

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
НАУКИ ГЕОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

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

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Научный руководитель:
д. г.-м. н. А.М. Плюснин

Улан-Удэ, 2017

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
ГЛАВА 1. ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ВЫБОР РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ.....	11
1.1. Условия возникновения и распространения пожаров.....	11
1.2. Воздействие пожаров на природные условия	16
1.3. Обоснование выбора модельного района для проведения исследований и его характеристика	23
1.4. Распространение и причины возгорания лесных массивов на исследуемом участке.....	37
ГЛАВА 2. ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	45
ГЛАВА 3. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РАЙОНОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРИЩ.....	58
3.1. Загрязнение снежного покрова в районе лесных пожарищ.....	58
3.2. Влияние лесных пожарищ на состояние поверхностных вод.....	72
3.3. Поведение редкоземельных элементов в снежном покрове и поверхностных водах в районах лесных пожарищ.....	86
ГЛАВА 4. АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРИЩ...	93
4.1. Поступление аэрозолей в окружающую среду при пожарах.....	93
4.2. Нерастворимые дисперсные частицы в снежном покрове пирогенно поврежденных лесных территорий.....	100
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	115
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	117

ВВЕДЕНИЕ

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.

Международным сообществом признано, что только сохранение лесов может обеспечить поддержание биологического разнообразия на планете. Леса вмещают в себя около 80 % общего количества углерода, накопленного в наземной растительности, и являются значительным источником возобновляемой энергии, особенно для развивающихся стран. Сохранение всех видов лесов признается критическим фактором экономического и социального развития, защиты окружающей среды и системы поддержания жизни на планете в целом [Воробьев и др., 2004]. В этой связи охрана лесов от пожаров и борьба с их негативными последствиями являются необходимыми условиями для устойчивого развития любого государства.

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].

Суммарная площадь лесных территорий, пострадавших от лесных пожаров, постоянно увеличивается. Скорость восстановления сгоревших территорий 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 пожарных участках 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 пожаров.

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.

Положения диссертации, выносимые на защиту:

1. 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.

2. В пределах лесных пожарищ изменяются химический состав поверхностных вод. Увеличивается минерализация, повышается кислотность и жесткость воды, доминирующую роль приобретает гидрокарбонат-ион. Повышенный химический вынос 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.

3. Пожарища на протяжении нескольких лет поставляют в снежный покров экологически опасную тонкодисперсную пыль. Основная масса частиц имеет субмикронные или околмикронные (до 2 мкм) размеры. В составе тонкодисперсных частиц преобладает углерод. Частицы субмикронных и околмикронных 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.

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, РЗЭ) 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). Эта группа элементов поступает в снежный покров в результате взаимодействия снега с золой на пожарищах. Третий фактор обуславливает содержание в снежном покрове типичных тяжелых металлов (Cr, Ni, Cu, Pb). Рост их содержания со временем связан с тем, что к 3,4 годам после пожарища зола с поверхности в значительной мере удаляется, снег становится более кислым и эти элементы начинают в большей мере переводиться из твердой фазы в раствор.

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 несгоревшего 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. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались на конференциях и конкурсах: Ежегодной 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», посвященной 10-летию кафедры ПЭЗЧС ВСГУТУ (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).

Публикации.

По теме диссертации опубликовано 15 работ, отражающих ее основное содержание, из них 2 в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

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.

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 «Заиграевский 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.

ГЛАВА 1

ВЛИЯНИЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА СОСТОЯНИЕ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ. ВЫБОР РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Лесные пожары в современном мире являются одной из основных глобальных экологических проблем. Наиболее остро эта проблема стоит в странах с континентальным климатом, где в составе насаждений преобладают хвойные породы. Это территории лесов Северной Америки, Европы и Северной Азии. В связи с усилением антропогенного воздействия на природу, число лесных пожаров на Земле за последние 500 лет возросло не менее чем в десять раз [Софронов, Вакуров, 1981]. Ежегодно на нашей планете возникает до 400 тысяч лесных пожаров, повреждающих около 0,5% общей площади лесов и выбрасывающих в атмосферу миллионы тонн продуктов сгорания [Воробьев и др., 2004].

1.1. Условия возникновения и распространения пожаров

В России, в связи с особенностями природных ландшафтов, особую актуальность исследования лесных пожаров и их последствий имеют на территории Сибири и Дальнего Востока. Пожары здесь активно изучаются, созданы основы учения о возникновении и развитии пожаров в лесах таежной зоны. Проведены комплексные фундаментальные исследования природы пожаров в лесах Сибири [Цветков, 2014; Абаимов и др., 2001, 2004; Валендик, 1968, 1995, 1996; Валендик и др., 1979, 2014; Волокитина, 2014; Волокитина и др., 2001, 2002; Иванов и др. 2010, 2014; Иванова, 2012; Иванова и др., 2007, 2010; Краснощеков и др., 2010, 2013; Сухинин, 2001; иФурьев, 1996; Цветков, 1996, 2007]. Разработана классификация лесных пожаров и горючих материалов по их роли в возникновении и распространении горения. Выполнено лесопожарное районирование государственного лесного фонда страны. Определены условия развития низовых пожаров в верховые, установлен механизм продвижения пламени по

пологу насаждения. Разработано представление о пирогенных свойствах древесных пород как комплексе морфологических и физиолого-биохимических адаптаций, выработанных под воздействием пожаров в процессе эволюции. Раскрыт механизм возникновения и развития пожаров от гроз в различных лесорастительных условиях.

Доказана закономерная последовательность достижения лесами состояния «пожарной зрелости», то есть состояния, при котором они могут возгораться [Курбатский, 1963, 1964]. Проведено лесопожарное районирование территории Средней Сибири и Забайкалья, созданы местные шкалы пожарной опасности лесов для Красноярского края, Тюменской области, Тувы, Иркутской области, Забайкалья, определены условия развития низовых пожаров в верховые, установлены механизмы продвижения пламени по пологу насаждения. Разработана классификация лесных пожаров и горючих материалов по их роли в возникновении и распространении горения [Лесные пожары..., 1963].

Огромные территории в Сибири занимают горные леса. Бороться с лесными пожарами в горах особенно трудно, и они охватывают большие площади. Установлена зависимость очередности возникновения пожаров от экспозиции склона, его крутизны и времени года. Выявлено, что пожар, достигший по склону водораздела, в дальнейшем чаще всего распространяется по хребту и спускается по южным и западным склонам, минуя лощины, распадки и долины ручьев. Северные склоны горят, как правило, только летом. Это послужило основой для дифференциации горных лесов юга Средней Сибири по их пожароопасности [Софронов, 1967; Софронова и др., 2007]. Установлено, что оценивать горимость горных лесов необходимо по высотным поясам, при этом показатели горимости по отдельным высотно-поясным комплексам отличаются от средних в 5-10 раз и более [Смагин и др., 1980; Поликарпов и др., 1986]. Проведена оценка пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья [Софронова и др., 2007]. На примере северного склона хребта

Хамар-Дабан разработан метод экстраполяции метеорологических данных из нижней части лесного пояса в верхний. Это позволило давать более корректную ежедневную оценку пожарной опасности по условиям погоды, усовершенствовать методику составления местных шкал пожарной опасности [Софронов и др., 2008].

Проведено комплексное изучение природы лесных пожаров и их последствий в горных лесах бассейна оз. Байкал и Восточного Забайкалья [Евдокименко, 1977, 1991, 2000, 2008, 2011, 2013, 2014]. Установлено, что в условиях сложного горного рельефа и специфического климата пожары трансформируют лесные массивы по многообразным вариантам, которые трудно прогнозировать, а от стабильности лесных массивов зависит экологическое состояние всех ландшафтов в данном регионе. Дифференциация байкальских лесов по степени природной пожароопасности обусловлена высотной поясностью, с которой связано пространственное распределение типов растительности и закономерные изменения климатических параметров. Светлохвойные комплексы нижних высотных поясов, произрастающие в наиболее засушливых условиях, отличаются максимальной длительностью пожароопасного состояния. Темнохвойные комплексы лучше обеспечены атмосферными осадками, поэтому процесс пожарного созревания в них протекает медленно.

Селенгинское среднегорье – самая проблемная территория, на которой при известной пожароопасности произрастающих там сосняков и лиственничников отмечается наибольшее количество источников огня (рис. 1.1). В северной части региона регулярно горят подтаежные леса, тяготеющие к долинам рек Верхняя Ангара и Баргузин. На территории центральной экологической зоны озера Байкал лидируют по горимости леса районов юго-западного и восточного побережий, подверженные рекреационной нагрузке.

По мнению М.Д. Евдокименко, среди факторов, инициирующих фактическое возникновение загораний и пожаров, преобладают различные

категории антропогенных источников огня. Из природных факторов лесопожарная статистика отмечает исключительно грозы. Состав и значимость антропогенных источников меняются во времени в зависимости от характера и масштабов хозяйственного освоения конкретных лесных массивов [Евдокименко, 2011].

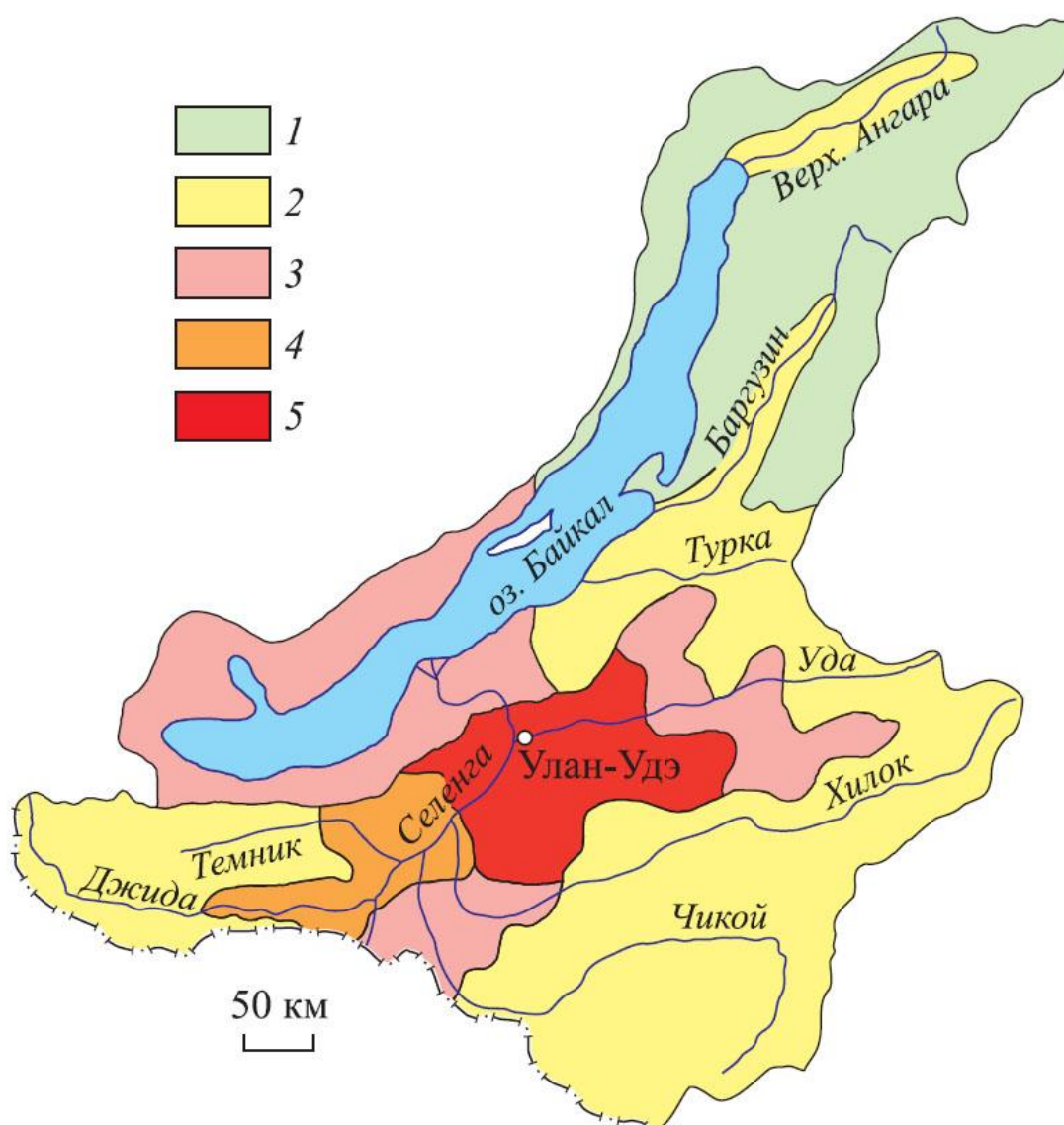


Рисунок 1.1. Карта-схема фактической горимости байкальских лесов. Горимость: 1 – малая, 2 – ниже средней, 3 – средняя, 4 – выше средней, 5 – высокая [Евдокименко, 2011].

Пожароопасный сезон (по фактической горимости) наступает по мере таяния снега. Среднегодовая продолжительность пожароопасного периода достигает 190 дней и длится с середины апреля (в южной части) до октября. Лесорастительные и погодно-климатические условия создают обстановку высокой горимости лесов в весенне-летний период. В этот период во многих районах наблюдаются сильные, зачастую штормовые ветра и создается угроза возникновения катастрофических лесных пожаров.

По статистическим данным за период с 2003 по 2012 годы происходят преимущественно низовые пожары, они составляют 87% общей площади пожаров, в то время как верховые – 13%. Основные причины возникновения пожаров: от неосторожного обращения с огнем населения – 81,3%, от гроз – 14,1%, от сельскохозяйственных палов – 4,6%. Большая часть фиксируемых возгораний является следствием антропогенного влияния на лесные территории.

Лесные пожары различных сроков давности являются главным фактором, определяющим повреждение и гибель лесов. Общая площадь поврежденных насаждений по этой причине в 2012 г. составила 48786,72 га (77,62% от общей площади поврежденных насаждений). Площадь погибших от лесных пожаров насаждений составляет 9234,83 га (98,12% от общей площади погибших насаждений) [Лесной план Республики Бурятия, 2013].

Показатели количества и площади лесных пожаров сильно дифференцируются по лесничествам. Наиболее неблагополучными в лесопожарном отношении являются центральные районы республики Бурятия: Заиграевский, Тарбагатайский, Прибайкальский, Иволгинский. Причем, по всем статистическим параметрам значительный перевес наблюдается в Заиграевском лесничестве, расположенном на территории Заиграевского района. Среднегодовая площадь пожаров в Заиграевском лесничестве за рассматриваемый период превышает подобный показатель многих лесничеств на математический порядок. Неблагоприятная лесопожарная статистика стала одной из причин выбора нами этого

лесничества в качестве модельного района для проведения мониторинговых исследований экологических последствий лесных пожаров.

1.2. Воздействие пожаров на природные условия

Наряду с изучением природы лесных пожаров, и методов борьбы с ними, постоянно расширяются исследования по влиянию лесных пожаров на окружающую среду. В разные годы над проблемами экологического ущерба от крупных лесных пожаров работали ведущие специалисты разных стран. В США ряд экспериментов по установлению влияния пожаров на эрозию почв и поверхностный сток проводились в штатах Колорадо, Арканзас, Северная и Южная Калифорния [DeBano, 2000; Benavides Solorio and MacDonald, 2005; Larsen et al., 2007]. Крупные исследования дымовой эмиссии лесных пожаров были сделаны канадскими учеными [Lavoue, 2007; Amiro et al., 2001]. В России проблемы экологических последствий лесных пожаров в различных аспектах широко изучаются сотрудниками научных центров Сибири и Дальнего Востока.

Взаимодействие крупных лесных пожаров и атмосферных процессов облако- и осадкообразования изучается специалистами Института вычислительной математики и математической геофизики СО РАН [Мальбахов и др., 2006], Института вычислительной математики СО РАН [Дубровская и др., 2007; Дубровская, Климова, 2007]. Установлено влияние погоды на лесные пожары: в жаркие и засушливые годы вероятность природных пожаров сильно возрастает. Обратное влияние пожаров на погоду и климат менее очевидно. Воздействие лесных пожаров на атмосферные процессы осуществляется за счет явного и скрытого тепла, выделяемых при горении лесных горючих материалов и при конденсации водяного пара. Эти процессы происходят непосредственно над зоной пожара. Существенное влияние на формирование облачности и осадков оказывает дымовой аэрозоль, который покрывает территорию в сотни раз большую, чем площадь

горения. Дымовые частицы являются ядрами конденсации водяного пара, коагуляции и кристаллизации водяных капель.

Анализ большого количества спутниковых снимков массовых лесных пожаров показал, что непосредственно над зоной пожаров облачность отсутствует. Это косвенно подтверждает, что крупнодисперсный аэрозоль (с радиусом частиц более 1 мкм.) подавляет процессы облако- и осадкообразования. Мощность облаков на обширных территориях уменьшается, в результате часть тропосферы охлаждается, и температура ее становится ниже, чем у окружающего облачного пространства, где воздействие аэрозоля отсутствовало. Холодные тяжелые массы воздуха опускаются, подавляя конвекцию в нижних слоях. Вследствие этого уменьшается интенсивность процессов осадкообразования, что приводит к дальнейшему охлаждению облачного слоя и усилению нисходящего потока. Этот процесс продолжается до тех пор, пока облачный слой над зоной задымления не исчезнет.

В условиях ясной погоды возникает перемешанный слой. Все тепло и дымовой аэрозоль, выделяемые при пожарах, не проникают выше этого слоя. Если этот процесс происходит на больших территориях, то возникает циркуляция, при которой холодный воздух опускается в верхней и нижней части тропосферы и растекается в перемешанном слое. Под действием силы Кориолиса возникает типичная антициклональная циркуляция, при которой ветер в этой области меняет свое направление, что подтверждает анализ снимков космического зондирования над зоной наиболее мощных массовых пожаров. Ледяные частицы, образовавшиеся в результате кристаллизации в большом количестве облаков, формируют перистые ледяные облака, которые располагаются с подветренной стороны от лесных пожаров. Похожий механизм реализуется при искусственных воздействиях на дождевые и градовые облака. Различие заключается в том, что роль фактора кристаллизации играет не крупнодисперсный аэрозоль, а специальный реагент.

Таким образом, активный вертикальный тепломассоперенос, генерируемый в зоне массовых лесных пожаров, может заметно повлиять на атмосферную циркуляцию зонального (синоптического) масштаба. При этом активную роль играют частицы дымового аэрозоля, выбрасываемого в зоне горения, которые способствуют кристаллизации облачной воды и блокируют процессы осадкообразования. Возникающие нисходящие токи на больших территориях подавляют конвективный обмен и могут привести к смене типа тропосферной циркуляции. В результате возникает механизм положительной обратной связи, приводящей к увеличению длительности массовых пожаров в условиях Сибирских регионов [Мальбахов и др., 2006; Дубровская и др., 2007; Дубровская, Климова, 2007].

Исследования в области экогеохимии и радиоэкологии лесных пожаров проведены сотрудниками Института геологии и минералогии СО РАН [Щербов, 2011; Щербов и др., 2006, 2008, 2012; Журкова, 2014]. Выяснено поведение тяжелых металлов, искусственных радионуклидов и некоторых других элементов при лесных пожарах различного типа. По характеру поведения при лесных пожарах все элементы делятся на две группы – мигрантов и инертных. Одним из факторов, обуславливающим миграционную способность элементов, является степень их биофильности. Чем больше элемент вовлечен в метаболические процессы, тем интенсивнее он «вытягивается» из окружающей среды. Еще одним существенным показателем подвижности элемента является его температура кипения. Рудные элементы, имеющие температуру кипения выше 2500 °С, как правило, остаются на месте пожарищ. В то же время, при горении лесных массивов могут активно вовлекаться в воздушную миграцию искусственные радионуклиды (^{137}Cs , ^{90}Sr , в меньшей степени $^{239,240}\text{Pu}$) и тяжелые металлы повышенной опасности, такие как Cd , Hg и Pb . Причем, для активно мигрирующих элементов воздушная эмиссия может достигать 50% и более от исходного их содержания в наземных лесных горючих материалах. Количественные показатели миграции зависят от комплекса факторов, куда

входят тип пожара, состояние лесных горючих материалов, погодные условия, характер распределения элементов в компонентах лесной экосистемы.

