарищах. Со временем зола смывается с поверхности пожарищ выпадающими атмосферными осадками, и количество этих элементов постепенно снижается.

Третий фактор обуславливает содержание в снежном покрове типичных тяжелых металлов: Cr, Ni, Cu, Pb. В отличие от элементов первой и второй групп, концентрация этих элементов сохраняется на уровне, близком к фоновому, первые два года после пожара, а затем наблюдается повышение на 3-й и 4-й годы. Эта ассоциация элементов, на наш взгляд образуется в результате взаимодействия снежного покрова с пылью. Так как атмосферные осадки на пожарищах все еще остаются кислыми из-за повышенного потока углекислого газа, они извлекают эти элементы из частиц неорганической пыли. Рост их содержания со временем связан с тем, что к 3,4 годам после пожарища зола с поверхности в значительной мере удалась, снег становится более кислым и эти элементы в большей мере переводятся в раствор. Представленная система из трех факторов описывает поведение всей совокупности элементов на 66,2%.

Второе защищаемое положение. *В пределах лесных пожарищ изменяется химический состав поверхностных вод. Увеличивается минерализация, повышается кислотность и жесткость воды, доминирующую роль в химическом составе приобретает гидрокарбонат-ион. Повышенный химический сток в весенний период после прохождения крупных пожаров обусловлен высокой минерализацией талых снеговых вод. Устойчивое ежегодное увеличение количества лесных пожаров в водосборе реки Брянка, начиная с 2013 года, обусловило возрастание содержания большинства определяемых макро- и микроэлементов в речной воде, как весной, так и осенью.*

Количество возгораний и общая площадь лесных пожаров на территории Заиграевского района в 2014 году существенно превосходят показатели 2013 года. В 2013 г. было зарегистрировано 93 пожара на общей площади 1201,62 га. В 2014 г. число возгораний составило 192, пострадало 8962,7 га леса. Такая значительная разница между двумя сезонами не могла не сказаться на состоянии рек.

Для выяснения характера изменения химического состава речных вод в условиях различных по напряженности лесопожарных сезонов, в выбранных нами точках наблюдения (рис. 4) начиная с 2013 года 2 раза в год (весной и осенью), отбирались пробы воды. В образцах определялись концентрации главных ионов: Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , а также показатели pH, жесткости и общей минерализации и окисляемости воды по перманганату калия (табл. 2).

Считается, что для рек данного типа существует обратная зависимость между содержанием главных ионов в воде и величиной стока. В нашем случае наблюдается увеличение общей минерализации весной 2015 года, несмотря на то, что был зафиксирован повышенный по сравнению с 2014 годом расход воды. Это говорит о том, что содержание главных ионов также подвержено влиянию других существенных факторов помимо режима питания реки, одним из этих факторов являются лесные пожары.

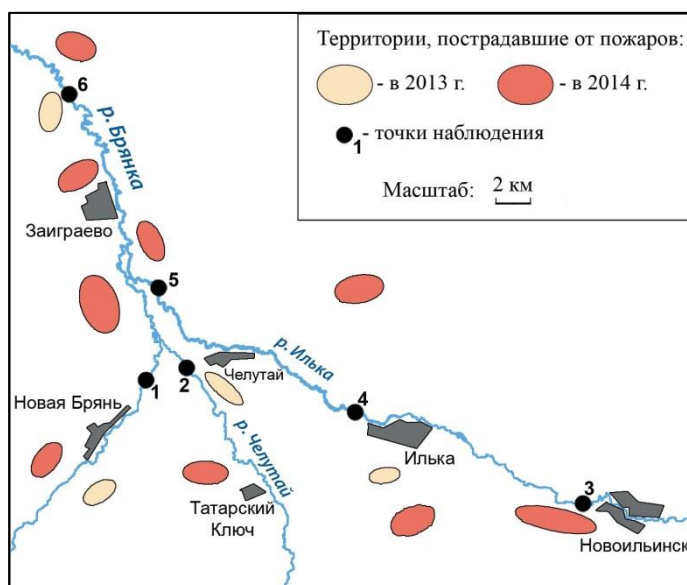


Рисунок 4 – Временные посты наблюдения в водосборном бассейне р. Брянка и территории, пострадавшие от пожаров в 2013-2014 гг.

Таблица 2 – Средний химический состав речной воды замыкающего створа исследуемой речной системы (точка наблюдения №6, рис. 4)

	Содержание главных ионов, мг/дм ³								TDS, мг/дм ³	pH
	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻		
Весна	14,53	29,56	10,34	149,5	1,9	8,22	7,45	0,78	239,54	8,01
Осень	20,71	32,93	10,13	174,9	0,96	10,53	8,75	0,83	276,15	8.11

Изменение условий среды на пожарных участках может оказывать влияние на состояние грунтовых и речных вод (рис. 5).