В 1976-1984 годах на территории Хабаровского края в районах Эворон-Чугчагирской и Средне-Амурской низменностей группой ученых под руководством А.В. Иванова проводились исследования, целью которых было установление влияния лесных пожаров на химический состав атмосферных осадков, снежного покрова и талых снеговых вод. Отбирались пробы атмосферных осадков при обычных условиях и во время пожаров, пробы снежного покрова, который образовался сразу же после пожаров (третья декада октября), пробы талых снеговых и речных вод в весенний период. Установлено, что химический состав снежного покрова, образовавшегося после пожаров, отличается от химического состава обычных осадков и осадков, выпавших в период пожаров. Это объясняется тем, что частицы пыли, сажи и аэрозолей захватываются снежинками во время выпадения осадков, а также оседают из атмосферы после образования снежного покрова. Этому способствовали ветры, которые приносили взвешенные вещества из районов, где снежный покров еще не сформировался [Иванов и др., 1977].

Исследования химического состава атмосферных осадков показали, что в годы, в которые имели место лесные пожары, в дождевой воде наблюдали исключительно высокую концентрацию многих компонентов макросостава, общая минерализация превышала среднюю в 2-5 раз. Авторами были рассчитаны коэффициенты вариации минерализации атмосферных осадков за наблюдаемый период. Большие коэффициенты вариации в 1976, 1978 и 1980 годах, по сравнению с небольшими и практически одинаковыми коэффициентами в 1977 и 1979 годах, указывали на наличие фактора, увеличивающего пределы минерализации. По их мнению, этим фактором и являлись лесные пожары. Причем, характер влияния лесных пожаров на

химический состав атмосферных осадков в высокой степени определялся метеорологическими условиями.

Анализ образцов снежного покрова позволил получить приблизительные данные о поступлении различных веществ на дневную поверхность. В воде, полученной при таянии проб снега, по сравнению с незагрязненными атмосферными осадками, возросли концентрации всех компонентов, за исключением железа. Так, концентрация кальция увеличилась в 5,2 раза, гидрокарбонат-ионов – в 2,9 раза, фосфатов – в 8 раз, соединений кремния – в 7 раз, ионов аммония – в 2,8 раза [Иванов, Кашин, 1989]. В наибольшей степени, по мнению авторов, на формирование химического состава снежного покрова в течение периода наблюдений повлияло осаждение аэрозолей. Об интенсивности этого процесса можно было судить по скорости накопления веществ, то есть разности между начальной концентрацией компонентов в снежном покрове и их концентрацией спустя некоторое время. С учетом расчетных значений интенсивности накопления аэрозолей авторам удалось оценить суммарное относительное поступление растворимых веществ на дневную поверхность. Исследователи пришли к выводу, что за счет пожаров на дневную поверхность дополнительно к фону выпадает 130% кальция, 46,5% магния, 55% гидрокарбонатов, 52% сульфатов, 69% хлоридов, 528% фосфатов, 77% кремния, 30% аммония [Иванов, Кашин, 1989].

Влияние пирогенного фактора на качество вод горных таежных рек Хабаровского края, принадлежащих гидросистеме реки Амур, изучалось сотрудниками Института водных и экологических проблем ДВО РАН под руководством В.П. Шестеркина. Исследования проводились в 1999-2013 гг. на реках бассейна р. Анюй, водосборы которых в различной степени были пройдены пожарами. Катастрофические лесные пожары 1998 года, в результате которых пострадало около 190 тыс. га тайги, принадлежащей исследуемым водосборам, позволили авторам изучить гидрохимический режим рек в многолетнем аспекте. В динамике химического состава воды

рек, дренирующих гари, авторами был выделен период в первые пять послепожарных лет, характеризующийся повышенными концентрациями иона кальция и гидрокарбонат-иона. По их мнению, это связано с вымыванием растворенных веществ из золы и обугленных остатков древесины. В дальнейшем содержание этих веществ изменялось в небольших пределах. Кроме того, авторами было отмечено повышение содержания фосфора и нитратного азота в воде рек, бассейны которых были пройдены верховыми пожарами. В многолетнем аспекте значительно выделился первый пост пожарный год, когда наблюдались максимальные концентрации. Содержание фосфора и нитратного азота в воде рек, дренирующих не тронутые огнем лесные массивы, было значительно ниже [Шестеркин и др., 2012]. Таким образом, в воде рек, дренирующих пирогенно измененные верховыми повальными пожарами водосборы, отмечается высокое содержание нитратного азота, а в реках дренирующих гари, образованные валежными пожарами – повышенная концентрация ионов Ca^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} и соответственно повышенная величина минерализации. Динамика стока компонентов химического состава воды таежных рек свидетельствует о длительном выносе растворенных веществ с водосбора, существенном влиянии на качество этих вод атмосферного переноса продуктов горения, в первую очередь, соединений азота и серы [Шестеркина и др., 2010].

На территории Средней Сибири в 2007-2011 гг. проводились исследования влияния лесных пожаров на гидрохимический состав малых водотоков в условиях многолетней мерзлоты [Грекова, Прокушкин, 2012]. Работы проводились на севере Красноярского края в окрестностях п. Тура (Эвенкийский район). Авторами были выбраны 6 ручьев, водосборы которых были пройдены пожарами в 1993, 1946 и 1899 годах, соответственно, 15, 50 и более ста лет назад. В образцах воды измерялись рН, удельная электропроводность, концентрации растворенного органического углерода (РОУ), растворенного неорганического углерода (РНУ) и главных ионов. Согласно полученным данным, водотоки, бассейны которых были пройдены

огнем 15 лет назад, характеризовались снижением концентраций РОУ в течение всего периода наблюдений (май-октябрь), но повышенным содержанием неорганических соединений. Восстановление до исходных значений (принятых на основе бассейнов с возрастом более 100 лет) наблюдалось через 50 лет после пожарного воздействия. По мнению авторов, повреждение водосборных бассейнов пожарами ведет к существенным изменениям гидрологического режима и гидрохимического состава вод. Уничтожение органогенных горизонтов ведет к снижению концентрации РОУ в водотоках, а увеличение глубины сезонно-талого слоя почвы в криолитозоне Средней Сибири определяет проникновение растворов в минеральную почву и обогащение их неорганическими соединениями [Грекова, Прокушкин, 2012].

Влияние обширных гарей и вырубок на экологию почв и речной сток является предметом постоянного внимания со стороны лесоводов и лесных гидрологов. Речной сток в значительной степени определяется состоянием лесов, их пространственным размещением, степенью и характером антропогенного воздействия. Поддержание лесистости водосборов обеспечивает необходимый объем стока, его качество и оптимальную сезонную динамику [Буренина, Онучин, 1999].

Гидрологический эффект катастрофических лесных пожаров в 1999-2004 годах изучался на малых речных бассейнах юга Дальнего востока [Шамов, 2005]. Были выделены малые бассейны, пораженные верховым пожаром на 80-95% площади, и участки, где низовые пожары привели к выгоранию 70-80% площади подлеска и лесной подстилки, нарушению корневой системы деревьев, усыханию и вывалу в течение последующих лет. В замыкающих створах эпизодически проводились измерения расходов воды. В первый послепожарный летний период (1999 год) отмечено относительное снижение удельной водности в 1,3-2 раза, а также снижение мутности потоков, дренирующих сильно выгоревшие водосборы площадью более 10 км². Спустя 2 года после пожаров удельная водоносность

преобразованной пожарами территории, при общем умеренном и высоком фоне увлажненности, резко (в 2-2,5 раза) возросла в сравнении с аналогами, что, по мнению авторов, могло быть обусловлено преобладающей долей подземного питания. Авторы пришли к выводу, что гидрометеорологический фон являлся более веским фактором стокоформирования, чем давность пожара в пределах рассматриваемого срока. Кроме того, значимую роль сыграла мощность дренируемых грунтов, определяемая глубиной вреза речной сети. Модули стока с целиком выжженных водосборов оказались в среднем выше: для пары водосборов с площадями 4-6 км² повышение удельного стока составило 30%, для пары с площадями 12-14 км² – более 70%.

1.3. Обоснование выбора модельного района для проведения исследований и его характеристика

Максимальная горимость как по количеству случаев пожаров, так и по выгоревшей площади, регистрируется в лесах центрального лесостепного района Республики Бурятия. В этой части республики самая высокая плотность населения, большая концентрация лесопользователей, леса характеризуются высоким классом природной пожарной опасности. На территории Заиграевского района много лет подряд наблюдается неблагоприятная лесопожарная обстановка.

В Заиграевском лесничестве уже более 10 лет ежегодно фиксируется наибольшее среди лесничеств республики число возгораний. В таблице 1.1 представлены количественные оценки пожароопасных сезонов с 2010 по 2014 годы.



Рисунок 1.2. Территория Зайграевского района на карте Республики Бурятия.

Таблица 1.1. Лесопожарная обстановка в Зайграевском районе в 2010-2014 годах.

Год	Кол-во пожаров	Общая площадь, пройденная пожарами, га
2010	80	1798,69
2011	175	4114,22
2012	70	1021,03
2013	93	1201,62
2014	192	8962,7

Таким образом, за пять лет по Зайграевскому району было зафиксировано 610 лесных пожаров общей площадью более 17 000 га. Главной причиной возникновения лесных пожаров считается неосторожное обращение с огнем местного населения. Кроме того, значительная часть пожаров возникает вследствие перехода с прилегающих к лесу несанкционированных свалок и сельхозугодий, а также вследствие летней грозовой деятельности атмосферы [Украинцев, Плюснин, 2015].

Территория Заиграевского района находится на Селенгинском среднегорье, в основном она представляет собой средневысокие горы с глубокооврезанными долинами (рис. 1.3). Преобладающими формами рельефа являются плосковершинные и достаточно однородные по высоте хребты, чередующиеся с обширными межгорными понижениями. Абсолютные высоты достигают отметки 1346 м.

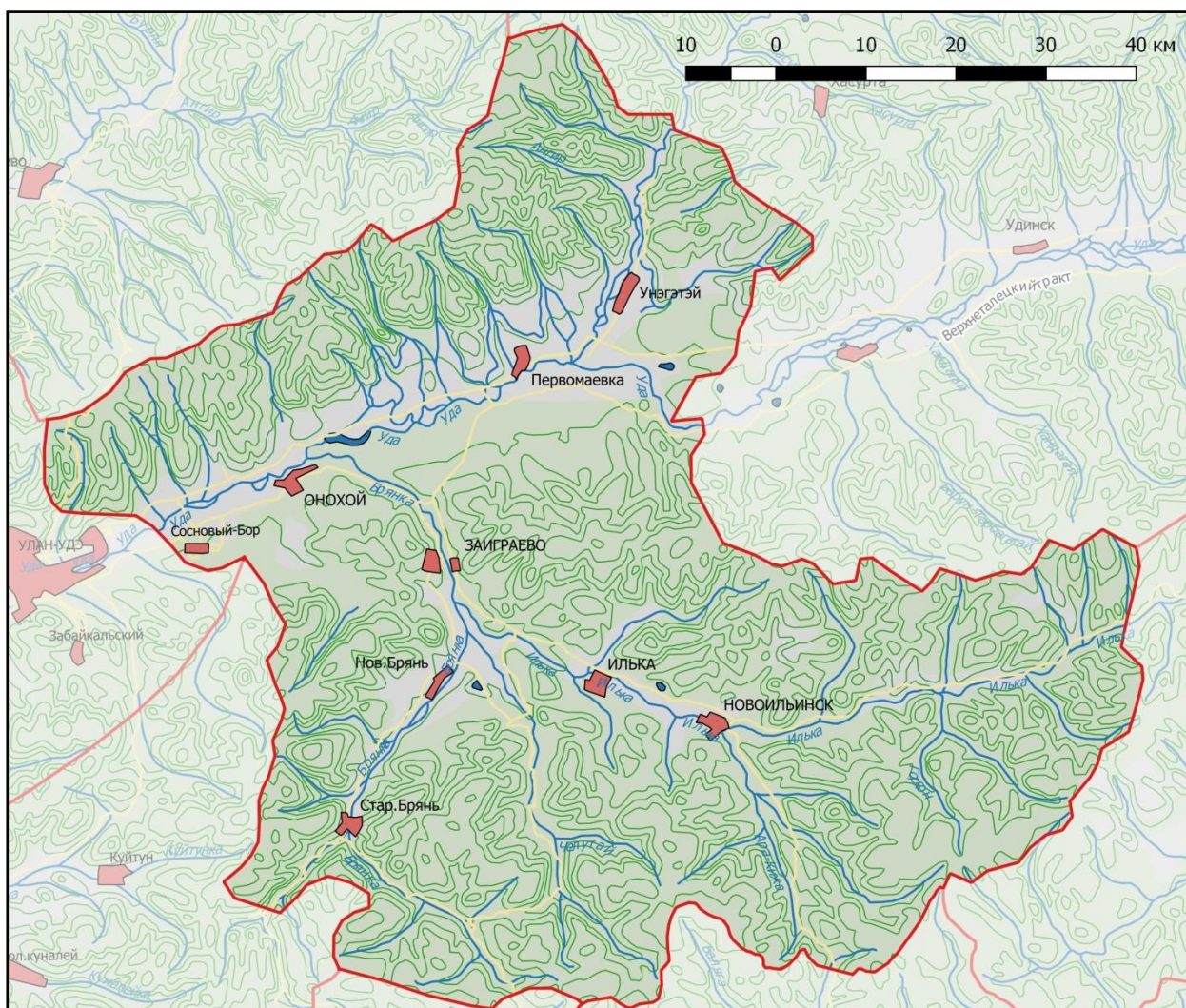


Рисунок 1.3. Заиграевский район Республики Бурятия.

Гидрографическая сеть района представлена р. Удой, ее крупными притоками (Курбой, Брянкой, Илькой) и множеством других более мелких рек. Зимой реки промерзают, а в начале лета в верховьях частично пересыхают. Весеннего половодья не бывает, но часто в конце лета и начале

осени наблюдаются паводки, в результате чего происходит затопление и заболачивание низких участков пойм.

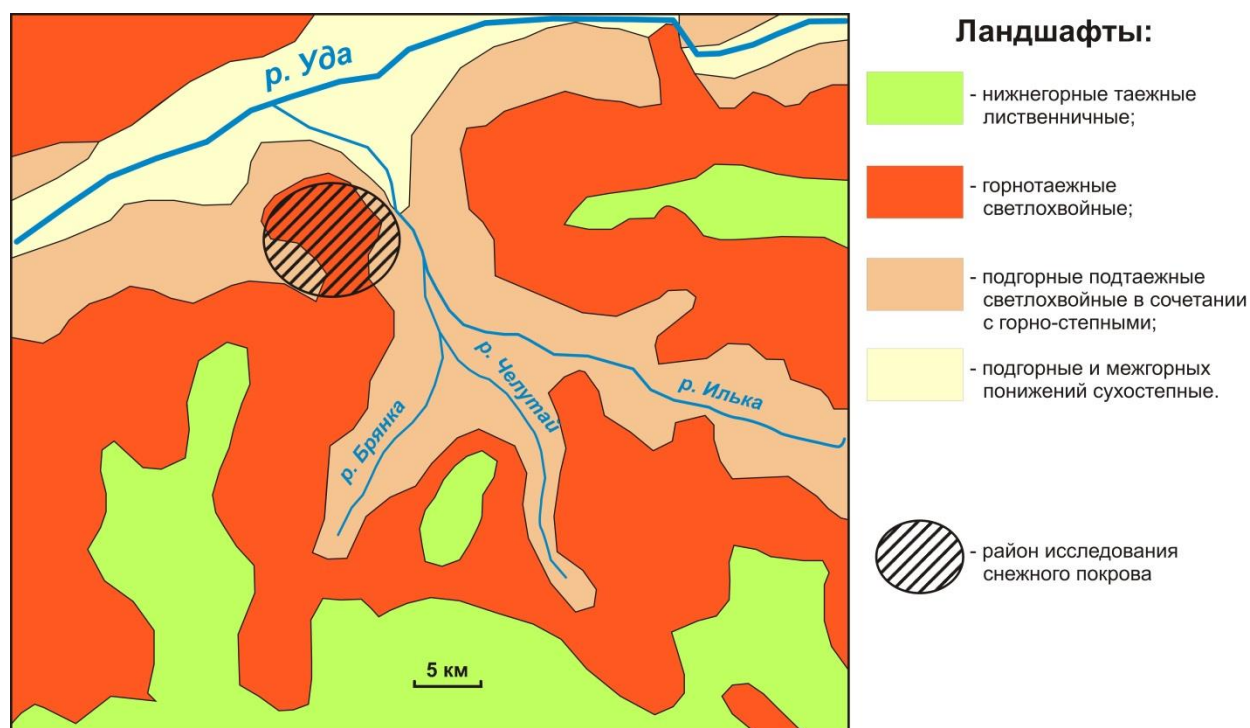


Рисунок 1.4. Типы ландшафтов района исследования (на основе Ландшафтной карты юга Восточной Сибири [Михеев, Ряшин, 1977]).

Согласно данным ландшафтной карты юга Восточной Сибири [Михеев, Ряшин, 1977], рассматриваемая территория относится к горно-таежному Южно-Сибирскому классу ландшафтов, горно-таежным и подгорно-подтаежным светлехвойным в сочетании с горно-степными группам фаций. Основные площади лесов принадлежат подтаежным соснякам, которые играют большую ландшафтную роль в бассейне р. Уда (Удинский боровой район). Они представлены рододендрово-брусничными, толокняновыми, бруснично-разнотравными, разнотравными типами лесов. Подтаежные леса на древних аллювиальных песчаных отложениях образуют борово-подтаежный высотно-поясной комплекс [Сымпилова и др., 2003]. В соответствии со своими особенностями растительность района обладает

очень высокой способностью к возгоранию [Поликарпов и др., 1979; Евдокименко, 1991].

Распределение почв на территории исследования, как и во всем Селенгинском среднегорье, в значительной мере определяется характером рельефа. В нижней части тайги на песчаных породах распространены боровые пески. Они расположены по правобережью р. Селенги и тянутся вдоль левобережной Удинской межгорной депрессии [Сымпилова и др., 2003]. Сосновые боры формируются на песчаных отложениях кривоярской свиты, а также на каменистых отложениях у подножия горных хребтов. На песчаных отложениях межгорных впадин произрастают сосняки ксерофитно-разнотравные и сосняки беспокровные на псаммоземах и каштановых почвах. В зависимости от литологии почвообразующей породы формируются следующие почвы слаборазвитого отдела ствола слаборазвитых почв: литоземы, карбопетроземы, петроземы [Сухачева и др., 2011]. Формирование дерново-боровых почв на песчаных буграх является примером начального развития почвообразования на песчаных отложениях. Органическое вещество почв характеризуется низкой степенью гумификации. Значительная часть гумуса аккумулятивного горизонта представлена слаборазложившимися тканями растительных остатков и углеподобными частицами [Гынинова и др., 2012]. Слабая развитость почв в сосняках данной территории свидетельствует об относительно малом количестве органического вещества. Реакция среды в почвенных горизонтах близкая к нейтральной или нейтральная, в песчаных прослоях и породе может быть даже слабощелочная [Гынинова и др., 2012]. Бедные гумусом почвы характеризуются низким содержанием гуминовых и фульвовых кислот.

Заиграевскому району, как и Республике Бурятия в целом, присущ резко континентальный климат с низкой среднегодовой температурой, значительными суточными и годовыми колебаниями температуры, большой сухостью воздуха, небольшим количеством осадков и неравномерным распределением их по месяцам. Преобладающие направления ветра –

западное и северо-западное. Зима продолжительная и холодная, ее важная особенность – малое количество осадков. Устойчивый снежный покров образуется во второй половине ноября и сходит в середине апреля. Весна поздняя, прохладная, ветреная. Особенно сильные ветры наблюдаются в апреле-мае. Дефицит атмосферных осадков в зимнее время в сочетании с сильными весенними ветрами обуславливает раннее начало пожароопасного сезона в районе. Лето короткое, жаркое и засушливое, лишь во второй половине выпадают обильные осадки. Продолжительность безморозного периода колеблется от 100 до 120 дней. Также необходимо отметить, что существенно повышает пожароопасность характерное для Бурятии большое количество солнечных дней в году.

Климат, растительность и рельеф Заиграевского района обусловили присвоение практически всей лесной территории 1-го класса пожарной опасности. Это означает, что в течение всего пожароопасного сезона возможны низовые пожары, а на участках с наличием древостоя – верховые.

Важной особенностью географического расположения района является то, что его территория является частью водосборной площади р. Уда, входящей в состав бассейна р. Селенга – крупнейшего притока оз. Байкал. Для экологических исследований также важно, что ниже по течению р. Уда находится город Улан-Удэ, и любые изменения в гидрохимическом режиме речного стока могут негативно сказаться на городском водопользовании.