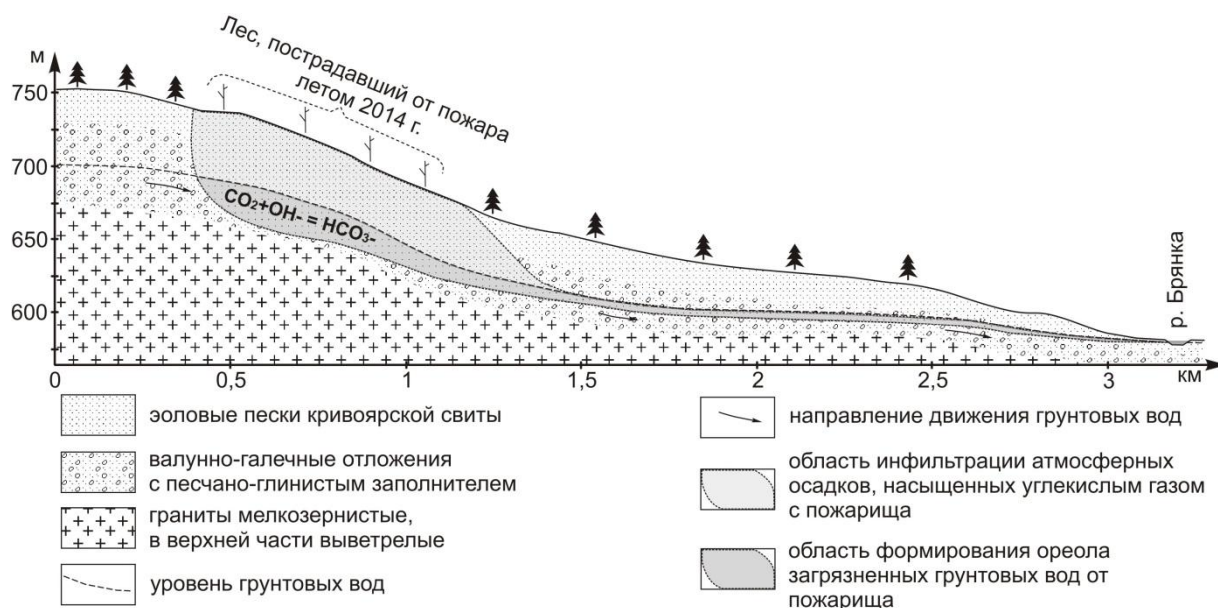


Рисунок 5 – Схема распространения загрязнения от пожарных участков в почвы и подземные воды

Подземные воды района имеют слабощелочную реакцию. Это связано с выветриванием широко распространенных на данной территории алюмосиликатов, а также слабой развитостью почвенного покрова и низким содержанием в нем органических кислот [Шварцев, 1998]. Вода в реках во всех точках наблюдений имеет слабощелочную реакцию, так как, в основном, питание происходит за счет подземных вод. В результате воздействия пожаров в водосборах рек в атмосферных осадках и в почвах устанавливается кислая среда, за счет интенсивного разложения пирогенно поврежденного органического вещества в водах возрастает содержание двуокси углерода [Украинцев, Плюснин, 2015; Гынинова и др., 2016]. Поэтому на пожарищах происходит частичная нейтрализация щелочности, образующейся при выветривании алюмосиликатов, воды становятся близкими к нейтральным.

Более напряженная лесопожарная обстановка в районе исследования летом 2014 года привела к возникновению обширных пирогенно поврежденных территорий, на которых в почвах установилась более кислая среда. Последствия этих изменений мы наблюдали, сравнивая образцы речной воды, отобранные весной 2015 года, с образцами, отобранными весной 2014 года, до прохождения крупных лесных пожаров. Показатель pH воды на всех пунктах наблюдения изменился в сторону нейтральной реакции (рис. 6а).

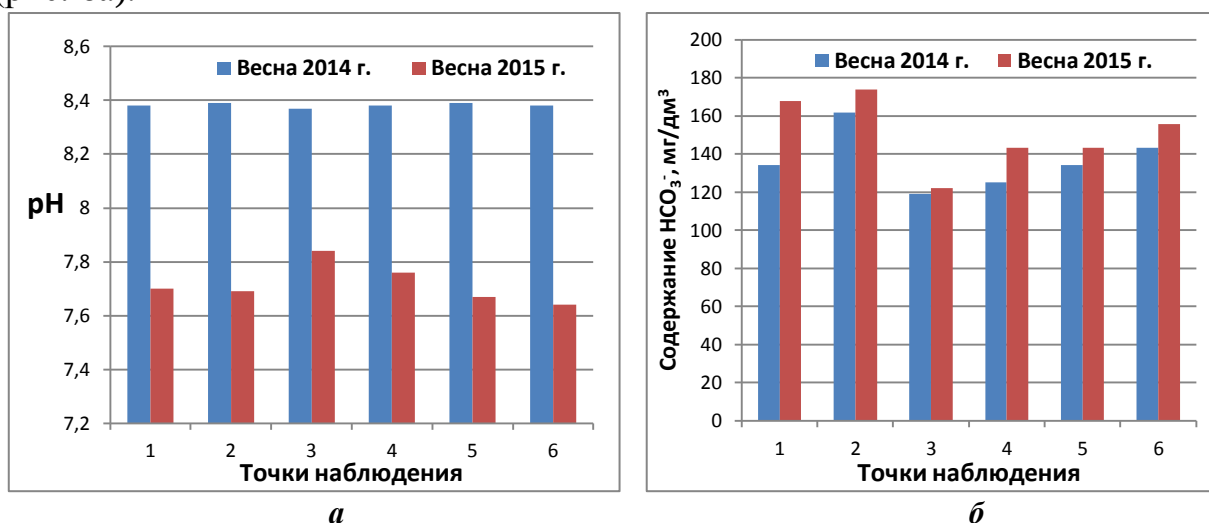


Рисунок 6 – Динамика показателя pH (а) и концентрации гидрокарбонат-иона (б) в воде рек по данным весенних наблюдений 2014 и 2015 гг.

Одновременно происходит повышение концентрации гидрокарбонат-иона (рис. 6б) в водах в результате реакции нейтрализации щелочности [Шварцев, 1998]:



что является следствием поступления в снежный покров, а затем и в талые воды, значительного количества продуктов разложения пирогенно поврежденной растительности.

Заметное повышение минерализации воды в реках во всех точках наблюдения весной 2015 года по сравнению с весной 2014 года (рис. 7) связано, по всей видимости, с различным поступлением загрязняющих веществ в снежный покров в предшествующие зимние периоды. Исследования снежного покрова на пирогенно поврежденных лесных территориях показали, что в первую зиму после прохождения крупных пожаров минерализация снежного покрова повышается, что приводит к увеличению химического выноса с пострадавшей территории [Иванов, Кашин, 1989; Украинцев, Плюснин, 2015]. Поступление различных веществ на дневную поверхность с атмосферными осадками в зимний и летний период имеет существенные отличия. Летом загрязняющие вещества, приносимые на поверхность дождевыми осадками, за короткое время смываются водными потоками. Зимой снежный покров в течение длительного периода (5-6 месяцев) накапливает большое количество загрязняющих веществ, а затем концентрированно сбрасывает их в момент таяния. Более напряженная лесопожарная обстановка в районе исследования летом 2014 года обусловила повышенное содержание загрязняющих компонентов в снежном покрове зимой 2014-2015 гг по сравнению с зимой 2013-2014 гг, что привело к повышенному химическому выносу в реки весной 2015 года.

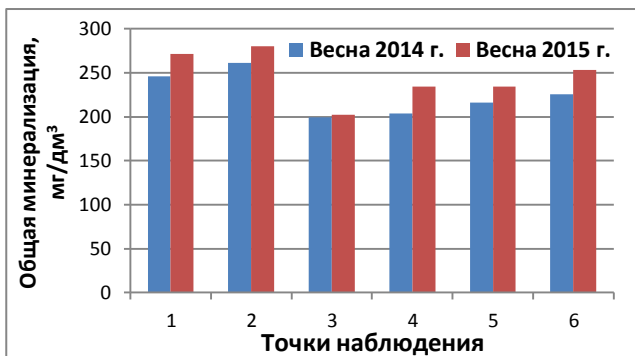


Рисунок 7 – Общая минерализация воды рек по данным весенних наблюдений 2014 и 2015 гг.

Характерной особенностью содержания микроэлементов в речной воде исследуемой системы является сезонная зависимость. Наблюдаются повышенные концентрации большинства микроэлементов в образцах, отобранных весной, по сравнению с образцами, отобранными в осенний период. По-видимому, это связано с высокой десорбирующей способностью талой воды, влияние которой на формирование потоков рассеяния некоторых элементов хорошо изучено [Плюснин и др., 1979].

Рассматривая химический состав речной воды с учетом различной напряженности лесопожарных периодов, можно отметить, что содержание микроэлементов в воде растет с увеличением пирогенной поврежденности водосборов. Наблюдаемое последние три года устойчивое увеличение числа пожаров приводит к повышению химического выноса как весной, с талыми водами, так и осенью.