На основании изложенного, можно сделать вывод, что территория Заиграевского района республики Бурятия является наиболее подходящей для исследования влияния последствий лесных пожаров на экологическое состояние окружающей среды. Район обладает развитой гидрологической системой, обширными лесными массивами и достаточно высокой антропогенной нагрузкой на них. Ландшафт и растительность района являются характерными практически для всего Селенгинского среднегорья – наиболее освоенной и густонаселенной территории в республике. В связи с этим, некоторые закономерности экологических процессов, протекающих на

территории района исследования, могут распространяться на существенно бóльшие площади.

Геолого-гидрогеологическое строение района

Исследуемая территория представляет собой среднегорную равнину, расчлененную долинами рек на ряд самостоятельных орографических единиц (рис. 1.5). На севере располагается Худунский хребет. Он ограничивается с севера Удинской депрессией, а с юга долиной р. Ильки. Хребет вытянут в широтном направлении и представляет собой сильно уплощенное денудацией горное сооружение со слабо выраженными вершинами. Максимальные высоты хребта не превышают 1300 м, относительные превышения наиболее высоких вершин над уровнем долины р. Уды составляют 400—500 м. Многочисленные речные долины расчленяют хребет на ряд больших отрогов (массивы гор Мангазей, Хохюрта и др.). В южной части территории располагается хр. Цаган-Дабан (восточная часть). Он ориентирован в субширотном направлении и ограничен на юге Тугнуйской депрессией, на севере – долиной р. Ильки. Максимальные отметки хребта достигают 1400 м. Водораздельная часть хребта, несмотря на значительное превышение над днищами долин рек и ручьев (500–600 м) имеет сильно уплощенную поверхность. Склоны хребта изрезаны падами на отдельные гривы и возвышенности.

Рассматриваемый район слагают протерозойские, триасовые, юрские, нижнемеловые, палеогеновые, неогеновые и четвертичные отложения.

В геологическом строении района интрузивные породы играют главенствующую роль, слагая около 75% изученной площади. В большинстве случаев они представлены различными гранитоидами, относящимися к нескольким тектоно-магматическим активизациям, имевшим место в палеозое и мезозое. В пределах данной территории выделяются хамар-дабанский, джидинский, малокуналейский, гуджирский и хурай-байбинский интрузивные комплексы.

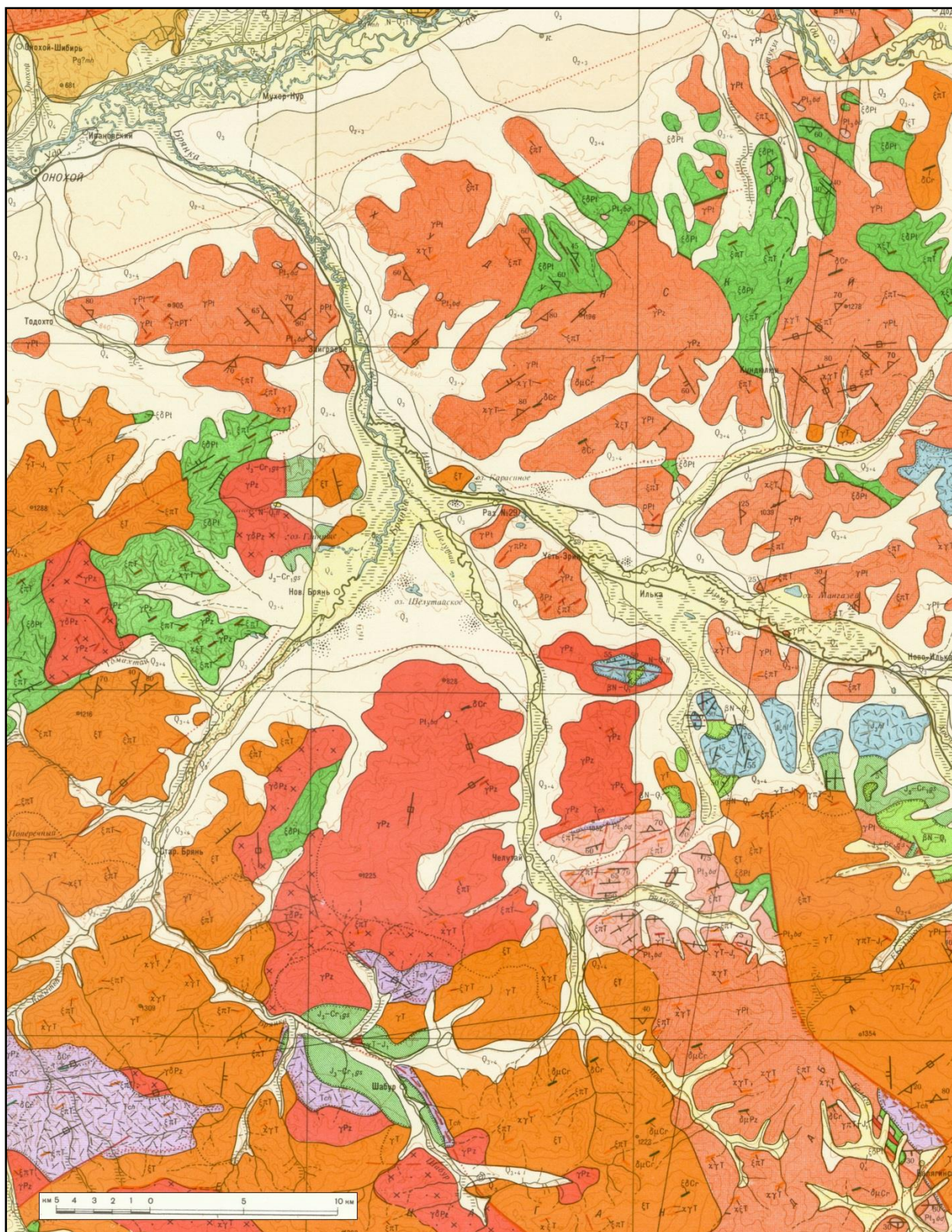
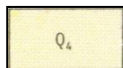
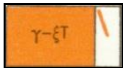
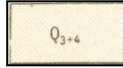
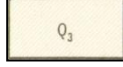
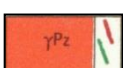
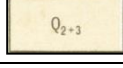
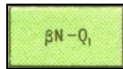
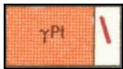
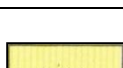
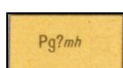
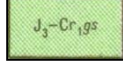
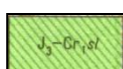
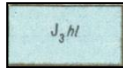
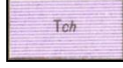
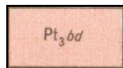
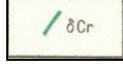
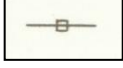
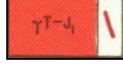


Рисунок 1.5. Фрагмент геологической карты СССР масштаба 1:200000 листа М-49-І [Безруков, 1970].

Четвертичная система		Современный отдел. Аллювиальные отложения. Пески, глины, галечники, илы	Триасовые интрузии		Мало-куналейский комплекс. Щелочные и лейкократовые граниты (γ). Щелочные и биотит-роговообманковые сиениты (ξ), дайки сиенит-порфиров (ξл), грорудитов (χγ), сельсбергитов (χξ)			
		Верхний и современный отделы. Делювиально-пролювиальные отложения. Пески, супеси						
		Верхний отдел. Аллювиальные, местами эоловые отложения. Пески, суглинки	Палеозойские интрузии		Джидинский комплекс. Лейкократовые и биотитовые граниты (γ), реже гранодиориты (γδ). Дайки гранит-порфиров (γл), мелкозернистых диоритов (δ), реже диоритовых порфиров (δμ)			
		Средний и верхний отделы. Аллювиальные отложения. Разнозернистые пески и суглинки						
Неогеновая система – нижний отдел четвертичной системы		Базальты и андезито-базальты	Протерозойские интрузии (Хамар-дабанский)		Биотитовые мелко- среднезернистые и порфировидные граниты (γ). Дайки мелкозернистых гранитов (γ), гранит-порфиров (γл), пегматитов (ρ)			
		Талогойская свита. Пестроцветные отложения. Слабосцементированные песчаники, глины, пески						
Верхний отдел юрской системы – нижний отдел меловой системы		Палеогеновая система(?). Мухейская свита. Крупноглыбовые конгломераты с прослойками гравелитов и слабосцементированных песчаников	Вулканогенные образования		Эоловые отложения			
		Гусиноозерская серия нерасчлененная. Конгломераты, песчаники и алевролиты.						
		Селенгинская свита. Аргиллиты, слабосцементированные песчаники с прослоями бурых углей						
Юрская система		Верхний отдел. Хилокская свита. Конгломераты, песчаники, андезито-базальты, андезиты, трахиты, липариты и их лаво- и туфобрекчии	Первичные трещины		Мелкозернистые разновидности гранитоидов			
Триасовая система		Цаган-хунтейская свита. Порфириды, фельзиты, фельзит-порфиры, кварцевые порфиры и их лаво- и туфобрекчии						
Верхний комплекс протерозоя		Биту-джидинская толща нерасчлененная. Гнейсы и амфиболиты с прослоями известняков, кварцево-сланцевые сланцы, метаморфизованные песчаники, амфибол-скаполитовые сланцы, кварцитовидные сланцы, известняки и доломиты						
Меловые интрузии		Хурай-байбинский комплекс. Дайки мелкозернистых диоритов (δ), диоритовых порфиров (δμ), сиенито-диоритов (ξδ)	Первичные трещины		Вертикальные			
Триасовые-нижнеюрские интрузии		Гуджирский комплекс. Мелкозернистые граниты (γ), гранит-порфиры (γл), дайки мелкозернистых гранитов (γ) и гранит-порфиров (γл)						

Условные обозначения к рисунку 1.5

Отложения четвертичного возраста распространены повсеместно на территории района, имея наибольшую мощность в долинах рек и в падях (до 100 м). Они представлены различными по генезису отложениями – аллювиальными, озерными, делювиальными, пролювиальными, элювиальными, эоловыми и смешанными типами. Проведенные специальные литолого-фациальные и геоморфологические исследования позволяют говорить о наличии среди них отложений, связанных с деятельностью талых вод многолетних снежников холодных эпох (флювионивальные отложения).

Отложения среднего и верхнего отдела (Q_{2+3}) представлены аллювиальными средне- и тонкозернистыми песками, суглинками (алевритами) высоких террас. Они распространены по долинам рек Уды и Брянки. Мощность их 20–50 м. В крупных падях и долинах ручьев широко распространены однородные, редко слоистые суглинки (алевриты). В нижней части они имеют прослой гравия и щебенки. К неразделенному среднему и верхнему отделам относятся аллювиальные пески древней речной сети, остатки которой развиты в понижениях современных водораздельных участков Шабур-Мойса, Шабур-Шелутай, Мазенкул- Дардынкул и в верховьях ручьев Томахтай, Белая речка, Поперечный и др. Они перекрыты верхнечетвертными и современными делювиально-пролювиальными осадками.

Верхний отдел (Q_3) сложен аллювиальными суглинками, песками первой и второй террас рек и ручьев и флювионивальными суглинками, развитыми повсеместно в падях, где они также образуют одну или две террасы. Мощность аллювия достигает 20–25 м. Флювионивальные суглинки отличаются хорошей сортированностью материала (80% частиц с размерами от 0,25 до 0,01 мм), обычно однородны и содержат 1 или 2 горизонта погребенных почв. Они очень хорошо развиты и выстилают днища падей от верховья до устья, образуют в них террасы, которые сочленяются с первой и второй террасами рек.

К верхнему и современному отделу (Q_{3+4}) относятся эоловые пески и делювиально-пролювиальные отложения. Эоловые отложения представлены дюнными и грядовыми песками хорошей сортировки, мощностью до 10 м. Развиты они по долинам рек на террасах. Песчаные эоловые отложения присутствуют и в верховьях долин, если там имеются более древние песчаные накопления иного генезиса. В составе песков отмечен дистен, силлиманит, кордиерит, корунд и ряд других минералов, редко встречающихся в коренных породах района и явно принесенных из других мест. Делювиально-пролювиальные отложения распространены очень широко. Они состоят из песчано-глинистого материала различной степени сортировки и окатанности, обычно покрывают склоны, днища падей и образуют шлейфы подножий и конуса выноса в их устьях.

К современным отложениям (Q_4) относятся аллювиальные и озерные галечники, пески, суглинки и илы, торф, делювиальные и пролювиальные суглинки, элювиальные глины и курумники, свободно перевезаемые пески. Мощность их достигает 10 м [Безруков, Ломаев, 1970].

В таблице 1.2 приведено краткое описание геологических разрезов, составленных по данным бурения гидрогеологических скважин вблизи населенных пунктов в исследуемом районе.

Таблица 1.2. Сведения о геологическом строении и глубинах залегания подземных вод по данным бурения гидрогеологических скважин в пределах исследуемого района.

Расположение скважины, год, координаты, глубина, м	Краткое описание геологического разреза	Мощность слоя, м	Глубина появления воды (установившийся уровень), м
п. Заиграево, 1977 51°56' 108°21' 240.0	1. Песок серовато-бурый, разнотернистый 2. Валунно-галечные отложения с песчаным заполнителем 3. Чередувание разнотернистых песков с глинами 4. Суглинок темно-коричневый 5. Глина кирпично-красная 6. Чередувание песчаников с мелкогалечными конгломератами 7. Конгломераты на песчано-глинистом цементе 8. Гравелиты мелкообломочные 9. Чередувание конгломератов, песчаников с аргиллитами и алевролитами	16.5 40.5 18.0 5.0 6.7 15.2 18.9 17.2 102.8	86.7 (68.0)
п. Онохой, 1975 51°55' 108°06' 180.0	1. Дресвяно-щебенистые отложения, сухие, уплотненные 2. Песчаники кварцевые, кварцполевошпатовые с маломощными прослойками аргиллитов, алевролитов. В нижней части разреза со 130-140 м преобладают прослои аргиллитов и алевролитов	45.0 135.0	62.0 (62.0)
с. Новая Брянь, 1990 51°42' 108°18' 200.0	1. Дресва, щебень с песчано-глинистым заполнением и редкими валунами 2. Граниты трещиноватые, в инт. 58-60 м, сильно трещиноватые 3. Граниты плотные, среднетернистые, розовые в инт. 134-136 м трещиноватые, в инт. 175-177 м слаботрещиноватые	40.0 30.0 130.0	56.0 (56.0)
п. Илья, 1968 51°52' 108°48' 112.0	1. Суглинок 2. Щебень с песком 3. Конгломераты с галькой изверженных пород на песчано-глинистом цементе, трещиноватые, выветрелые 4. Диориты выветрелые 5. Граниты розовато-серые среднетернистые, трещиноватые	4.0 15.0 11.0 30.0 42.0	67.0 (19.0)
п. Новоильинск 1971 51°42' 108°41' 80.0	1. Суглинок с супесью 2. Суглинисто-щебенистые отложения, безводные 3. Гранодиориты выветрелые 4. Диориты трещиноватые, обводненные 5. Гранодиориты разрушенные, щебень	4.0 6.0 36.0 36.0 4.0	13.0 (13.0)
п. Челутай, 1977 51°34' 108°26' 70.0	1. Гравийно-галечные отложения с редкими валунами, заполнитель - песок с прослойками глин 2. Граниты розовые, крупнозернистые, биотитовые, слаботрещиноватые	45.0 25.0	45.0 (30.0)
п. Татарский Ключ, 1961 51°40' 108°24' 199.45	1. Песок мелкозернистый кварц-полевошпатового состава, желтый с примесью гравия 2. Галечник с песком, сухой 3. Глина с песком пластичная, бурая 4. Валун изверженных пород, с песчано-глинистым заполнителем 5. Крупноглыбовый материал и валуны граносиенитов 6. Граносиениты мелко- и среднетернистые, разрушенные от 125 м монолитные	14.0 17.0 18.0 31.0 18.0 101.45	55.0 (21.0)
с. Тодогто, 1963 51°51' 108°02' 162.0	1. Песок светло-желтый, мелкозернистый 2. Валунно-обломочные отложения - заполнитель песок разнотернистый, палевый 3. Диориты серо-зеленые, вверху выветрелые, водоносные в интервале 160-162 м	26.0 32.0 104.0	160.1 (62.0)

Почти повсеместно с поверхности залегают хорошо проницаемые для атмосферных осадков породы, представленные песчаными, дресвяно-щебенистыми и гравийно-галечными отложениями. В отдельных местах на поверхности встречаются супесчано-глинистые отложения. Фундамент сложен гранитами, граносиенитами, гранодиоритами. Напорные воды вскрыты на глубинах 45-55 м и более.

Таблица 1.3. Химический состав подземных вод района исследования (по скважинам, разрез которых приведен в таблице 1.2).

Расположение скважины, дата отбора пробы	Глубина отбора пробы, м	Минерализация, г/дм ³	Химический состав воды, мг/дм ³					
			Анионы			Катионы		
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
п. Заиграево, 22.03.78	155-176	0.22	5.7	42.0	189.2	30.1	9.7	41.1
п. Онохой, 28.04.75	67.0	0.12	9.0	6.7	115.9	22.8	10.8	6.2
с. Новая Брянь, 29.12.90	180.0	0.24	14.2	50.4	183.1	84.2	3.04	-
п. Илья, 04.06.68	40.0	0.209	8.4	22.4	201.3	30.9	10.1	37.4
п. Новоильинск, 01.11.71	70.0	0.19	10.2	10.0	195.2	37.2	10.0	22.1
п. Челутай, 08.04.77	60.0	0.1	5.4	4.8	109.8	22.0	7.9	7.4
п. Татарский Ключ, 30.03.61	105-199	0.172	7.6	28.7	149.4	42.6	8.2	10.6
с. Тодогто, 09.04.63	160-162	0.33	2.8	8.16	167.8	30.8	3.4	4.1

По своему химическому составу глубинные воды исследуемого района гидрокарбонатные кальциевые и кальциево-натриевые, ультрапресные (минерализация до 200 мг/л) и умеренно пресные (минерализация 200–500 мг/л) (таблица 1.3). Жесткость изменяется от 1,75 до 4,45°Ж (от мягких до умеренно жестких). По уровню pH воды характеризуются как нейтральные, иногда слабощелочные (pH 7,3-8,2). Сульфат-ион обнаружен в значимых

количествах в населенных пунктах, где имеются промышленные предприятия – железнодорожная станция, авторемонтный завод, карьер.

Грунтовые воды исследуемого района располагаются на глубинах 16-48 м (таблица 1.4) по химическому составу в основном гидрокарбонатные кальциевые, ультрапресные (минерализация до 200 мг/л) и умеренно пресные (минерализация 200–500 мг/л). Жесткость изменяется от 2 до 3,9°Ж (от мягких до умеренно жестких), по уровню pH воды нейтральные или слабощелочные. Данный химический тип является характерным для подземных вод зоны гипергенеза Забайкалья [Шварцев, 1998].

Таблица 1.4. Химический состав грунтовых вод района исследования.

Расположение скважины, дата отбора пробы	Глубина отбора пробы, м	Минерализация, г/дм ³	Химический состав воды, мг/дм ³					
			Анионы			Катионы		
			Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺ +K ⁺
п. Заиграево, 18.03.81	30	0.136	5.6	9.6	139.0	30.1	6.1	15.1
п. Онохой, 02.03.93	35-50	0.213	11.36	38.4	179.84	46.04	14.59	12.88
с. Новая Брянь, 15.03.91	20-40	0.37	20.5	67.2	312.2	102.2	21.3	5.75
п. Илья, 12.06.75	16	0.36	16.0	33.6	353.8	71.4	24.08	43.2
п. Новоильинск, 27.09.76	29	0.17	8.2	19.2	170.8	29.0	13.9	20.2
п. Челутай, 28.07.82	37-42	0.206	7.6	4.8	255.2	38.1	10.3	18.0
п. Татарский Ключ, 23.03.70	48,2	0.186	5.2	19.6	189.1	33.4	7.0	26.8

В населенных пунктах грунтовые воды в своем составе имеют повышенные содержания сульфат- и хлорид-ионов, которые имеют техногенное происхождение.

1.4. Распространение и причины возгорания лесных массивов на исследуемом участке

В Заиграевском районе по ряду причин на протяжении многих лет наблюдается неблагоприятная лесопожарная обстановка. Для того чтобы выявить какие-либо закономерности распределения очагов возгорания и возможные причины, нами были детально проанализированы несколько различных по напряженности пожарных сезонов: 2010, 2011 и 2012 годов. Организацией мероприятий по предупреждению и ликвидации лесных пожаров в районе занимаются территориальные лесничества: Заиграевское и Хандагатайское. Количественные характеристики лесных пожаров по этим двум лесничествам за 2010–2012 гг. представлены в таблице 1.5.

Таблица 1.5. Характеристика возгораний в Заиграевском районе республики Бурятия в 2010-2012 годах.

Лесничество	Кол-во пожаров	Общая площадь, пройденная пожарами, га	Ущерб от пожаров, тыс. руб
2010 г.			
Заиграевское	70	1148,69	73 469,57
Хандагатайское	10	650	4 649,928
Всего	80	1798,69	78 119,498
2011 г.			
Заиграевское	151	3715,02	239 439,5
Хандагатайское	24	399,2	917,013
Всего	175	4114,22	240 356, 513
2012 г.			
Заиграевское	52	788,53	91 887,01
Хандагатайское	18	232,5	2 458,9
Всего	70	1021,03	94 345,91

За три года по Заиграевскому району было зафиксировано 325 лесных пожаров общей площадью 6933,94 га, средняя площадь каждого составила 21,3 га. Суммарный ущерб от них превысил 412 млн. руб. Учитывая то, что за предыдущие 10 лет средний показатель в районе по количеству пожаров в

год равнялся 105, можно отметить аномально большое количество возгораний в 2011 г. Чтобы определить возможные причины резкого увеличения их числа, необходимо детально проанализировать месячную динамику за каждый год (рис. 1.6).

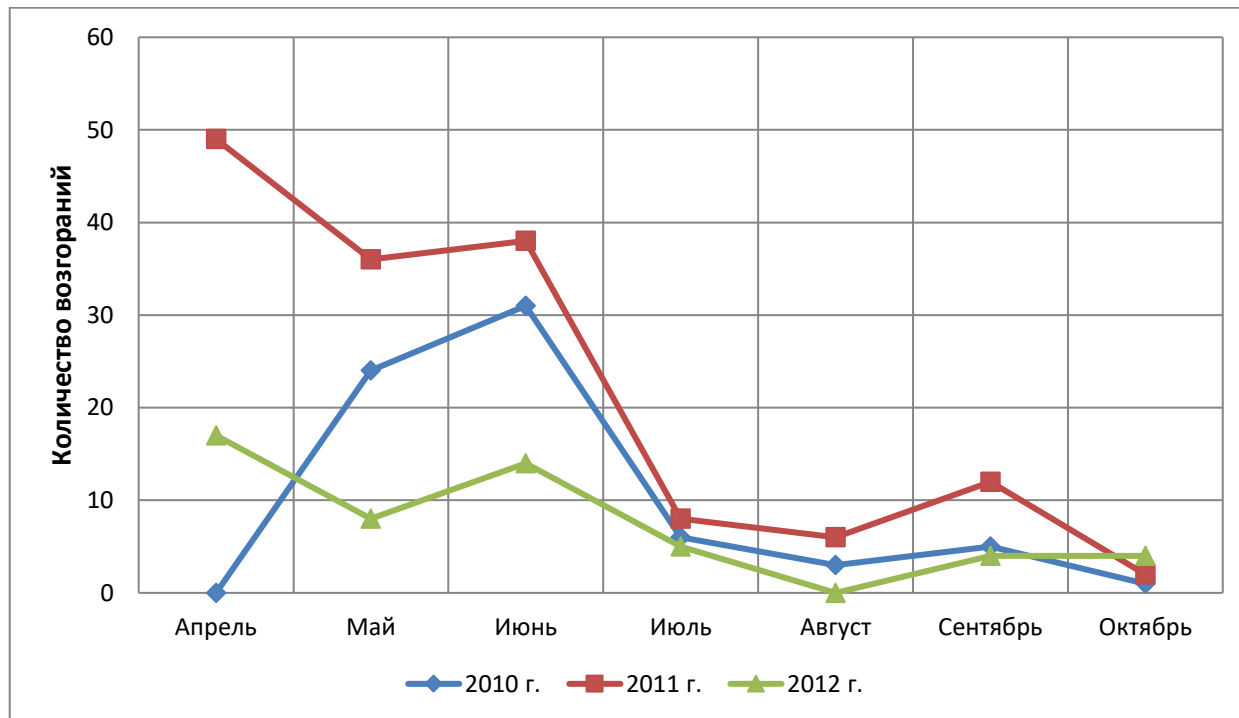


Рисунок 1.6. Месячная динамика количества лесных пожаров на территории Заиграевского района в 2010-2012 гг.

Сопоставив число зафиксированных лесных пожаров за каждый месяц с особенностями погодных условий, мы пришли к следующим выводам. Весенние и летние месяцы 2011 г. не отличались аномальной засушливостью. Для 2010 г. также было характерно крайне малое количество осадков в апреле–мае, а температуры воздуха июня–июля превышали среднемесячные на 2-4°C. Следовательно, причина катастрофического начала пожароопасного сезона в 2011 г. заключалась в особенностях погоды предшествовавшего ему зимне-весеннего периода. По данным, приведенным в государственных докладах «О состоянии и охране окружающей среды в Республике Бурятия» за 2010–2012 гг. [Государственный доклад..., 2011, 2012, 2013], и материалам наблюдений на метеостанции с. Новая Курба

можно сделать вывод о крайне малом количестве осадков в начале 2011 г. по сравнению с другими годами.

Суммарное количество осадков за первые четыре месяца 2011 г. составило всего 2,1 мм, тогда как в 2010 и 2012 гг. этот показатель был 11,5 и 5,6 мм соответственно (рис. 1.7).

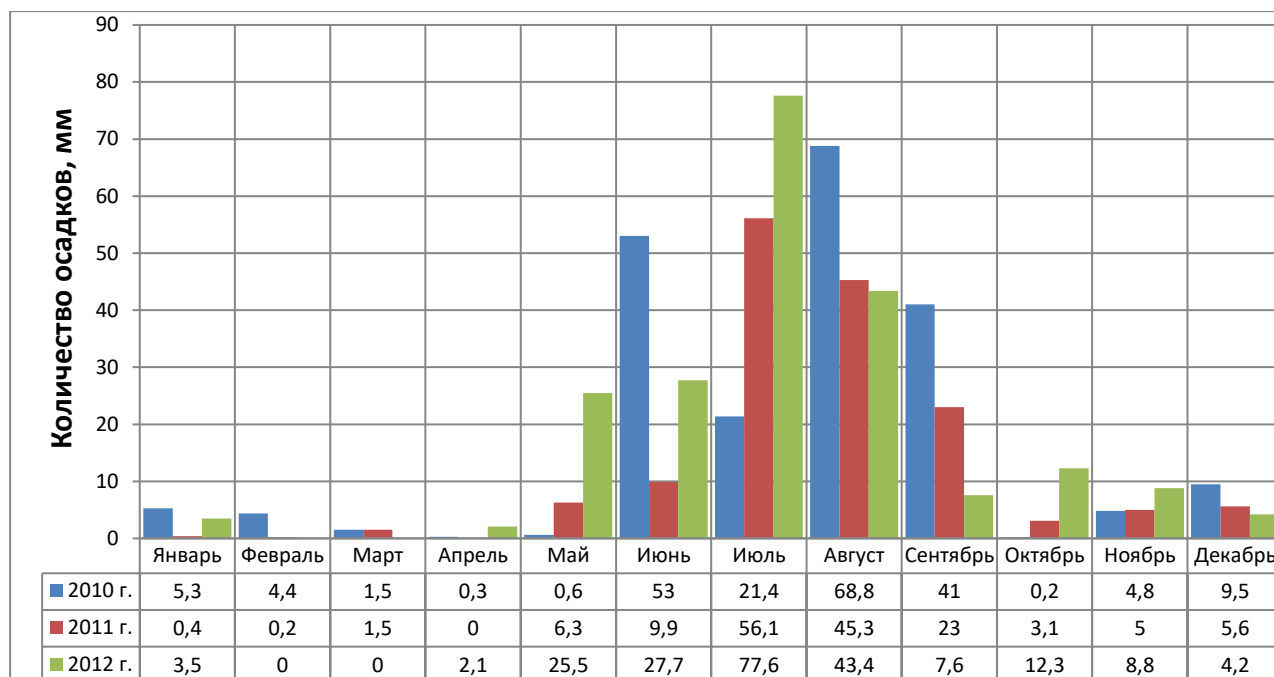


Рисунок 1.7. Распределение осадков, выпавших на территории Заиграевского района республики Бурятия по месяцам в 2010-2012 гг.

Очевидно, именно этот факт в значительной степени обусловил раннее пожароопасное состояние и большое количество пожаров в апреле 2011 г. Также необходимо отметить, что благодаря обильным осадкам, выпавшим в январе-феврале 2010 г (их количество местами составляло до двух месячных норм), первые очаги лесных пожаров в Заиграевском районе были зафиксированы не в апреле, как в другие годы, а в мае. Подобная зависимость начала пожароопасного периода от особенностей снежного покрова ранее была отмечена в работах М.Д. Евдокименко [Евдокименко, 1991, 2000, 2013], а также у ряда иностранных авторов [Westerling et al., 2006; Semmens, Ramage, 2012].

Для получения более полного представления о территориальном распределении очагов возгорания в лесных массивах, нами была составлена карта распространения лесных пожаров на территории Заиграевского района в 2010-2012 гг. (рис. 1.8). Наиболее подверженными лесным пожарам оказались северная и юго-западная части территории. Самая высокая плотность очагов возгорания наблюдается на участке, окруженном автомобильной дорогой Онохой – Заиграево – Новая Брянь, который находится между Усть-Брянским и Заиграевским территориальными лесничествами. Объясняется это в первую очередь высоким уровнем антропогенного воздействия. Поселки Онохой и Заиграево помимо основной автомобильной дороги соединяются более короткой лесной дорогой, вдоль которой и сконцентрированы очаги лесных возгораний. Кроме того, по этой дороге, сразу за поселком Заиграево, находится свалка бытового мусора, которая занимает значительную территорию, вплотную примыкающую к лесному массиву. Возгорания, начинающиеся на свалке мусора, как правило, переходят вглубь леса и порождают новые лесные пожары. Размеры свалки непрерывно увеличиваются, поэтому можно прогнозировать сохранение тенденции усиления неблагоприятной лесопожарной обстановки на данном участке в последующие годы. На остальной территории очаги возгораний сгруппированы вблизи сел Первомаевка, Унэгэтэй, Новая Брянь и вдоль крупных лесных дорог.

В качестве главной причины возникновения лесных пожаров приводится неосторожное обращение с огнем местного населения. Значительная их часть возникает в результате перехода с прилегающих к лесу несанкционированных свалок и сельхозугодий, а также летней грозовой активности [Лесной план Республики Бурятия, 2013].

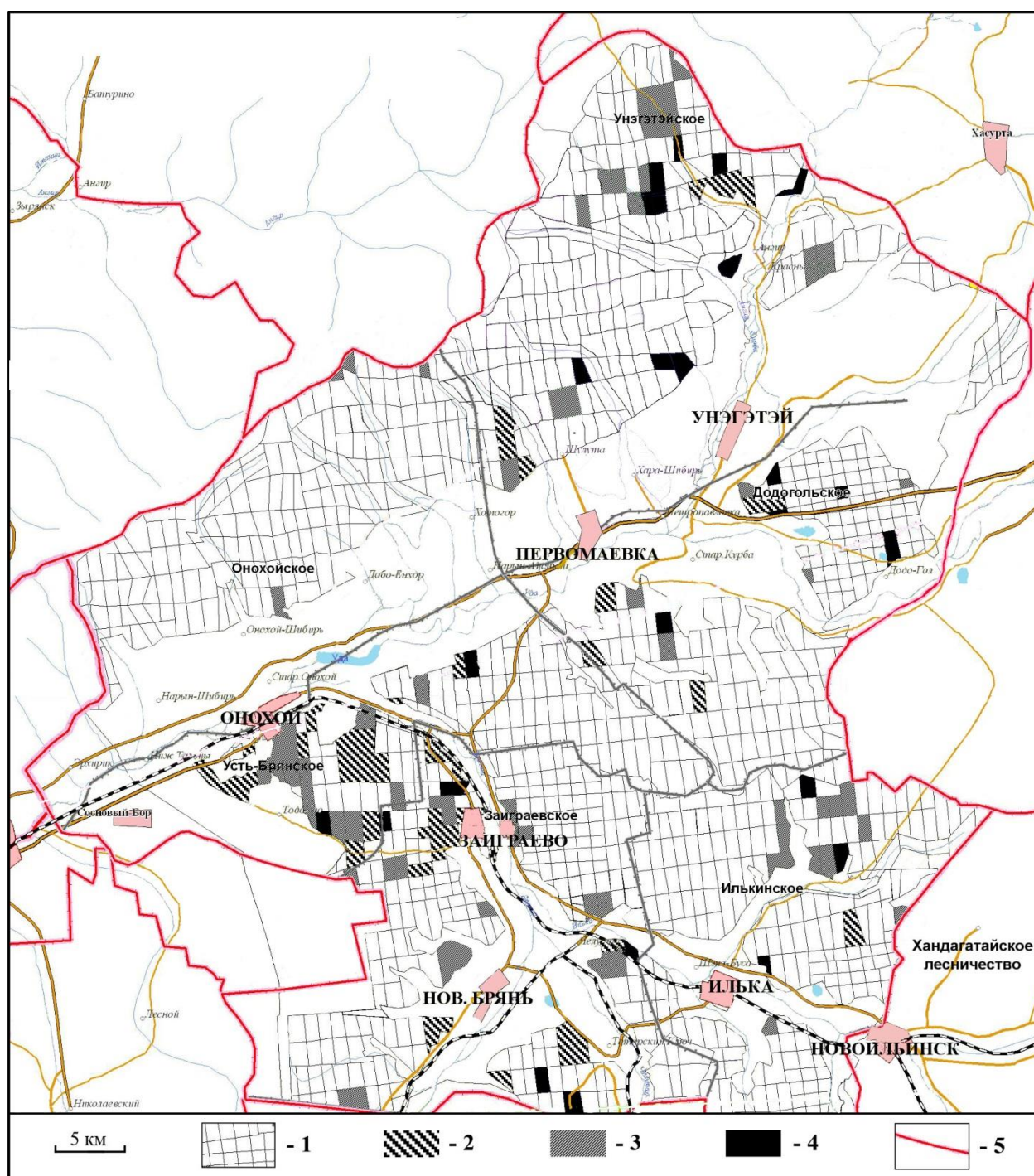


Рисунок 1.8. Карта распространения лесных пожаров на территории Заиграевского лесничества в 2010–2012 гг.

- 1 – лесные кварталы Заиграевского лесничества,
2 – кварталы, пройденные пожарами в 2010 г.,
3 – кварталы, пройденные пожарами в 2011 г.,
4 – кварталы, пройденные пожарами в 2012 г.,
5 – границы лесничеств.

При лесных пожарах живое вещество лесной растительности превращается в углекислый газ, воду и минеральные соединения. Воздействие пожаров на миграцию химических элементов происходит многие годы после прохождения огня, так как поврежденная растительность разлагается с образованием многочисленных промежуточных форм окисления.

Большая часть продуктов разложения органических веществ выбрасывается в окружающую среду непосредственно во время горения. С дымовой эмиссией в атмосферу выделяется огромное количество углеродосодержащих соединений и элементов минерального происхождения [Куценогий и др., 1996]. В зависимости от силы ветра и характера горения, некоторое количество выносится за пределы района пожара, оставшиеся вещества конденсируются и оседают поблизости. Часть продуктов горения, которая не была вынесена в атмосферу во время пожара, остается в виде обугленной растительности и золы. Они оказывают влияние на территорию в течение нескольких последующих лет, так как наблюдается длительный процесс высвобождения CO_2 в результате биологической деструкции (гниения) растительных остатков [Майорова и др., 2013]. Кроме того, сформировавшаяся огромная масса обугленных остатков растительности под действием солнца, воды, ветра продолжает разрушаться и измельчаться в результате протекания физических и химических процессов, поставляя в атмосферу большое количество мелких частиц золы и пыли, которые рассеиваются на поверхности пожарищ и окружающей территории.

Как следует из приведенного литературного обзора, лесные пожары активизируют миграцию ряда соединений и химических элементов в воздушной и водной среде. В период прохождения пожаров основная масса веществ выбрасывается в виде газов и аэрозолей, загрязняя атмосферу продуктами горения. Как показали проведенные исследования, воздействие пожаров на окружающую среду на этом не заканчивается. В после пожарный период поврежденные пожаром леса продолжают оказывать влияние на воздух и на воду ручьев, рек, формирующих ресурсы на этой территории. Воздействие пожаров проявляется в изменении гидрологических характеристик стока и в их химическом составе. Это связано с тем, что на залесенной территории, подвергшейся воздействию пожаров, изменяется водообмен в сторону увеличения поверхностного стока, кроме того на пожарных местах остается значительная масса минеральных продуктов горения и органических остатков поврежденной пожаром растительности. Минеральные вещества растворяются в атмосферных и поверхностных водах, а органические остатки, в после пожарный период продолжают разлагаться с выделением разнообразных окисленных форм углерода и конечного продукта разложения – углекислого газа.

Установлено, что с лесных территорий, подвергшихся воздействию пожаров, изменяется химический сток. Но какие процессы благоприятствуют увеличению миграционной способности химических элементов в водах, каким образом формируются геохимические условия для увеличения миграции, несмотря на значительное количество проведенных исследований, остается не выясненным.

Все еще остаются неосвещенными вопросы образования на пожарных местах тонкой пыли, которая, как показали исследования последних лет, является одним из наиболее действенных факторов негативного воздействия на биоту. Как долго с пожарных мест выделяется мелкая пыль, каков ее химический состав,

происходит ли изменения в размерности частиц и в ее химическом составе со временем пока не ясно.

Для ответа на поставленные вопросы нами были запланированы и проведены исследования в одном из наиболее подверженных воздействию лесных пожаров районов Республики Бурятия. Для решения поставленных задач нами был выбран метод мониторинговых наблюдений за состоянием снежного покрова и поверхностных вод территорий, пострадавших от крупных лесных пожаров в разное время. Проведенные наблюдения позволяют с разных позиций оценить экологическое воздействие пожаров в многолетнем аспекте.

Анализ статистических данных показал, что начало пожароопасного сезона и его характер в весенние месяцы в значительной степени определяется метеорологическими условиями предшествующего зимнего периода, в особенности количеством атмосферных осадков. Территориально участки лесного массива с наибольшей плотностью возгораний концентрируются вблизи населенных пунктов и объектов хозяйственной деятельности.

ГЛАВА 2

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОЛОГИИ И МЕТОДОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения информации о геохимических процессах, протекающих на лесных пожарищах, нами выбрана методология мониторинга за состоянием снежного покрова, гидрологических характеристик и химического состава поверхностных вод на лесных территориях, подвергшихся возгораниям в различные годы.

Методология мониторинга предполагала также изучение сезонных особенностей распределения лесных пожаров на территории района, анализ гидрометеорологической информации, проведение экспериментальных исследований на ключевых участках, обработку статистических данных о количестве лесных пожаров и распределении их по кварталам лесничеств.

Информация о количестве атмосферных осадков и распределении их по месяцам была взята из наблюдений, проводимых на метеостанции в п. Новая Курба, расположенном в 25 км к северо-востоку от п. Заиграево. Гидрологическая характеристика водного потока реки Брянка была составлена на основании данных полученных на гидрологическом посту службы Росгидромет в п. Заиграево.

Полевые исследования включали в себя периодический отбор образцов снежного покрова территорий в разной степени пострадавших от лесных пожаров, отбор проб воды и измерение характеристик русла рек на временных постах наблюдения. Координаты точек наблюдения фиксировались с помощью многофункционального навигатора Garmin GPSMAP 78s и автомобильного навигатора Prology iMap 520Ti. Картографический материал обрабатывался с помощью программ Ozi Explorer 3.95, QGis 2.14.3 и Adobe Photoshop CS3 10.0.

Пробоподготовка образцов снежного покрова и природных вод проводилась в лабораторных условиях, где снег таялся при комнатной температуре, вода фильтровалась, твердое вещество высушивалось, осадки

взвешивались. Полученные образцы воды и взвесей передавались в специализированные аттестованные лаборатории для проведения различных видов анализов.