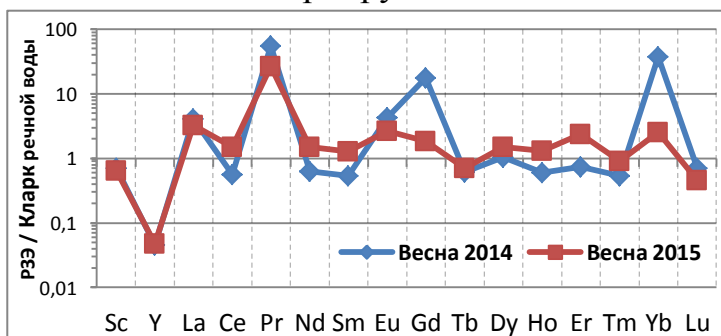


Рисунок 8 – Содержания РЗЭ в весенних образцах речной воды замыкающего створа исследуемой речной системы (точка наблюдения №6, рис. 4)

В образцах, отобранных весной 2015 года, по сравнению с весенними пробами 2014 года, повысилось содержание 31 из 55 определяемых элементов. В их числе ряд биофильных микроэлементов, таких как K, V, Mn, Fe, Co, Mo, некоторые тяжелые металлы: Cd, Sn, Sb, Tl, Pb, Bi, Th, редкоземельные элементы (рис. 13).

Увеличение стока микроэлементов, так же как и главных макрокомпонентов, в весенний период после напряженного лесопожарного сезона связано с повышенной минерализацией снежного покрова.

При сравнении химического состава образцов воды, отобранных в осенние периоды, также наблюдается рост содержания большинства микроэлементов в последние годы. Из определяемых химических элементов 36 имели повышенную концентрацию в речной воде в 2015 году. В осенний период повышение содержания микроэлементов связано с вымыванием их с пирогенно поврежденных территорий дождевыми осадками.

Таким образом, устойчивое ежегодное увеличение количества лесных пожаров в водосборе реки Брянка, начиная с 2013 года, привело к повышению содержания большинства определяемых микроэлементов в речной воде, как весной, так и осенью.

Третье защищаемое положение. *Пожарища на протяжении нескольких лет поставляют в снежный покров экологически опасную тонкодисперсную пыль. Основная масса частиц имеет субмикронные или околосубмикронные (до 2 мкм) размеры. В составе тонкодисперсных частиц преобладает углерод. Частицы субмикронных и околосубмикронных фракций образуются преимущественно по конденсационно-коагуляционному механизму за счет сублимируемого во время пожара органического вещества. Наряду с органическим веществом присутствуют частицы минерально-почвенного происхождения, которые вовлекаются пожаром в интенсивную миграцию, они содержат Si, Al, Fe, Cu, Zn и другие элементы.*

Для изучения нерастворимых в воде частиц обследовались лесные участки, поврежденные крупными пожарами в 2010, 2011 и 2014 годах, а также участок в зоне атмосферного переноса частиц, который находился на удалении около 4 км от пожаров 2010 и 2011 годов, и около 10 км от пожара 2014 года. Согласно методике отбора проб, непосредственно соприкасающийся с почвой слой снега отбрасывался. Следовательно, полученные частицы накапливались в снегу в основном вследствие сухого осаждения атмосферных аэрозолей, которые образуются на пожарах в результате разрушения поврежденной растительности.

Увеличенные показатели общей массы нерастворимых дисперсных частиц в снеге, отобранном на пожарах, по сравнению с показателями зоны атмосферного переноса, позволяют предположить нахождение в снеге продуктов пирогенных повреждений древесины. Причем непосредственное воздействие пожаров является более существенным фактором, влияющим на общую массу частиц в снежном покрове, чем атмосферный перенос (табл. 3).

Таблица 3 – Масса нерастворимых дисперсных частиц в снежном покрове обследованных участков

Участок обследования	Зона атмосферного переноса	Пожарище 2010 года	Пожарище 2011 года	Пожарище 2014 года
Масса частиц на 1 м ² площади, г	0,48	0,92	0,56	1,88
Масса частиц в 1 м ³ снега, г	2,33	5	3,59	10,81

Снимки, полученные с помощью электронного микроскопа, позволили посчитать среднее количество частиц различных фракций. На рис. 9 представлено распределение количества частиц, усредненное на 0,1 мм² снимков. Для построения гистограммы был выбран размерный диапазон частиц до 4 мкм, так как число частиц большего размера пренебрежимо мало в данном масштабе (менее 100 шт). Как видно из представленной диаграммы максимальное количество частиц всех размеров фиксируется на пожарище

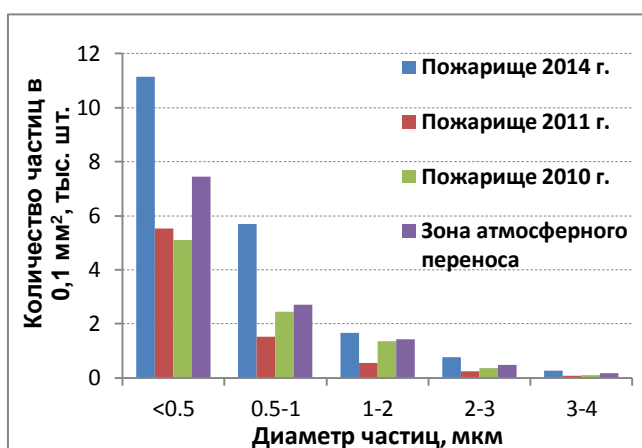


Рисунок 9 – Распределение дисперсных частиц по размерам на 0,1 мм² площади электронных снимков