Методика исследования снежного покрова

В настоящее время все чаще в качестве индикатора загрязнения атмосферы исследователи используют снежный покров. Снежный покров, обладая высокой сорбционной способностью, является интегральным показателем для выявления различных форм загрязнения. Химический состав фильтрата талого снега формируется в результате поступления с осадками различных химических элементов, поглощения снежным покровом газов, водорастворимых аэрозолей и взаимодействия со снежным покровом твердых частиц, оседающих из атмосферы. При этом, если количество выпадающего со снегом твердого осадка характеризует запыленность территории, то фильтрат талого снега отражает степень загрязнения воздушного бассейна наиболее растворимыми формами элементов [Белозерцева, 1999].

Геохимические аномалии в снежном покрове, по существу, отражают эколого-геохимическое состояние атмосферы, суммируя воздействие природных, природно-техногенных и техногенных факторов, влияющих на динамику геохимической экологической функции литосферы во времени [Трофимов и др., 2006]. Снежный покров отражает контуры аэрогенного загрязнения за период своего существования и позволяет судить о динамике происходящих процессов. Характеристики аномалий в таких депонирующих средах, как снежный покров, могут служить косвенным показателем загрязнения воздушного бассейна и прямо свидетельствуют об интенсивности геохимического преобразования приповерхностной части литосферы.

В России возможность использования снежного покрова в качестве объекта атмогеохимического мониторинга доказана экспериментальными исследованиями, проводимыми на различных природных и техногенных

ландшафтах. Методики отбора проб, пробоподготовки и анализа снега подробно описаны [Василенко и др., 1995; Назаров и др., 1978; Методические указания..., 1990].

С 1980 г. на базе снегомерной съемки Госкомгидромета в подсистеме Общегосударственной службы наблюдений и контроля состояния окружающей среды (ОГСНК) начал действовать мониторинг загрязнения снежного покрова [Василенко и др., 1985]. Основной задачей сети наблюдений за загрязнением снежного покрова стал отбор проб снега для последующего определения концентраций загрязняющих веществ, получения количественных оценок объема выпадения и переноса веществ на территории СССР, а затем и Российской Федерации (включая трансграничный перенос). Были получены данные о масштабах и элементном составе пылевой составляющей снега на территории СССР [Василенко и др., 1985; Глазовский и др., 1983; Ковда и др., 1980]. В настоящее время в составе большинства региональных Центров по мониторингу загрязнения окружающей среды (ЦМС) Росгидромета действуют подсистемы мониторинга снежного покрова, кроме того, данные о состоянии снежного покрова предоставляет стационарная сеть мониторинга атмосферных осадков и фоновые станции биосферных заповедников [Зарина, Гильдин, 2011].

Отдельные научные работы по мониторингу загрязнения, в том числе техногенными источниками, методами снеговой съемки проводятся в разных регионах России [Андрианов и др., 2012; Андрухова и др., 2012; Белозерцева, 1999; Васильчук и др., 2015; Летенкова и др., 2014; Негробов и др., 2005; Пристова, Василевич, 2009; Сорокина и др., 2014; Чиждова и др., 2015; Шумилова и др., 2012]. На территории Западной Сибири группа сотрудников Национального исследовательского Томского политехнического института многие годы с помощью снеговой съемки проводит эколого-геохимические исследования воздействия выбросов крупных промышленных объектов [Таловская и др., 2006, 2008, 2011, 2013, 2014; Язиков и др., 2011, 2013, 2014; Литав и др., 2015; Рапута и др., 2011].

Загрязняющие вещества до начала весеннего миграционного цикла остаются законсервированными в снежном покрове, поэтому химический анализ снега позволяет предсказать состав будущих мигрантов в различных частях природных ландшафтов. В рамках нашей работы исследование снежного покрова позволило оценить влияние последствий лесных пожаров на миграцию различных химических веществ в воде. Во время крупных лесных пожаров в виде дымовых частиц в атмосферу попадает от 0,2 до 1 т аэрозольного вещества с 1 га сгоревшего леса [Самсонов и др., 2010]. Кроме того, пирогенно поврежденные участки в течение нескольких лет после прохождения пожаров под действием ветрового переноса также могут поставлять в атмосферу аэрозольные частицы. Для выяснения долгосрочного влияния последствий лесных пожаров на экологическое загрязнение территории нами и был проведен атмогеохимический мониторинг.

Для изучения состояния снежного покрова после лесных пожаров нами были выбраны несколько участков в Заиграевском районе, который в последние годы подвергся интенсивному пирогенному воздействию. В 2013, 2014 и 2015 годах нами проводился отбор образцов снега и измерение характеристик снежного покрова. Схема опробования была разработана с учетом данных о статистике лесных пожаров и включала в себя 15 точек, разделенных на 3 группы (рис. 2.1). Первая группа образцов отбиралась с участков, пострадавших в результате крупных лесных пожаров летом 2010 года (рис. 2.2), вторая группа – с участков, пройденных пожарами летом 2011 года (рис. 2.3), третья группа – с участков долгое время не подвергавшихся влиянию лесных пожаров, но находящихся в зоне атмосферного переноса аэрозольных частиц с пожарных (рис. 2.4).

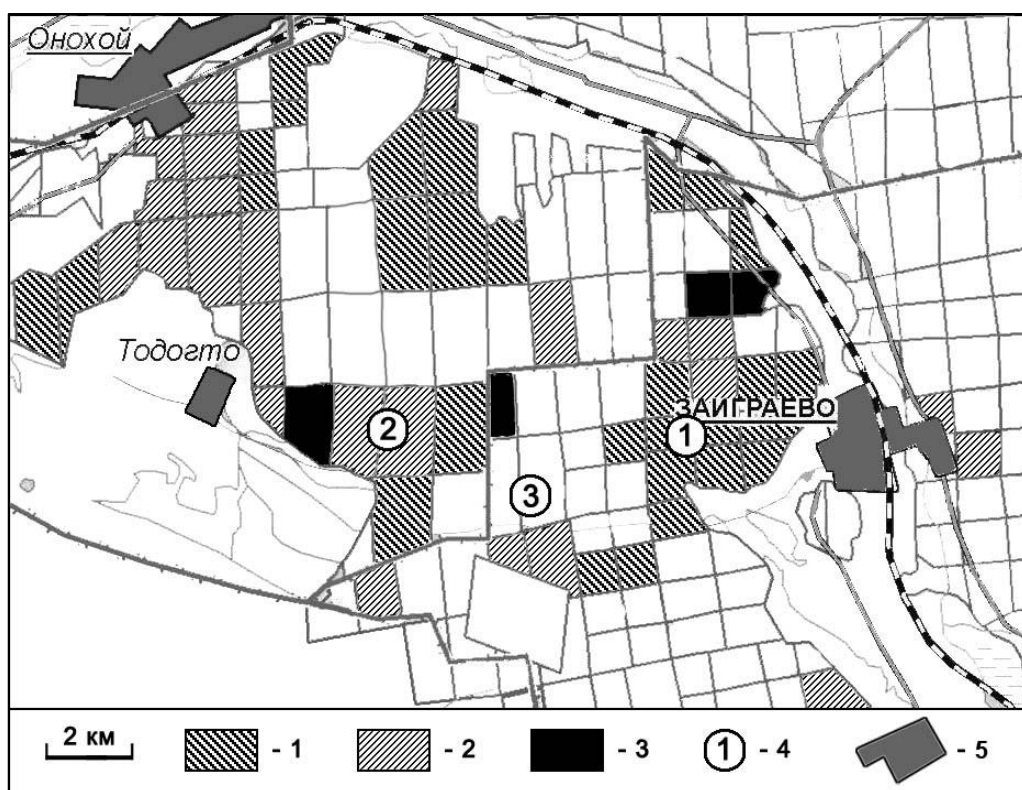


Рисунок 2.1. Расположение участков отбора образцов снега в Заиграевском районе республики Бурятия. Примечание: 1-3 лесные кварталы, затронутые пожарами (1- в 2010 г, 2 - в 2011 г, 3 - в 2012 г), 4 – места отбора проб.

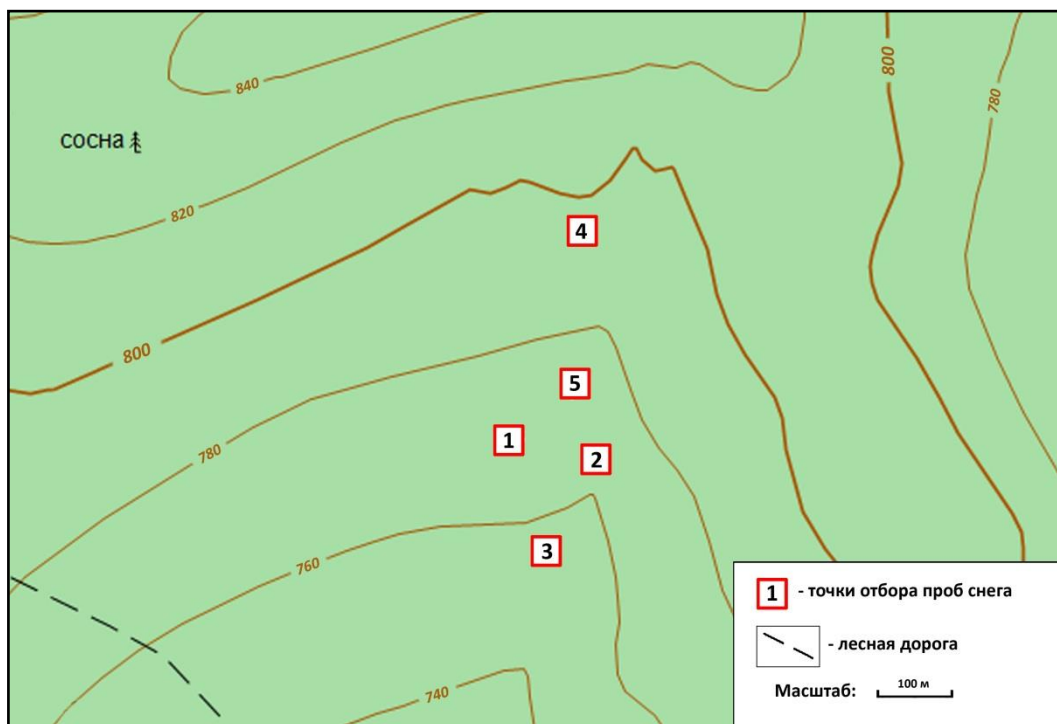


Рисунок 2.2. Схема опробования участка 1 на рисунке 2.1. Заиграевское лесничество, кварталы № 25 и № 17.

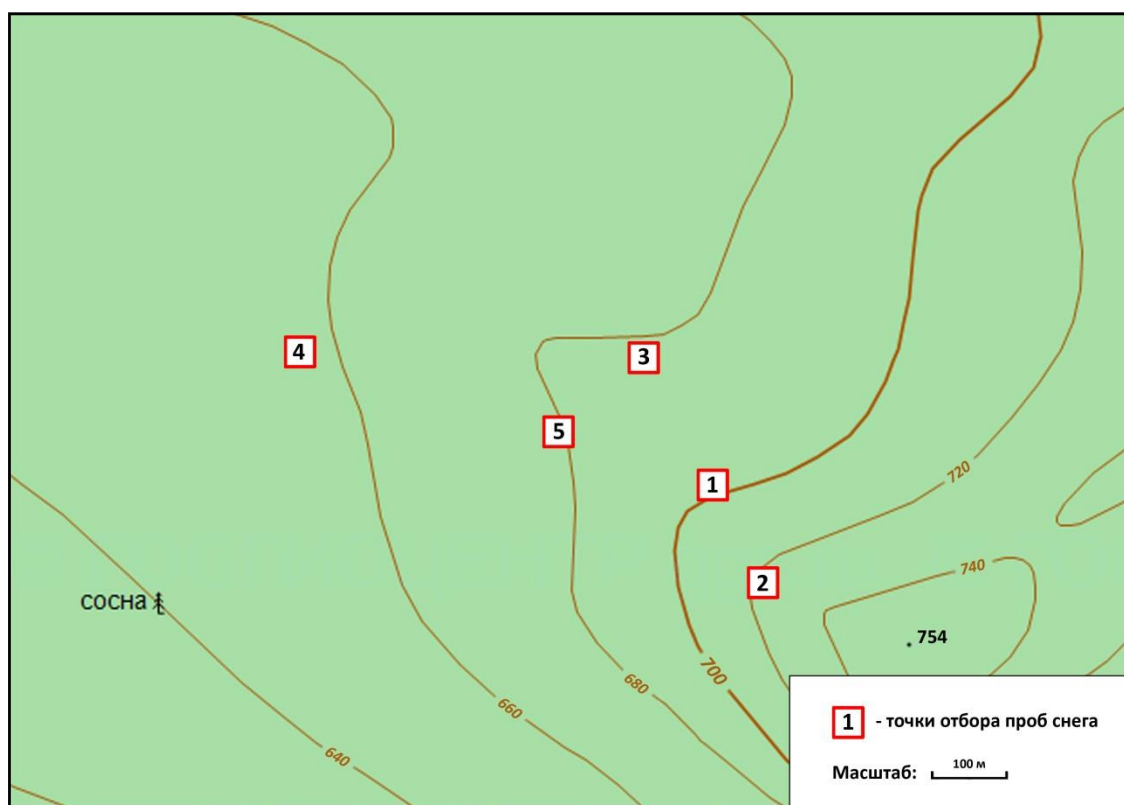


Рисунок 2.3. Схема опробования участка 2 на рисунке 2.1. Заиграевское лесничество, квартал № 60.

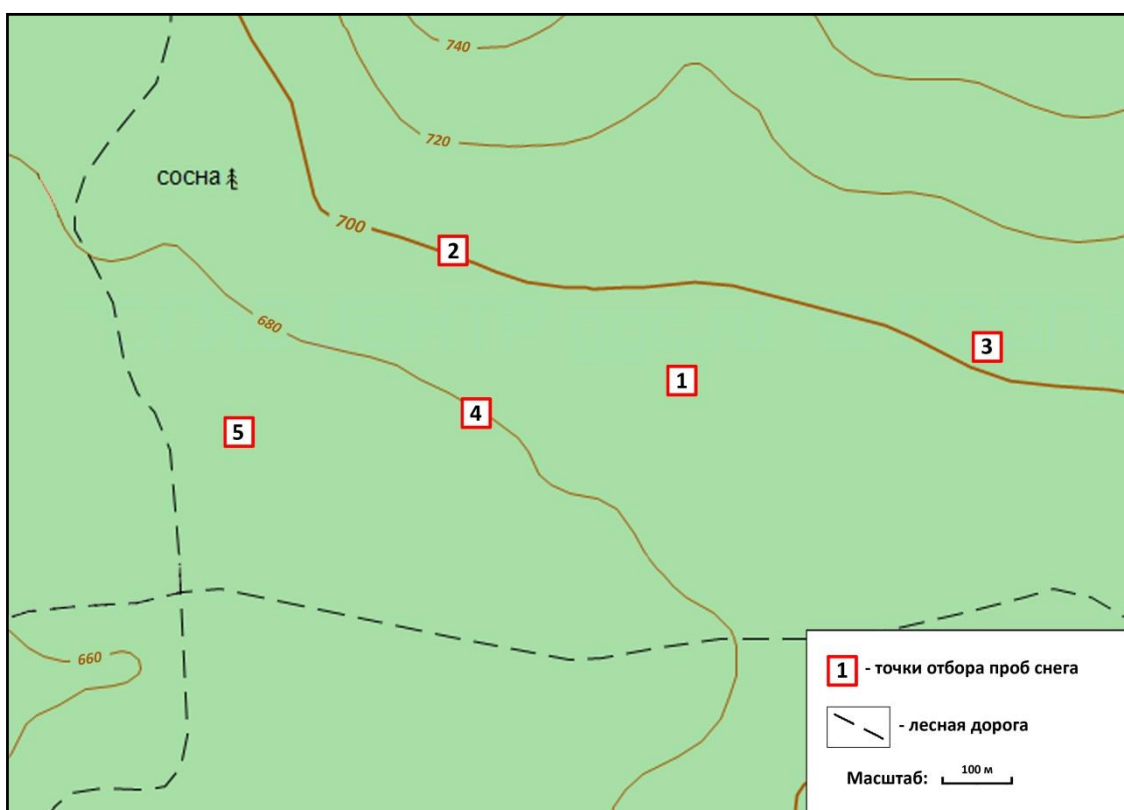


Рисунок 2.4. Схема опробования участка 3 на рисунке 2.1. Заиграевское лесничество, квартал № 22.

Точки отбора на каждом участке выбирались по возможности с различными природными условиями, для того чтобы комплексно изучить состояние снежного покрова. Опробовались как ровные места, так и склоны; сильно залесенные (в том числе с наличием обгоревшего древостоя) и открытые участки; участки вблизи поваленных деревьев и с наличием древесного мусора (в том числе обгоревшего) – коры, веток хвой.

Отбор проб производился в конце периода снегонакопления (начало марта), что позволило получить данные о количестве загрязнения за весь зимний период от образования устойчивого снежного покрова до начала снеготаяния. Участок для сбора снега выделялся картонной рамкой, выполненной в форме квадрата со сторонами длиной 0,5 м (рис. 2.5) . Площадь, с которой производился отбор составляла 0,25 м². В каждой точке измерялась толщина снежного покрова, вычислялся объем отобранного снега. Измерения показали, что плотность снега на всех участках варьировала незначительно и составляла около 0,12-0,13 г/см³. С указанной площади снег отбирался на всю его мощность, за исключением непосредственно соприкасающегося с почвой слоя. Считается, что при отборе снега на всю мощность результаты наиболее представительны, поскольку исключают вариации (флуктуации направления ветра, различную повторяемость и интенсивность атмосферных осадков) и дают средневзвешенную величину загрязнения, усредненную естественным путем за продолжительный период времени [Таловская, 2014].



Рисунок 2.5. Участок отбора пробы снега.

Пробы снега собирали в полиэтиленовые пакеты, снег транспортировали и растаивали в этих же пакетах при комнатной температуре. Исследования, проводимые специалистами Института прикладной механики УрО РАН, показали, что проведение пробоподготовки снега при комнатной температуре для анализа талых вод с целью определения содержания загрязняющих элементов, позволяет получить вполне достоверные данные [Шумилова, 2012]. При этом изменение температурного режима таяния проб не приводит к значительному изменению концентраций макрохимических компонентов.

Обработка проб для определения комплекса загрязняющих веществ осуществлялась в два этапа. Сначала нерастворимые частицы отделялись от талой воды методом декантации или отмучивания [Воскресенский, 1969]. Отстаивание происходило в течение 2-х суток, после чего вода сливалась с отстоявшегося осадка. Частицы, выпавшие на дно, высушивались и подготавливались для изучения их морфологии и исследования методом энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии (EDX-элементного анализа). Затем часть оставшейся воды фильтровалась через мембранные фильтры с диаметром пор 0,45 мкм. Фильтрат использовался для определения основных растворимых химических макро- и микрокомпонентов талой воды.

Морфология и химический состав аэрозольных частиц, выпавших после отстаивания талой воды, изучались с применением методов электронной микроскопии и EDX-элементного анализа. Снимки и EDX-спектры были сделаны с помощью электронного микроскопа JEM-2010 с системой микроанализа EDAX PHOENIX в отделе физико-химических методов исследования Института катализа им. Г.К. Борескова СО РАН.

Макрокомпонентный состав талой воды определялся по общепринятым методикам определения массовых концентраций ионов в природных и сточных водах, включенным в реестр ПНДФ в аттестованной лаборатории. Микроэлементный состав был изучен методом многокомпонентного ИСП-МС анализа на приборе Element XR (Finnigan MAT), который проводился в лаборатории физических методов анализа Геологического института СО РАН.

Наблюдение за состоянием поверхностных водных объектов

После прохождения крупных лесных пожаров в химическом составе воды рек, дренирующих пострадавшие территории, происходят заметные изменения. Исследователи отмечают, что наиболее значительный вынос загрязняющих веществ с гарей наблюдается в первый послепожарный год

[Шестеркин, 2014]. Сгоревшие лесные участки в бассейнах рек поставляют различные химические вещества в водотоки и на протяжении нескольких последующих лет. Гидрохимический мониторинг рек, дренирующих гари, позволяет изучить характер влияния неблагоприятных в лесопожарном отношении сезонов на качество воды.