которых превышает 1 год. В то же время, по данным таблицы 2, общая масса дисперсных частиц в снежном покрове на пожарищах больше, чем в зоне атмосферного переноса. Это можно объяснить тем, что в результате послепожарного разрушения обгоревшей растительности, пожарища поставляют в атмосферу частицы различных фракций, из которых наиболее крупные обладают меньшей миграционной способностью и оседают в районе пожарища. Данное утверждение подтверждается процентным соотношением размеров дисперсных частиц по всем обследованным участкам. Процент частиц размером более 5 мкм в зоне атмосферного переноса с пожарищ составляет 0,62%, в то время, как непосредственно на пожарищах этот показатель составляет около 1% и более. С учетом того, что частицы большего размера делают гораздо более значительный вклад в общую массу, незначительный перевес процентного соотношения в сторону крупных размеров обусловил повышенную общую массу нерастворимых дисперсных частиц в снежном покрове пожарищ.

годового возраста. Больше всего на всех пожарищах и в зоне атмосферного влияния обнаруживаются частицы самого малого размера - менее одного микрона, которые являются наиболее опасными для животных и людей.

В зоне атмосферного переноса наблюдается значительное повышение количества частиц мелкодисперсной фракции по сравнению с пожарищами, возраст

На всех участках более 80% от количества частиц представлено субмикронной и околосмикронной фракцией. Если предположить, что большая часть этих частиц является следствием влияния пирогенно поврежденной растительности, то эти частицы должны были образоваться при термическом разложении органического вещества либо при коагуляции паров органических веществ сублимированных в момент нагрева растительного материала. В своем составе эти частицы содержат углерод, либо в составе несгоревших в момент пожаров органических веществ, либо в элементном виде (сажа). Для выяснения химического состава полученных частиц в зависимости от их морфологии использовался метод энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX-элементного анализа).

В образцах, отобранных на пожарище в первую зиму после прохождения лесного пожара, в большом объеме представлены различного вида углеродистые частицы. Также присутствуют минерально-почвенные частицы, содержащие в себе оксиды кремния и железа, а также алюминий и медь. Область под номером 1 на рис. 10, согласно данным анализа, содержит в основном оксиды железа и меди. Эта крупинка, по всей видимости, стала ядром коагуляции для окружающих ее конденсированных углеродистых частиц. Области 2, 4 и 5 практически полностью представлены углеродом, а область 3 характеризуется спектрами углерода и кремния.

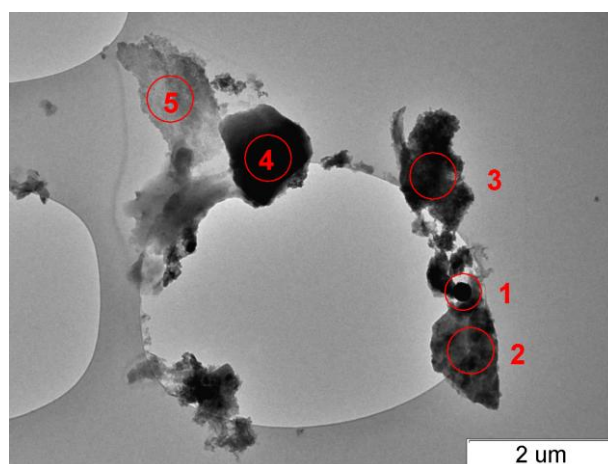


Рисунок 10 – Частицы, характерные для снежного покрова пожарища в первую послепожарную зиму. Примечание: красными кругами выделены области зондирования EDX-элементного анализа.

Углеродистые частицы в снежном покрове пожарища в первый послепожарный год представлены различными размерами – от субмикронных конденсированных фракций до относительно крупных крупинок пирогенно поврежденного растительного материала.

Количество частиц, содержащих в себе углерод и его соединения в снежном покрове пожарища 2014 года выше, чем в снежном покрове пожарищ 2010 и 2011 годов. Это вполне согласуется с данными о химическом составе снежного покрова в первый послепожарный год. В этот период процессы разрушения поврежденной огнем растительности протекают наиболее активно, поставляя в атмосферу дисперсные частицы различных размерных фракций.

В образцах, взятых с лесных пожарищ по прошествии более одного года, обнаружено значительное количество крупных частиц, содержащих углерод (рис. 11).

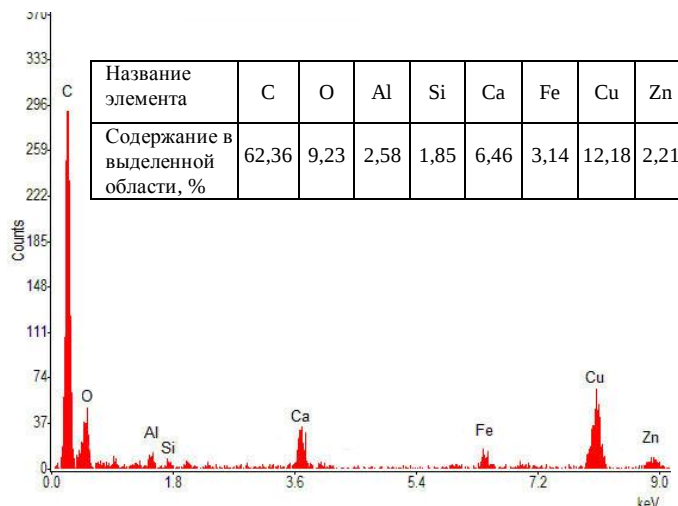
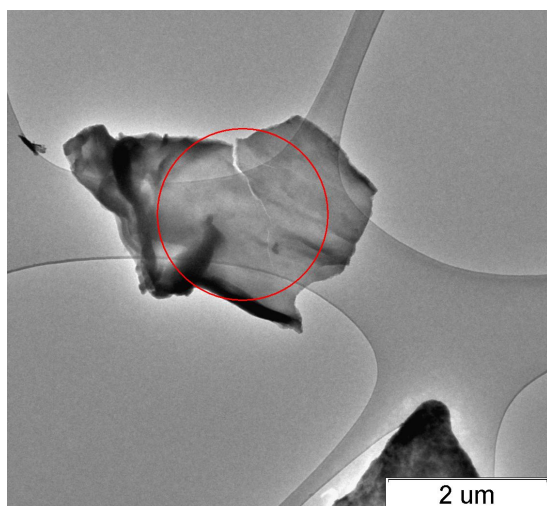


Рисунок 11 – Частица, характерная для снежного покрова лесных пожаров, и ее EDX-спектр

Также представлены частицы минерального происхождения (рис. 12, области 1 и 2) и субмикронные углеродистые частицы явно коагуляционного происхождения (рис. 12, область 3).

Результаты спектроскопии частиц зоны атмосферного переноса показали, что частицы околомикронного размера представлены в основном углеродом и его соединениями, судя по структуре, сформированными по конденсационно-коагуляционному механизму (рис. 13). Крупных частиц содержащих углерод в пробах с этого участка не

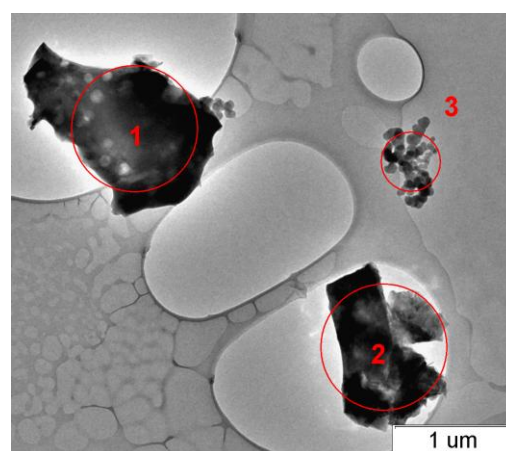


Рисунок 12 – Частицы, характерные для снежного покрова лесных пожаров

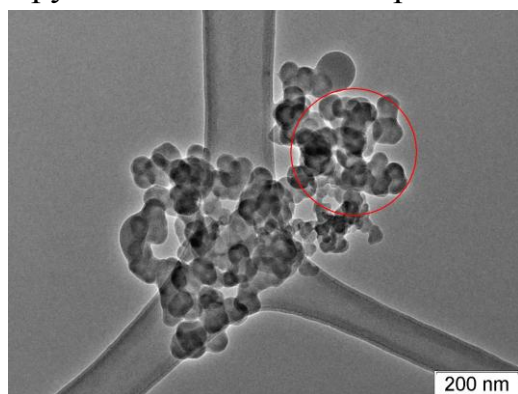


Рисунок 13 – Частица субмикронного размера, характерная для зоны атмосферного переноса с лесных пожаров

обнаружено, относительно крупные фракции (от 2 мкм и более) нерастворимых частиц в снежном покрове зоны атмосферного переноса представлены минеральными частицами. Это значит, что крупные углеродистые частицы, образующиеся в зоне пожаров в результате механического разрушения горячей биомассы, не так активно вовлекаются в атмосферную миграцию, как суб- и околомикронные конденсированные частицы сублимированного во время горения органического материала.

После обобщения данных EDX-элементного анализа, нами было вычислено усредненное процентное соотношение основных определяемых элементов, составляющих

нерастворимые частицы в снежном покрове каждого из исследуемых участков (табл. 4).