С 2013 года нами на временных постах наблюдения проводится периодический отбор проб воды рек Заиграевского района. Точки наблюдения распределены таким образом, чтобы максимизировать вероятность обнаружения влияния стока с пирогенно поврежденных территорий на гидрохимический режим рек. Участки лесного массива, наиболее часто подверженные возгораниям, принадлежат водосборам рек Брянка, Челутай и Илька. Данная гидросистема является частью бассейна реки Селенга – крупнейшего притока озера Байкал. Также необходимо отметить, что непосредственно ниже места впадения р. Брянка в р. Уда расположен г. Улан-Удэ, и любые изменения в гидрохимическом режиме этих рек могут сказаться на качестве городского водопользования. Вблизи постов наблюдения расположены несколько населенных пунктов: Заиграево, Челутай, Илька, Новоильинск, Новая Брянь, Татарский ключ (рис. 2.6).

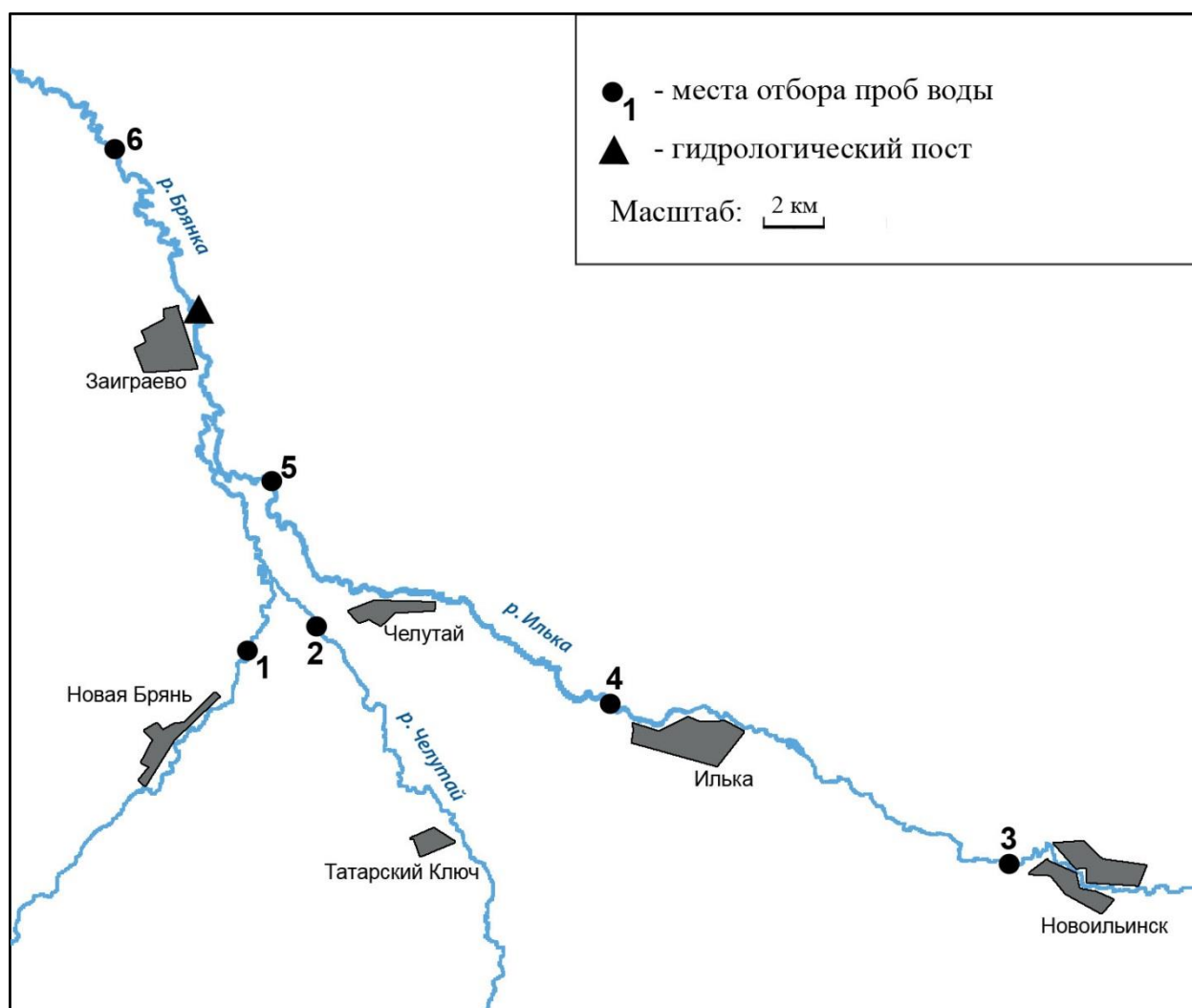


Рисунок 2.6. Временные посты наблюдения в водосборном бассейне р. Брянка.

В выбранных пунктах 2 раза в год, весной и осенью, производился отбор проб воды и измерение характеристик русла рек (рис. 2.7, 2.8). Пробы воды отбирались с поверхности и подготавливались для анализа химического состава. Макрокомпонентный состав воды определялся по общепринятым методикам определения массовых концентраций ионов в природных и сточных водах, включенным в реестр ПНДФ, специалистами лаборатории Гидрогеологии и геоэкологии ГИН СО РАН. Данные о микроэлементном составе были получены методом многокомпонентного ИСП МС анализа с помощью прибора Element XR (Finnigan MAT) в лаборатории физических методов анализа Геологического института СО РАН.



Рисунок 2.7. Отбор проб воды р. Брянка, осень 2014 г.

Для каждого пункта был построен профиль водного сечения и измерены основные морфометрические характеристики русла. Построение поперечного профиля и вычисление площади водного сечения производились с учетом общепринятых методик гидрологических исследований [Лучшева, 1983; Железняков, 1984]. Измерение средней скорости течения воды производилось поплавковым методом, либо с помощью гидрометрической микровертушки ГР-100 и преобразователя скорости Поток-МКР. Вычисление показателей среднего расхода воды позволило зафиксировать зависимость от напряженности лесопожарных сезонов.



Рисунок 2.8. Измерение характеристик русла р. Челутай, осень 2013 г.

Массивы данных, полученные в результате 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.

ГЛАВА 3

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ СНЕЖНОГО ПОКРОВА И ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД РАЙОНОВ ЛЕСНЫХ ПОЖАРИЩ

3.1. Загрязнение снежного покрова в районе лесных пожарищ

В результате одновременного протекания различных процессов после пожарного изменения окружающей среды происходит загрязнение всех сред на этой территории. Количественно оценить вклад отдельно взятого процесса, как правило, затруднительно. Например, сложно зафиксировать количество химических элементов мигрирующих из сгоревшего участка под действием ветра с золой, или измерить эффект дождевого вымывания различных веществ из обугленных остатков древесины. Для оценки комплексного влияния последствий пожара на возгоравшуюся и прилегающую к ней территорию за фиксированный период времени хорошим индикатором может выступить снежный покров.

Снежный покров формируется в результате выпадения твердых атмосферных осадков, инея, изморози, метельного переноса снега, испарения. Поступление веществ в снежный покров осуществляется за счет атмосферных осадков и сухого осаждения аэрозолей, которое осуществляется постоянно. Влияние почвы на формирование химического состава снега характеризуется двумя процессами: механическим смешением почвенной пыли, поднимаемой ветром, со снежинками при первоначальном образовании снежного покрова, и выносом из почвы легких частиц при ее промерзании и их внедрение в снег выделяющимися газами. Лесная подстилка, в том числе пирогенно поврежденная, передает в снежный покров терригенную пыль механически. При таянии снега мелкие остатки растительности могут явиться источником растворимых веществ [Новороцкая, 2002]. Проходя сквозь полог древостоя, снег претерпевает изменения за счет захвата снежинками веществ, накопленных на поверхности хвои, сучьев и стволов деревьев в процессе их жизнедеятельности [Пристова, Василевич, 2010]. Метелевый перенос перемещает растворимые

вещества вместе с массой снега из одного места в другое. Испарение снега способствует концентрированию растворенных веществ [Новороцкая, 2002].

А.В. Иванов представил математически качественную картину процессов формирования химического состава снежного покрова в самом общем виде:

$$Q(\tau) = Q_0 + k_a \left[\sum_i \int_{\tau_0}^{\tau} q_i(\tau) d\tau - \sum_j \int_{\tau_0}^{\tau} q_j(\tau) d\tau \right] \quad (3.1),$$

где $Q(\tau)$ – временная изменчивость количества растворимых веществ в снежном покрове, Q_0 – количество веществ, осаждающееся при наледообразовании, k_a – коэффициент, характеризующий концентрирование растворенных веществ в атмосферных осадках за счет испарения, $q_i(\tau)$ – скорость поступления растворимых веществ в снежный покров за счет i -го процесса, τ – время, $q_j(\tau)$ – скорость удаления растворимых веществ из снежного покрова за счет j -го процесса. Промежуток времени от τ_0 до τ соответствует периоду от начала формирования сезонного снежного покрова до начала таяния, поэтому для него $\tau_0=0$ и $Q_0=0$. Для различных ландшафтных условий имеются модификации этой формулы [Иванов, 1987]. Выделение составляющих уравнения возможно путем наблюдения за химическим составом снежного покрова на участках, испытывающих влияние тех или иных источников аэрозолей. Скорости поступления растворимых веществ за счет вышеуказанных процессов зависят от многих факторов, роль которых не всегда в достаточной мере вскрыта. Для решения этой проблемы необходим мониторинг природной среды [Израэль, 1984].

Снежный покров, обладая свойством интегрального накопления загрязняющих веществ, является достаточно информативным показателем поступления различных веществ в экосистемы из атмосферы. Биологические и физико-химические процессы практически не оказывают воздействия на состав снега из-за пониженной температуры в течение всего периода накопления, невысоких концентраций компонентов и малого содержания воды в снеге [Иванов, 1977]. Непосредственное влияние почвенного покрова на химический состав снега можно исключить, отбрасывая соприкасающийся с почвой слой.

Таким образом, отбирая пробы снега можно получить данные о количестве загрязнения, поступающего с пожарища через газовую фазу включая потоки тонкой взвеси, аэрозоля из почвенной атмосферы и выпадений на подстилающую поверхность при разрушении пострадавшей в период возгорания растительности за период от образования устойчивого снежного покрова до начала снеготаяния.

Принимая во внимание опыт исследований последствий лесных пожаров, проводимых ранее в Сибири и на Дальнем Востоке, начиная с 2013 года, в конце каждого зимнего периода мы отбирали образцы снежного покрова на территориях, в разное время пострадавших от крупных лесных пожаров. Методика опробования подробно описана в соответствующей главе.

В талой воде определялся 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 рН, жесткости, общей минерализации и окисляемости воды по перманганату калия (таблица 3.1).

Минерализация снега в среднем составляла 31,11 мг/дм³, максимальные значения 50,8 мг/дм³, минимальные 17,94 мг/дм³. Под воздействием пожарищ снежный покров приобретает слабо кислую реакцию, причем кислая реакция в снежном покрове устанавливается не только на самом пожарище, но и на окружающих территориях, в том числе и на выбранном нами не горевшем участке, который располагался от пожарища на расстоянии 1-2 км. Со временем рН снега на всей территории, подвергшейся воздействию пожара, возрастает, но в течение всего периода наблюдений (3 года) остается слабо кислой. Непосредственно на пожарищах в регулировании рН участвует зола, содержащая в своем составе щелочные и щелочноземельные элементы, которые нейтрализуют образующиеся кислоты. Здесь мы не наблюдали в снеге сильно кислой реакции среды. Наиболее интенсивная динамика возрастания рН во времени характерна для участков леса не подвергавшихся возгораниям. Это

происходит потому, что сюда уже не приносятся газы, образующиеся на пожарищах.

Полученные результаты наблюдения 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. Органические кислоты также участвуют в формировании на пожарищах кислой среды.

Возрастание на пожарищах содержания органических веществ в снежном покрове указывает на изменение естественных схем биологического разложения органических остатков, что приводит к образованию в больших количествах низкомолекулярных органических летучих соединений.

Основная гипотеза относительно динамики содержания макрокомпонентов в снежном покрове состояла в том, что их концентрации зависят от времени, прошедшего с момента прохождения пожара на этой территории. Другими словами, степень влияния последствий пожара на содержание загрязняющих веществ в снеге определяется его давностью. Для проверки данной гипотезы мы применили к полученным данным о концентрациях макрокомпонентов статистический метод однофакторного дисперсионного анализа. Каждой группе образцов было присвоено значение категориального фактора «возраст пожарища» от 1 до 4, соответствующее количеству лет, прошедших с момента пожара до момента отбора проб. Участкам, долгое время не подвергавшимся возгораниям, было присвоено значение 0. В качестве зависимых переменных были выбраны 12 показателей, в их числе концентрации ионов $\text{Na}^+ + \text{K}^+$, Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , NO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- , F^- , pH, жесткость, окисляемость воды по перманганату калия и общая минерализация.

Таблица 3.1. Макрокомпонентный состав образцов снега.

Участок отбора проб снега	Содержание главных ионов, мг/дм ³								pH	Жесткость, °Ж	Окисл. перм. мгО/дм ³	Общая минерализация, мг/дм ³
	Na ⁺ + K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻				
Зима 2012-2013 гг.												
Не горевший	$\frac{6,6-2,9}{4,56}$	$\frac{2,004-2,004}{2,004}$	$\frac{0,61-0}{0,244}$	$\frac{9,15-6,1}{7,93}$	$\frac{2,29-0,96}{1,658}$	$\frac{2,96-1}{1,912}$	$\frac{4,61-3,55}{3,832}$	$\frac{0,6-0,13}{0,26}$	$\frac{5,8-5,39}{5,542}$	$\frac{0,15-0,1}{0,12}$	$\frac{3,83-0,94}{2,342}$	$\frac{28,36-17,94}{22,96}$
Пожар 2010г.	$\frac{6,11-3,9}{4,782}$	$\frac{4,008-2,004}{3,006}$	$\frac{0,61-0}{0,488}$	$\frac{15,25-9,15}{12,81}$	$\frac{2,55-1,39}{1,844}$	$\frac{4,6-1}{2,368}$	$\frac{3,9-3,19}{3,548}$	$\frac{0,22-0,14}{0,17}$	$\frac{6,08-5,08}{5,636}$	$\frac{0,25-0,15}{0,19}$	$\frac{8,98-1,25}{3,42}$	$\frac{35,28-23,21}{29,62}$
Пожар 2011г.	$\frac{8,82-3,05}{5,136}$	$\frac{5,01-2,004}{3,6072}$	$\frac{1,22-0,61}{0,854}$	$\frac{30,51-12,2}{19,526}$	$\frac{2-0,46}{1,24}$	$\frac{2,96-0,64}{1,584}$	$\frac{3,55-2,84}{3,264}$	$\frac{0,19-0,13}{0,158}$	$\frac{6,14-5,74}{5,928}$	$\frac{0,3-0,2}{0,25}$	$\frac{48,02-2,03}{15,74}$	$\frac{50,80-29,28}{37,66}$
Зима 2013-2014 гг.												
Не горевший	$\frac{5,64-4,15}{5,056}$	$\frac{4,01-3,01}{3,41}$	$\frac{1,22-0}{0,366}$	$\frac{18,31-9,15}{14,032}$	$\frac{2,46-1,65}{2,114}$	-	$\frac{5,32-4,96}{5,032}$	$\frac{0,29-0,24}{0,262}$	$\frac{6,43-5,98}{6,17}$	$\frac{0,25-0,15}{0,2}$	$\frac{2,01-1,22}{1,632}$	$\frac{36,55-24,68}{30,84}$
Пожар 2010г.	$\frac{5,27-3,14}{4,424}$	$\frac{4,01-2}{3,008}$	$\frac{1,82-0}{0,486}$	$\frac{18,31-9,15}{12,202}$	$\frac{1,62-1,16}{1,432}$	-	$\frac{5,32-4,96}{5,248}$	$\frac{0,24-0,2}{0,216}$	$\frac{6,58-5,62}{5,892}$	$\frac{0,35-0,15}{0,19}$	$\frac{1,92-0,82}{1,24}$	$\frac{35,15-23,51}{27,42}$
Пожар 2011г.	$\frac{6,07-2,44}{4,96}$	$\frac{4,01-2}{3,008}$	$\frac{1,22-0}{0,488}$	$\frac{18,31-9,15}{13,422}$	$\frac{2,2-0,17}{1,326}$	-	$\frac{5,32-5,32}{5,32}$	$\frac{0,39-0,2}{0,27}$	$\frac{6,42-5,82}{6,126}$	$\frac{0,25-0,1}{0,19}$	$\frac{1,13-0,66}{0,894}$	$\frac{37,09-24,01}{29,34}$
Зима 2014-2015 гг.												
Не горевший	$\frac{5,92-2,28}{4,88}$	$\frac{6,01-1,00}{2,61}$	$\frac{3,65-1,22}{2,68}$	$\frac{21,36-12,20}{18,31}$	$\frac{2,2-0,17}{1,326}$	$\frac{3,28-1}{1,9}$	$\frac{6,74-6,03}{6,38}$	$\frac{0,20-0,16}{0,17}$	$\frac{6,90-6,13}{6,58}$	$\frac{0,40-0,30}{0,35}$	$\frac{1,96-1,27}{1,61}$	$\frac{45,97-29,84}{39,93}$
Пожар 2010г.	$\frac{8,05-5,48}{6,65}$	$\frac{3,01-1,00}{2,00}$	$\frac{0,61-0,00}{0,49}$	$\frac{15,25-9,15}{10,37}$	$\frac{2,2-0,17}{1,326}$	$\frac{2,96-0,32}{1,51}$	$\frac{6,74-6,03}{6,45}$	$\frac{0,14-0,12}{0,13}$	$\frac{6,40-5,80}{6,08}$	$\frac{0,20-0,10}{0,14}$	$\frac{1,95-1,14}{1,40}$	$\frac{38,60-26,36}{30,64}$
Пожар 2011г.	$\frac{7,15-4,62}{6,45}$	$\frac{4,01-2,00}{2,61}$	$\frac{0,61-0,00}{0,38}$	$\frac{18,31-6,10}{10,98}$	$\frac{2,2-0,17}{1,326}$	$\frac{3,96-1,64}{2,3}$	$\frac{6,38-5,67}{6,24}$	$\frac{0,27-0,14}{0,17}$	$\frac{6,90-5,59}{6,12}$	$\frac{0,25-0,10}{0,16}$	$\frac{2,80-1,03}{1,66}$	$\frac{40,84-23,41}{31,59}$

Примечание: в числителе максимум-минимум, в знаменателе – среднее по 5 пробам. Прочерк – компонент не определялся.

Основным критерием, определяющим зависимость концентрации элементов от давности пожара, является полученная вероятность нулевой гипотезы $p \approx 0,035$. Это значение говорит о том, что нулевую гипотезу можно отклонить и с вероятностью более 96% утверждать о влиянии «возраста пожарища» на изменение концентрации макрокомпонентов химического состава снежного покрова. Наиболее сильно это влияние проявляется на концентрациях ионов Ca^{2+} , HCO_3^- и на показателях общей минерализации и жесткости. Для большинства компонентов макросостава характерно резкое повышение концентрации в 1-й год после пожара и снижение до уровня несгоревших участков в последующие годы (рис. 3.1).

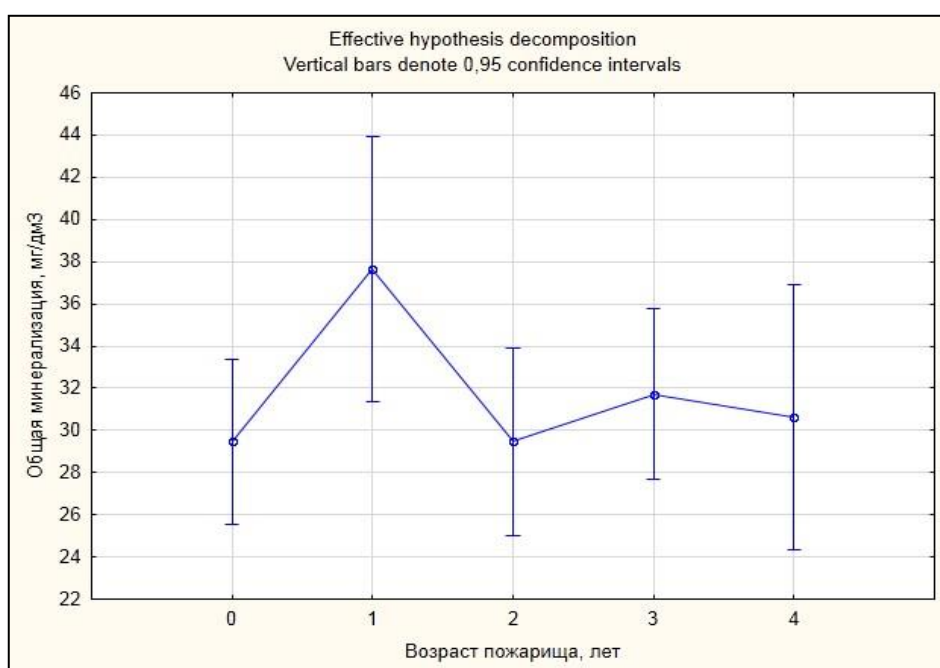


Рисунок 3.1. График изменения общей минерализации талой воды снежного покрова под влиянием фактора «Возраст пожарища», результат однофакторного дисперсионного анализа в Statistica 10.

Талые снеговые воды пожарищ и окружающих территорий по своему химическому составу гидрокарбонатные натриево-кальциевые и кальциево-натриевые. 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. 3.2).

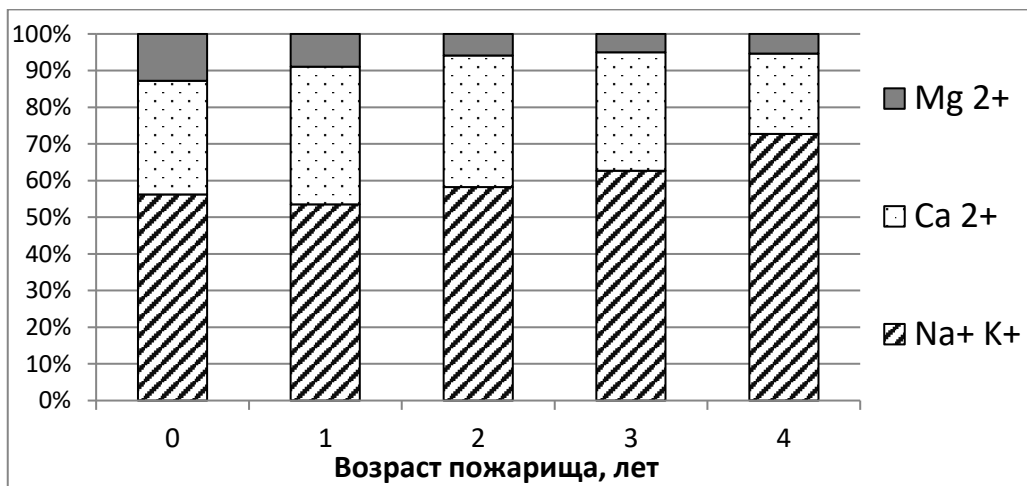


Рисунок 3.2. Соотношение главных катионов в снеге в зависимости от «возраста пожарища» (0 – не горевшие участки).

Что касается концентрации анионов в составе талых снеговых вод в отношении к их общему количеству, то в первый год после пожара наблюдается увеличение гидрокарбонат-иона, а затем постепенное возвращение к соотношению, наблюдаемому на негоревших участках (рис. 3.3). Объясняется это влиянием интенсификации разложения органического вещества, включая остатки деревьев, травянистой растительности, почв с образованием окислов, гидроокислов углерода.

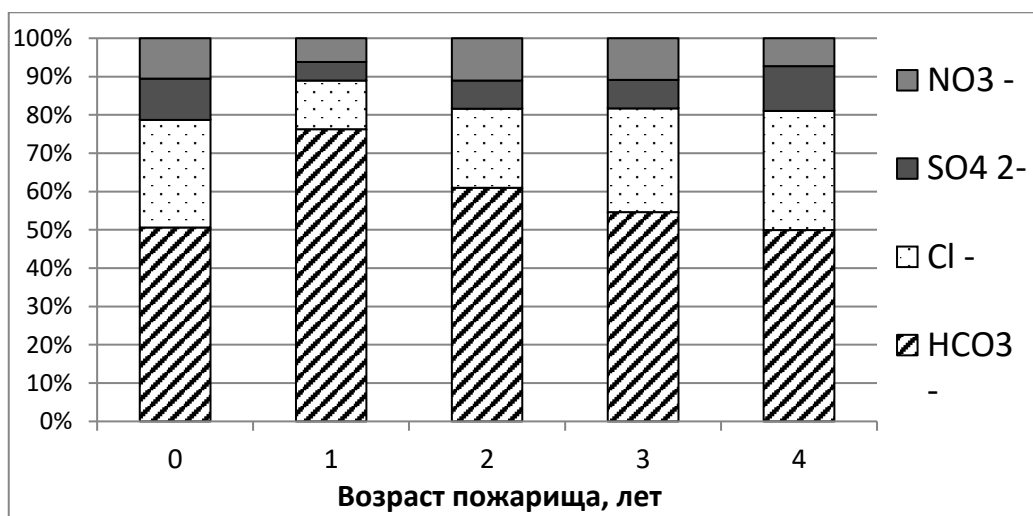


Рисунок 3.3. Соотношение главных анионов в снеге в зависимости от «возраста пожарища» (0 – не горевшие участки).

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 общая минерализация снежного покрова на них оставалась повышенной в течение трех лет наблюдений. Это, вероятно, связано с переносом ветром образующихся на пожарищах газов, аэрозолей, частиц пыли. В нашем случае на эти участки оказывали влияние сгоревшие территории, расположенные в северо-западном направлении.

Результаты ИСП-МС анализа талых вод содержали данные о концентрациях 54 химических элементов (рис. 3.4).

		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII					
I	1	(H)						H	He					
II	2	Li	Be	B	C	N	O	F	Ne					
III	3	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	Ar					
IV	4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni			
	5	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr					
V	6	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd			
	7	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe					
VI	8	Cs	Ba	La*	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt			
	9	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn					
VII	10	Fr	Ra	Ac**	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt				
*	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
**	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

Рисунок 3.4. Элементы, концентрации которых получены с помощью ИСП-МС анализа.

Среди определяемых элементов представлены практически все тяжелые металлы и редкоземельные элементы (таблица 3.2, 3.3).

Для определения степени влияния пожаров на концентрирование микроэлементов в атмосферных водах мы сравнили, установленные в снеге

(талой воде) концентрации, с содержаниями их в воде оз. Байкал. Байкальская вода имеет минерализацию в среднем 90 мг/дм^3 , что примерно в три раза выше установленной нами минерализацией в снеге. Известно, что концентрация микроэлементов зависит от общей минерализации природных вод, но различиями в минерализации можно пренебречь, так как одной из целей данной работы являлось определение влияния пожарищ на экологическое состояние озера Байкал, который является конечным водосборным бассейном для рассматриваемой территории.

Результаты, представленные в таблицах 3.2 и 3.3, показывают, что снег, собранный на территории пожарищ, содержит в своем составе микроэлементы в значительной мере превышающие концентрации, установленные в озере Байкал.

Из тяжелых металлов в наиболее высокой концентрации обнаружены цинк, марганец, железо, кадмий, никель, ванадий. В значительной мере превышают содержания, установленные в озере Байкал все редкоземельные элементы.

Таблица 3.2. Концентрации тяжелых металлов в образцах снега, мкг/дм³.

Участок отбора проб, количество проб	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Mo	Cd	Sn	Pb
Зима 2012-2013 гг.												
Не горевший, 5	$\frac{1,99 - 0,92}{1,57}$	$\frac{1,24 - 0,10}{0,38}$	$\frac{21,23 - 11,93}{14,85}$	$\frac{11,57 - 4,62}{7,98}$	$\frac{0,26 - 0,13}{0,19}$	$\frac{1,51 - 0,47}{0,78}$	$\frac{0,95 - 0,63}{0,79}$	$\frac{8,39 - 4,23}{5,72}$	$\frac{0,53 - 0,32}{0,45}$	$\frac{0,07 - 0,05}{0,06}$	$\frac{0,05 - 0,01}{0,03}$	$\frac{0,29 - 0,10}{0,17}$
Пожар 2010г., 5	$\frac{4,08 - 1,19}{2,67}$	$\frac{0,27 - 0,15}{0,22}$	$\frac{60,61 - 19,53}{32,61}$	$\frac{26,12 - 3,34}{10,52}$	$\frac{0,32 - 0,12}{0,21}$	$\frac{1,68 - 0,43}{0,86}$	$\frac{1,70 - 0,84}{1,37}$	$\frac{8,68 - 2,81}{5,08}$	$\frac{0,84 - 0,31}{0,62}$	$\frac{0,12 - 0,06}{0,08}$	$\frac{0,37 - 0,01}{0,16}$	$\frac{0,36 - 0,08}{0,19}$
Пожар 2011г., 5	$\frac{2,25 - 1,16}{1,96}$	$\frac{0,49 - 0,17}{0,35}$	$\frac{204,81 - 0,44}{62,71}$	$\frac{253,49 - 11,20}{84,93}$	$\frac{0,27 - 0,01}{0,13}$	$\frac{0,91 - 0,24}{0,58}$	$\frac{2,77 - 0,77}{1,70}$	$\frac{39,44 - 1,47}{9,71}$	$\frac{0,76 - 0,36}{0,54}$	$\frac{0,09 - 0,03}{0,06}$	$\frac{0,47 - 0,03}{0,14}$	$\frac{12,09 - 0,07}{2,84}$
Зима 2013-2014 гг.												
Не горевший, 5	$\frac{1,57 - 0,26}{1,01}$	$\frac{0,20 - 0,09}{0,14}$	$\frac{23,23 - 15,17}{18,74}$	$\frac{9,63 - 2,37}{5,01}$	$\frac{0,51 - 0,19}{0,35}$	$\frac{2,58 - 0,86}{1,71}$	$\frac{6,29 - 1,06}{3,09}$	-	$\frac{0,53 - 0,29}{0,41}$	$\frac{1,18 - 0,10}{0,38}$	$\frac{0,16 - 0,03}{0,08}$	$\frac{0,40 - 0,09}{0,20}$
Пожар 2010г., 5	$\frac{1,29 - 0,68}{0,91}$	$\frac{0,18 - 0,08}{0,13}$	$\frac{19,86 - 6,83}{12,38}$	$\frac{5,29 - 2,11}{3,40}$	$\frac{0,31 - 0,11}{0,18}$	$\frac{1,74 - 0,55}{0,97}$	$\frac{4,72 - 1,47}{2,44}$	-	$\frac{0,78 - 0,25}{0,43}$	$\frac{0,16 - 0,07}{0,11}$	$\frac{0,11 - 0,03}{0,07}$	$\frac{0,33 - 0,07}{0,20}$
Пожар 2011г., 5	$\frac{1,46 - 0,84}{1,27}$	$\frac{0,10 - 0,06}{0,08}$	$\frac{12,48 - 8,33}{10,42}$	$\frac{2,51 - 1,44}{2,10}$	$\frac{0,22 - 0,15}{0,20}$	$\frac{1,28 - 0,70}{0,91}$	$\frac{2,08 - 1,04}{1,67}$	-	$\frac{0,77 - 0,62}{0,67}$	$\frac{0,10 - 0,08}{0,09}$	$\frac{0,09 - 0,03}{0,05}$	$\frac{0,25 - 0,08}{0,14}$
Зима 2014-2015 гг.												
Не горевший, 5	$\frac{2,22 - 1,22}{1,68}$	$\frac{1,24 - 0,56}{0,84}$	$\frac{49,48 - 13,39}{29,51}$	$\frac{6,97 - 1,51}{3,43}$	$\frac{0,37 - 0,22}{0,28}$	$\frac{5,59 - 1,20}{2,86}$	$\frac{1,66 - 0,97}{1,40}$	$\frac{135,91 - 28,79}{60,54}$	$\frac{1,26 - 0,43}{0,97}$	$\frac{0,07 - 0,03}{0,05}$	$\frac{3,72 - 0,02}{0,77}$	$\frac{0,19 - 0,10}{0,15}$
Пожар 2010г., 5	$\frac{2,04 - 1,04}{1,34}$	$\frac{4,76 - 1,88}{2,91}$	$\frac{80,64 - 38,45}{56,96}$	$\frac{6,69 - 0,66}{3,38}$	$\frac{0,37 - 0,09}{0,23}$	$\frac{4,20 - 0,79}{2,33}$	$\frac{2,59 - 0,87}{1,66}$	$\frac{308,79 - 31,31}{116,36}$	$\frac{0,96 - 0,44}{0,61}$	$\frac{0,14 - 0,03}{0,07}$	$\frac{0,06 - 0,02}{0,04}$	$\frac{0,54 - 0,17}{0,34}$
Пожар 2011г., 5	$\frac{2,62 - 1,92}{2,28}$	$\frac{2,36 - 0,34}{1,38}$	$\frac{29,73 - 17,38}{22,06}$	$\frac{32,34 - 1,11}{11,60}$	$\frac{0,43 - 0,29}{0,34}$	$\frac{126,63 - 1,07}{36,75}$	$\frac{8,42 - 1,26}{3,50}$	$\frac{228,81 - 49,70}{101,95}$	$\frac{1,79 - 0,53}{1,14}$	$\frac{0,22 - 0,08}{0,13}$	$\frac{0,67 - 0,02}{0,19}$	$\frac{3,48 - 0,15}{1,05}$
Содержание в оз. Байкал, 4	0,46	0,43	0,04	0,36	0,06	0,38	0,94	2,64	1,60	0,01	0,01	0,01

Примечание: в числителе максимум-минимум, в знаменателе – среднее по 5 пробам. Прочерк – химический элемент не определялся.

Таблица 3.3. Концентрации редкоземельных элементов в образцах снега, мкг/дм³.

Участок отбора проб, количество проб	Sc	Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
Зима 2012-2013 гг.									
Не горевший, 5	$\frac{0,012 - 0,006}{0,008}$	$\frac{0,045 - 0,019}{0,036}$	$\frac{0,032 - 0,014}{0,021}$	$\frac{0,060 - 0,023}{0,042}$	$\frac{0,008 - 0,004}{0,006}$	$\frac{0,043 - 0,016}{0,031}$	$\frac{0,0089 - 0,0026}{0,0060}$	$\frac{0,0171 - 0,0092}{0,0126}$	$\frac{0,011 - 0,004}{0,008}$
Пожар 2010г., 5	$\frac{0,024 - 0,004}{0,011}$	$\frac{0,057 - 0,024}{0,039}$	$\frac{0,043 - 0,013}{0,030}$	$\frac{0,089 - 0,025}{0,058}$	$\frac{0,011 - 0,004}{0,008}$	$\frac{0,049 - 0,018}{0,034}$	$\frac{0,0128 - 0,0038}{0,0082}$	$\frac{0,0228 - 0,0070}{0,0134}$	$\frac{0,013 - 0,005}{0,009}$
Пожар 2011г., 5	$\frac{0,067 - 0,013}{0,032}$	$\frac{0,460 - 0,024}{0,162}$	$\frac{0,605 - 0,018}{0,184}$	$\frac{1,312 - 0,031}{0,411}$	$\frac{0,171 - 0,005}{0,053}$	$\frac{0,722 - 0,025}{0,226}$	$\frac{0,1241 - 0,0047}{0,0411}$	$\frac{0,0379 - 0,0054}{0,0175}$	$\frac{0,131 - 0,006}{0,044}$
Зима 2013-2014 гг.									
Не горевший, 5	$\frac{0,015 - 0,004}{0,008}$	$\frac{0,045 - 0,013}{0,027}$	$\frac{0,128 - 0,035}{0,072}$	$\frac{0,073 - 0,013}{0,031}$	$\frac{0,298 - 0,027}{0,184}$	$\frac{0,025 - 0,007}{0,015}$	$\frac{0,0072 - 0,0011}{0,0030}$	$\frac{0,0051 - 0,0027}{0,0039}$	$\frac{0,085 - 0,013}{0,050}$
Пожар 2010г., 5	$\frac{0,003 - 0,001}{0,002}$	$\frac{0,015 - 0,007}{0,010}$	$\frac{0,133 - 0,044}{0,077}$	$\frac{0,017 - 0,008}{0,012}$	$\frac{0,463 - 0,152}{0,246}$	$\frac{0,131 - 0,005}{0,032}$	$\frac{0,0022 - 0,0010}{0,0016}$	$\frac{0,0042 - 0,0022}{0,0030}$	$\frac{0,126 - 0,035}{0,070}$
Пожар 2011г., 5	$\frac{0,006 - 0,002}{0,003}$	$\frac{0,009 - 0,006}{0,008}$	$\frac{0,066 - 0,032}{0,047}$	$\frac{0,039 - 0,008}{0,015}$	$\frac{0,275 - 0,095}{0,172}$	$\frac{0,008 - 0,003}{0,005}$	$\frac{0,0023 - 0,0010}{0,0013}$	$\frac{0,0041 - 0,0019}{0,0030}$	$\frac{0,083 - 0,025}{0,047}$
Зима 2014-2015 гг.									
Не горевший, 5	$\frac{0,008 - 0,001}{0,003}$	$\frac{0,023 - 0,004}{0,011}$	$\frac{0,010 - 0,005}{0,008}$	$\frac{0,012 - 0,004}{0,009}$	$\frac{0,002 - 0,001}{0,002}$	$\frac{0,007 - 0,003}{0,005}$	$\frac{0,0032 - 0,0002}{0,0015}$	$\frac{0,0039 - 0,0018}{0,0027}$	$\frac{0,002 - 0,001}{0,002}$
Пожар 2010г., 5	$\frac{0,006 - 0,001}{0,003}$	$\frac{0,019 - 0,004}{0,009}$	$\frac{0,010 - 0,006}{0,007}$	$\frac{0,011 - 0,004}{0,007}$	$\frac{0,004 - 0,001}{0,002}$	$\frac{0,021 - 0,003}{0,008}$	$\frac{0,0014 - 0,0003}{0,0008}$	$\frac{0,0031 - 0,0010}{0,0018}$	$\frac{0,003 - 0,001}{0,001}$
Пожар 2011г., 5	$\frac{0,031 - 0,001}{0,011}$	$\frac{0,202 - 0,006}{0,051}$	$\frac{0,061 - 0,010}{0,023}$	$\frac{0,147 - 0,005}{0,041}$	$\frac{0,022 - 0,002}{0,007}$	$\frac{0,089 - 0,005}{0,025}$	$\frac{0,0178 - 0,0003}{0,0050}$	$\frac{0,0079 - 0,0023}{0,0045}$	$\frac{0,030 - 0,001}{0,010}$
Содержание в оз. Байкал, 4	0,0016	0,0045	0,0022	0,0013	0,0005	0,0019	0,0005	0,0008	0,0005

Участок отбора проб, количество проб	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Зима 2012-2013 гг.							
Не горевший, 5	$\frac{0,0014 - 0,0007}{0,0011}$	$\frac{0,0099 - 0,0034}{0,0074}$	$\frac{0,0019 - 0,0010}{0,0016}$	$\frac{0,0066 - 0,0030}{0,0055}$	$\frac{0,0012 - 0,0005}{0,0010}$	$\frac{0,009 - 0,004}{0,007}$	$\frac{0,0017 - 0,0005}{0,0013}$
Пожар 2010г., 5	$\frac{0,0019 - 0,0006}{0,0011}$	$\frac{0,0119 - 0,0048}{0,0079}$	$\frac{0,0024 - 0,0010}{0,0016}$	$\frac{0,0086 - 0,0045}{0,0065}$	$\frac{0,0016 - 0,0007}{0,0009}$	$\frac{0,010 - 0,007}{0,008}$	$\frac{0,0019 - 0,0010}{0,0013}$
Пожар 2011г., 5	$\frac{0,0169 - 0,0006}{0,0060}$	$\frac{0,1027 - 0,0049}{0,0364}$	$\frac{0,0194 - 0,0008}{0,0068}$	$\frac{0,0580 - 0,0030}{0,0220}$	$\frac{0,0080 - 0,0006}{0,0031}$	$\frac{0,057 - 0,004}{0,023}$	$\frac{0,0083 - 0,0007}{0,0035}$
Зима 2013-2014 гг.							
Не горевший, 5	$\frac{0,0010 - 0,0003}{0,0006}$	$\frac{0,0075 - 0,0019}{0,0041}$	$\frac{0,0016 - 0,0004}{0,0009}$	$\frac{0,0072 - 0,0014}{0,0031}$	$\frac{0,0010 - 0,0003}{0,0006}$	$\frac{0,190 - 0,029}{0,117}$	$\frac{0,0014 - 0,0005}{0,0009}$
Пожар 2010г., 5	$\frac{0,0005 - 0,0003}{0,0004}$	$\frac{0,0031 - 0,0011}{0,0019}$	$\frac{0,0006 - 0,0004}{0,0004}$	$\frac{0,0025 - 0,0012}{0,0017}$	$\frac{0,0004 - 0,0003}{0,0003}$	$\frac{0,273 - 0,071}{0,141}$	$\frac{0,0006 - 0,0003}{0,0005}$
Пожар 2011г., 5	$\frac{0,0004 - 0,0003}{0,0003}$	$\frac{0,0023 - 0,0012}{0,0016}$	$\frac{0,0004 - 0,0004}{0,0004}$	$\frac{0,0013 - 0,0005}{0,0009}$	$\frac{0,0004 - 0,0003}{0,0003}$	$\frac{0,135 - 0,048}{0,097}$	$\frac{0,0004 - 0,0003}{0,0003}$
Зима 2014-2015 гг.							
Не горевший, 5	$\frac{0,0004 - 0,0001}{0,0003}$	$\frac{0,0028 - 0,0006}{0,0018}$	$\frac{0,0008 - 0,0003}{0,0004}$	$\frac{0,0016 - 0,0001}{0,0010}$	$\frac{0,0004 - 0,0001}{0,0003}$	$\frac{0,003 - 0,001}{0,002}$	$\frac{0,0007 - 0,0001}{0,0003}$
Пожар 2010г., 5	$\frac{0,0004 - 0,0000}{0,0002}$	$\frac{0,0033 - 0,0004}{0,0014}$	$\frac{0,0008 - 0,0001}{0,0004}$	$\frac{0,0022 - 0,0004}{0,0010}$	$\frac{0,0003 - 0,0001}{0,0002}$	$\frac{0,007 - 0,001}{0,003}$	$\frac{0,0005 - 0,0001}{0,0002}$
Пожар 2011г., 5	$\frac{0,0040 - 0,0002}{0,0011}$	$\frac{0,0286 - 0,0002}{0,0072}$	$\frac{0,0053 - 0,0001}{0,0015}$	$\frac{0,0212 - 0,0004}{0,0055}$	$\frac{0,0027 - 0,0001}{0,0007}$	$\frac{0,025 - 0,001}{0,008}$	$\frac{0,0034 - 0,0001}{0,0012}$
Содержание в оз. Байкал, 4	0,0001	0,0006	0,0001	0,0004	0,0001	0,0002	0,0001

Продолжение таблицы 3.3.