Таблица 4 – Средний состав твердых частиц в снежном покрове исследуемых участков, %.

Участок обследования, кол-во обработанных анализов	C	O	Al	Si	Ca	Fe	Cu	Zn
Пожарище 2014 (зима после пожара), 12	33,10	10,11	12,22	19,39	3,01	5,28	14,36	2,53
Пожарище 2011 (3 года после пожара), 16	12,20	13,03	16,42	26,71	2,17	6,29	19,44	3,73
Пожарище 2010 (4 года после пожара), 11	15,48	12,91	21,44	36,91	1,63	2,87	7,31	1,43
Зона атмосферного переноса, 23	29,18	8,86	12,84	22,80	2,58	5,52	15,41	2,81

Приведенные соотношения показывают, что в зоне пожарища в первый послепожарный год и в зоне атмосферного переноса с пожарищ аккумулируется значительное количество частиц, содержащих в своем составе углерод. Высокий процент углерода свидетельствует о наличии большого количества пирогенно поврежденной органики. В зоне атмосферного переноса общая масса нерастворимых дисперсных частиц меньше, чем на пожарищах. В образцах, взятых с этого участка, высокий процент углерода достигается за счет привноса с пожарищ наиболее мелких околomикронных фракций сублимированного во время горения органического материала. Кислород в нерастворимых дисперсных частицах на пожарищах и в зоне атмосферного переноса может присутствовать в составе как органических, так и неорганических соединений.

Наибольшее процентное содержание кальция в частицах в снеге, взятом в первую зиму после пожара, связано с присутствием на пожарище большого количества золы. В последующие годы зола с пожарищ постепенно удаляется и процент частиц, содержащих кальций, снижается. По мере того, как зола удаляется с пожарища, среда становится более кислой, что способствует переходу в раствор железа, меди и цинка. Высокое содержание этих элементов в талом растворе приводит к тому, что эти элементы сорбируются на частицах на третий год после пожара. На 4-й год после пожара процент частиц, содержащих железо, медь и цинк, заметно снижается.

Повышенный процент содержания алюминия и кремния в составе частиц, наблюдаемых на участках пожарищ возрастом три года и более, свидетельствует о снижении роли разложения пирогенно поврежденной растительности. Нерастворимые дисперсные частицы в снежном покрове этих участков в большей степени представлены минеральными образованиями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании данных о географическом распределении пожаров и природно-климатических условиях в Бурятии в 2010-2012 годах были выявлены определенные закономерности возникновения очагов возгорания и их концентрации. Установлено, что начало пожароопасного сезона и его характер в весенние месяцы в значительной степени определяются метеорологическими условиями предшествующего зимнего периода, в особенности количеством осадков. Территориально участки лесного массива с наибольшей плотностью возгораний концентрируются вблизи населенных пунктов и объектов хозяйственной деятельности.

На протяжении нескольких лет после прохождения огня на образовавшихся пожарищах в Заиграевском районе наблюдается повышенная минерализация и трансформация химического состава снежного покрова: возрастает роль гидрокарбонат-иона, значительно повышается концентрация некоторых тяжелых металлов – цинка, кадмия, марганца, железа. В снежном покрове на пожарищах фиксируются высокие содержания редких земель, которые накапливаются в снегу в результате послепожарного разложения несгоревшего органического вещества. Анализ данных методами математической статистики позволил раскрыть поведение различных групп элементов под влиянием последствий пожаров. Наиболее существенное воздействие на химический состав снежного покрова наблюдается в первый послепожарный год.

Наблюдение за состоянием поверхностных вод позволило установить влияние последствий лесных пожаров на гидрологический режим и на химический вынос в реки. Напряженные в лесопожарном отношении сезоны создают условия для повышения химического выноса с пострадавших территорий весной последующего года. Повышенная минерализация снежного покрова, в результате напряженного лесопожарного сезона 2014 года, привела к повышению минерализации воды в реках за счет талых стоков весной 2015 г. на всех пунктах наблюдения. В воде наблюдалось повышение кислотности и увеличение содержания гидрокарбонатов, что свидетельствует о влиянии пирогенно поврежденного органического вещества. Согласно данным микроэлементного анализа речных вод, наблюдается увеличение концентраций большинства определяемых элементов весной и осенью 2015 года по сравнению с показателями предыдущих лет. Это может являться следствием устойчивого ежегодного роста числа пожаров в районе начиная с 2013 года.

В составе нерастворимых частиц снежного покрова лесных пожарищ и зоны атмосферного переноса с них, обнаружено большое количество частиц субмикронных и околомикронных размеров, по своему химическому составу представляющих продукты термического разложения биомассы. В основном они образованы по конденсационно-коагуляционному механизму за счет сублимируемого во время пожара органического вещества. Причем, углеродистые частицы более крупных фракций имеют свойство

накапливаться непосредственно в зоне пожарищ. В свою очередь, тонкодисперсные частицы углеродного состава вовлечены в активную атмосферную миграцию из зоны пожарищ. Наряду с органическим веществом присутствуют частицы минерально-почвенного происхождения, которые вовлекаются пожаром в интенсивную миграцию, они содержат Si, Al, Fe, Cu, Zn и другие элементы.

Большое количество тонкодисперсных частиц говорит о высокой экологической опасности, которую пожарища представляют в течение многих лет.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Работы, опубликованные в изданиях, входящих в перечень ВАК

1. **Украинцев, А.В.** Лесные пожары в Заиграевском районе республики Бурятия в 2010-2012 годах: причины возгорания и ущерб / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин // География и природные ресурсы. – 2015. – №2. – С. 60-65.

2. **Украинцев, А.В.** Использование химического состава снега для оценки долгосрочного влияния лесных пожаров на экологическое состояние территорий / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин, Д.И. Жамбалова // Вестник ВГУ. Серия: География. Геоэкология. – 2016. – №2. – С. 56-62.

Прочие издания

3. **Украинцев, А.В.** Долгосрочное влияние лесных пожаров на состояние природных вод в Заиграевском районе республики Бурятия / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин // Материалы VII Сибирской науч.-практ. конф. мол. ученых по наукам о Земле. – Новосибирск, 2014. – С. 270-271.

4. **Украинцев, А.В.** География и причины возникновения лесных пожаров в Заиграевском районе республики Бурятия в 2010-2012 гг. / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. / БГИТА. – Брянск, 2014. – Вып. 39. – С. 36-39.

5. **Украинцев, А.В.** Изменение химического состава снежного покрова под влиянием крупных лесных пожаров / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин // Комплексные проблемы техносферной безопасности: материалы междунар. науч.-практ. конф. / ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет». – Воронеж, 2014. – Ч.V. – С. 187-190.

6. **Украинцев, А.В.** Химический состав снежного покрова как индикатор влияния последствий лесных пожаров / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин // Строение литосферы и геодинамика: материалы XXVI Всерос. мол. конф. / ИЗК СО РАН. – Иркутск, 2015. – С. 196-198.

7. **Украинцев, А.В.** Территория Заиграевского района республики Бурятия как объект исследования изменений гидрохимического режима поверхностного стока под влиянием лесных пожаров / А.В. Украинцев,

А.М. Плюснин // Геология в развивающемся мире: сб. науч. тр. (по матер. VIII науч.-практ. конф. с междунар. участием). – Пермь, 2015. – Т.2. – С. 332-334.

8. **Украинцев, А.В.** Влияние лесных пожаров на состав талых снеговых вод в Заиграевском районе республики Бурятия / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин // Земельные и водные ресурсы: мониторинг эколого-экономического состояния и модели управления: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Улан-Удэ: изд-во БГСХА, 2015. – С. 255-257.

9. **Украинцев, А.В.** Исследование снежного покрова территорий, пострадавших от крупных лесных пожаров / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: материалы III всерос. мол. науч. конф. – Улан-Удэ, 2015. – С. 169-172.

10. **Украинцев, А.В.** Гидрохимический анализ талой снеговой воды пирогенно поврежденных лесных территорий / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: материалы Второй Всерос. конф. с междунар. участием. – Владивосток: изд-во Дальнаука, 2015. – С. 438-441.

11. **Украинцев, А.В.** Влияние лесных пожаров на гидрохимический режим реки Брянка и ее притоков / А.В. Украинцев, А.М. Плюснин // Актуальные вопросы техносферной безопасности: материалы VIII Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2015. – С. 108-112.

12. **Украинцев, А.В.** Нерастворимые дисперсные частицы в снежном покрове в районах лесных пожаров // Снежный покров, атмосферные осадки, аэрозоли: климат и экология северных территорий Байкальского региона: материалы I-й междунар. науч.-практ. конф. – Иркутск: Изд-во ИРНТУ, 2017. – С. 139-142.

13. **Украинцев, А.В.** Аэрозольное загрязнение снежного покрова в районах лесных пожаров // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: материалы IV всерос. мол. науч. конф. – Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2017. – С. 125-126.

14. **Ukrainets A.V., Plyusnin A.M.** The Influence of Wildfires on the Hydrochemical Regime of Rivers in Zaigraevskiy District of the Republic of Buryatia // Academic science – problems and achievements VIII: Proceedings of the Conference. North Charleston, 15-16.02.2016, Vol.1. – North Charleston, SC, USA: CreateSpace, 2016. – P. 52-54.

15. **Ukrainets A.V.** Hydrological and Hydrochemical Impacts of Wildfires in the Bryanka River Basin // The 8th International Siberian Early Career GeoScientists Conference: Proceedings of the Conference (13-24 June 2016, Novosibirsk, Russia). – Novosibirsk, 2016. – P. 363-364.