Весь полученный массив данных был обработан с помощью программного пакета Statistica 10. Применяв многомерный статистический метод факторного анализа, мы выделили три основных фактора, которыми определяется динамика поведения элементов в снеге (таблица 3.4). Поведение элементов, подверженных влиянию обнаруженных факторов, имеет значительные внутригрупповые сходства.

Таблица 3.4. 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

Концентрации веществ внутри каждой группы значимо коррелируют между собой в рассматриваемой серии наблюдений. Для выявления характера поведения полученных ассоциаций элементов под влиянием последствий пожара, мы оценили зависимость каждой группы от категориального фактора «возраст пожара» с помощью дисперсионного анализа.

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 уровню,

наблюдаемому на несгоревших участках. Присутствие биофильных элементов позволяет нам предполагать, что эта ассоциация элементов поступает в снег в результате разложения органических остатков. Вероятно, 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, вероятно, 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 (по классификации Н.Ф. Реймерса [Реймерс, 1990, 1992]) – Cr, Ni, Cu, Pb. В отличие от элементов первой и второй групп, концентрация этих элементов сохраняется на уровне, близком к уровню несгоревших участков, 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%. При дальнейшем уточнении описания данной системы, в качестве факторов начинают выделяться отдельные элементы. Это значит, что поведение элементов, не вошедших в данные группы, не имеет большого сходства, позволяющего объединить их, либо включить в какую-либо группу.

Таким образом, территории лесных пожарищ на протяжении ряда лет после пожара поставляют в атмосферу и снежный покров различные токсичные элементы. Под воздействием газовых выделений, образующихся в результате разложения пострадавшей в результате пожаров растительности, на пожарищах формируются, закисленные выбросами с пожарищ, атмосферные осадки. В результате воздействия пожарищ возрастает минерализация, наблюдается трансформация химического состава снежного покрова: возрастает роль гидрокарбонат-иона, значительно повышается концентрация тяжелых металлов - цинка, кадмия, марганца, железа (более чем на математический порядок). В снежном покрове на пожарищах установлены очень высокие содержания редких земель, которые накапливаются в снегу в результате послепожарного разложения несгоревшего органического вещества.

3.2. Влияние лесных пожарищ на состояние поверхностных вод

Сеть временных постов наблюдения охватила реку Брянка и ее притоков – рек Челутай и Илька.

Река Брянка относится к Ангаро-Байкальскому бассейновому округу, речному бассейну реки Селенга (российской его части), к

водохозяйственному участку реки Уда. Водосбор реки Брянка с ее основными притоками располагается в южной части Заиграевского района. По данным Государственного водного реестра РФ, общая длина р. Брянка составляет 128 км, площадь водосборного бассейна – 4470 км². Среднегодовой расход воды в 12 км от устья – 3,73 м³/с. Река берёт начало в центральной части хребта Цаган-Дабан. В верховьях течёт в северо-западном направлении, в районе села Старая Брянь, приняв левый приток Кокытей, поворачивает под прямым углом на северо-восток, где долина реки немного расширяется. Ниже села Новая Брянь, в 58-ми километрах от своего устья, р. Брянка принимает справа приток – р. Челутай и поворачивает на север. Ниже по течению, перед п. Заиграево, на расстоянии 44 км от устья, справа в Брянку впадает её основной приток – р. Илька. Река Брянка впадает с юга в Уду между п. Онохой и с. Усть-Брянь.

По химическому составу вода реки Брянка во все фазы гидрологического режима относится к гидрокарбонатному кальциевому типу. Наблюдаемые значения рН показывают слабощелочную реакцию воды.

Гидрологический эффект лесных пожаров.

Измерение характеристик водного потока реки Брянка проводилось на гидрологическом посту Росгидромет в п. Заиграево. Участок, на котором расположен гидрологический пост, является замыкающим створом исследуемой нами гидросистемы.

Сопоставляя показатели количества лесных пожаров за последние годы с суммарным количеством атмосферных осадков, выпавших до начала и во время лесопожарного периода, можно наблюдать явную обратную корреляционную зависимость (рис. 3.5). Количество осадков суммировалось с ноября предыдущего года по октябрь последующего года. Предполагается, что осадки, выпавшие в ноябре и декабре прошлого года, оказывают влияние на характер лесопожарного сезона последующего года.

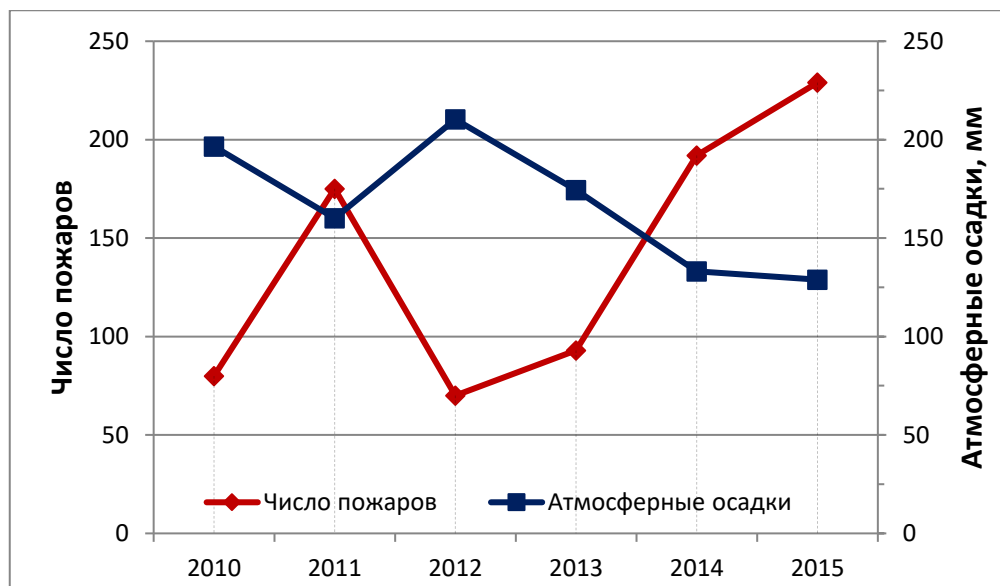


Рисунок 3.5. Соотношение числа пожаров и годового количества осадков в Заиграевском районе Республики Бурятия за период с 2010 по 2015 гг.

Наблюдаемое соотношение показывает непротиворечивость и репрезентативность статистических данных. Увеличение числа возгораний закономерно связано с уменьшением суммарного количества осадков и наоборот.

Динамика изменения уровня и расхода воды, измеряемых на гидрологическом посту п. Заиграево в июне и сентябре, за период с 2010 по 2015 год, дана на рисунке 3.6.

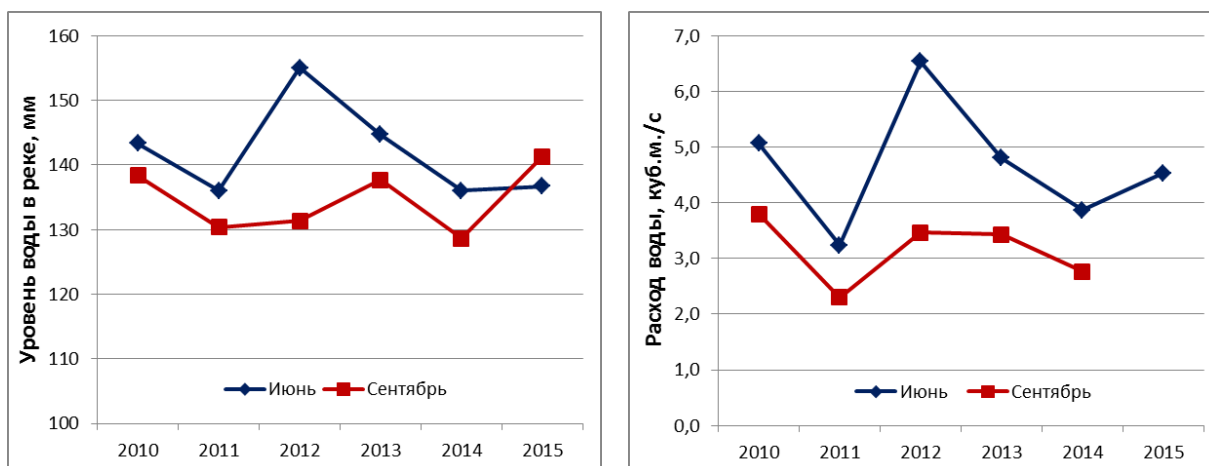


Рисунок 3.6. Изменения уровня и расхода воды в р. Брэнка на гидрологическом посту в п. Заиграево за период 2010–2015 гг.

Аномальными по уровню и расходу воды можно считать показатели, зафиксированные в июне 2012 года. Помимо гидрометеорологического фактора на формирование стока в значительной мере влияет степень пирологической поврежденности водосбора. Результаты, полученные на юге Дальнего Востока, показывают, что модули стока с целиком выжженных водосборов в среднем на 30-70% выше по сравнению с модулями стока с их не пострадавших аналогов [Шамов, 2005]. В нашем случае повышение стока в июне 2012 года может быть в значительной мере обусловлено аномально большим числом пожаров летом 2011 года на водосборной площади исследуемых рек. Кроме того, при устойчивом снижении суммарного годового количества осадков начиная с 2012 года, в июне 2015 года уровень воды в реке Брянка был выше, чем в предыдущем году. Это может быть связано с резким ростом числа и общей площади лесных пожаров начиная с 2013 года, что привело к повышению модуля стока с пострадавших территорий. Подобные проявления последствий лесных пожаров отмечались в ряде работ зарубежных авторов [Cerdea, Doerr, 2008; Larsen et al., 2009].

Влияние лесных пожаров на гидрохимический режим рек

С учетом статистических данных о распространении пожаров на данной территории в 2013 и 2014 годах, предоставленных администрацией муниципального образования «Заиграевский район», нами была составлена схема района исследования (рис. 3.7).

Количество возгораний и общая площадь лесных пожаров в 2014 году существенно превосходят показатели 2013 года. В 2013 г. на территории Заиграевского района 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.

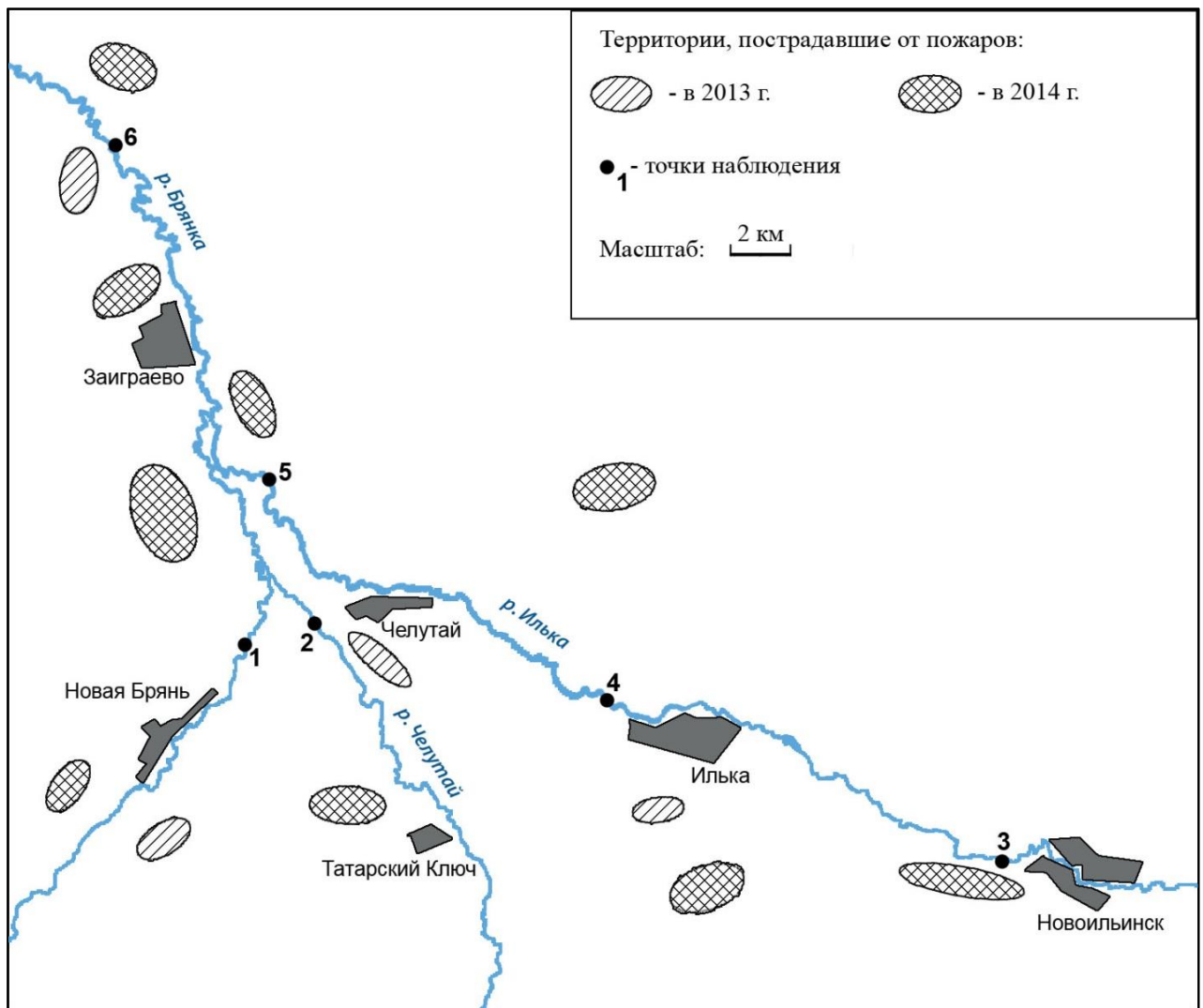


Рисунок 3.7. Временные посты наблюдения в водосборном бассейне р. Брянка с очагами возгорания в 2013-2014 гг.

Для выяснения характера изменения химического состава вод в условиях различных по напряженности лесопожарных сезонов, в образцах воды определялись концентрации 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 (таблица 3.5).

Таблица 3.5. Макрокомпонентный состав воды исследуемых рек.

Точка наблю- дения	Содержание главных ионов, мг/дм ³								pH	Жест- кость, °Ж	Общая минерали- зация, мг/дм ³
	Na ⁺ +K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻			
Осень 2013 г.											
1	23,16	31,06	7,90	158,65	3,97	13,48	7,09	1,19	7,69	2,20	262,37
2	15,31	37,07	8,51	164,75	0,72	12,16	7,09	0,97	7,87	2,55	265,53
3	20,42	28,06	7,30	146,44	0,84	12,52	6,38	0,64	7,95	2,00	241,83
4	21,92	29,06	6,69	149,49	1,10	12,84	6,38	0,72	7,89	2,00	247,48
5	22,34	20,04	13,98	158,65	0,87	12,84	7,09	0,76	7,94	2,15	254,83
6	16,76	33,07	9,12	158,65	0,78	12,84	7,09	0,93	7,98	2,40	258,72
Весна 2014 г.											
1	12,31	33,07	10,34	134,24	2,48	9,52	3,90	1,23	8,38	2,50	246,15
2	14,13	37,07	9,12	161,70	0,96	9,20	5,32	1,09	8,39	2,60	261,65
3	17,98	24,05	4,86	118,99	1,07	7,24	4,96	0,44	8,37	1,60	199,42
4	11,06	25,05	9,12	125,09	0,84	6,92	4,96	0,62	8,38	2,00	203,98
5	7,30	27,05	10,34	134,24	2,20	9,20	4,61	0,69	8,39	2,20	215,98
6	11,68	30,06	9,73	143,39	1,39	6,92	4,96	0,97	8,38	2,30	225,90
Осень 2014 г.											
1	10,47	29,06	10,94	137,29	2,72	13,48	8,16	–	7,92	2,35	225,20
2	12,15	26,05	15,56	158,65	0,72	11,84	8,86	–	8,03	2,58	245,58
3	17,09	25,65	8,76	134,24	0,58	12,16	9,93	–	8,06	2,00	226,19
4	13,60	28,06	10,34	137,29	1,48	13,80	9,93	–	8,06	2,25	232,70
5	17,81	31,06	10,09	161,70	0,75	10,20	9,93	–	7,99	2,38	255,70
6	24,50	31,66	10,34	183,05	1,01	10,52	9,22	–	8,03	2,43	285,19
Весна 2015 г.											
1	22,51	30,06	10,34	167,80	2,28	9,20	10,28	1,13	7,70	2,35	271,31
2	15,74	38,08	10,34	173,90	0,99	11,84	9,93	0,26	7,69	2,75	280,46
3	15,88	22,04	7,90	122,04	0,55	8,88	7,80	0,8	7,84	1,75	201,96
4	18,45	26,05	9,12	143,39	1,16	10,20	8,51	0,51	7,76	2,05	234,22
5	18,46	27,05	8,51	143,39	0,38	10,84	8,51	0,59	7,67	2,05	234,44
6	17,37	29,06	10,94	155,60	2,41	9,52	9,93	0,59	7,64	2,35	253,18
Осень 2015 г.											
1	23,32	36,07	7,90	176,95	6,02	8,88	8,51	0,8	8,35	2,45	288,96
2	18,84	38,08	10,94	192,21	1,97	7,56	8,51	0,76	8,29	2,80	299,13
3	20,96	28,06	10,34	164,75	0,93	9,52	7,80	0,54	8,35	2,25	262,55
4	21,70	30,06	9,73	170,85	0,99	7,88	8,16	0,64	8,35	2,30	268,32
5	18,33	33,07	10,34	173,90	0,87	8,56	7,80	0,66	8,27	2,50	267,68
6	20,86	34,07	10,94	183,05	1,10	8,24	9,93	0,72	8,31	2,60	284,54

Для рек данного типа существует обратная зависимость между содержанием главных ионов в воде и величиной стока. Минерализация речных вод в большей степени определяется источниками питания. При низком уровне воды преобладает питание подземными водами, более минерализованными, чем дождевые и талые, что приводит к повышению содержания главных химических компонентов [Обязов, Жулдыбина, 2011]. 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. Учитывая сложившуюся в эти годы лесопожарную обстановку, можно предположить, что этим фактором являются лесные пожары. Значения общей минерализации воды для всех точек наблюдения приведены в диаграмме на рисунке 3.8.

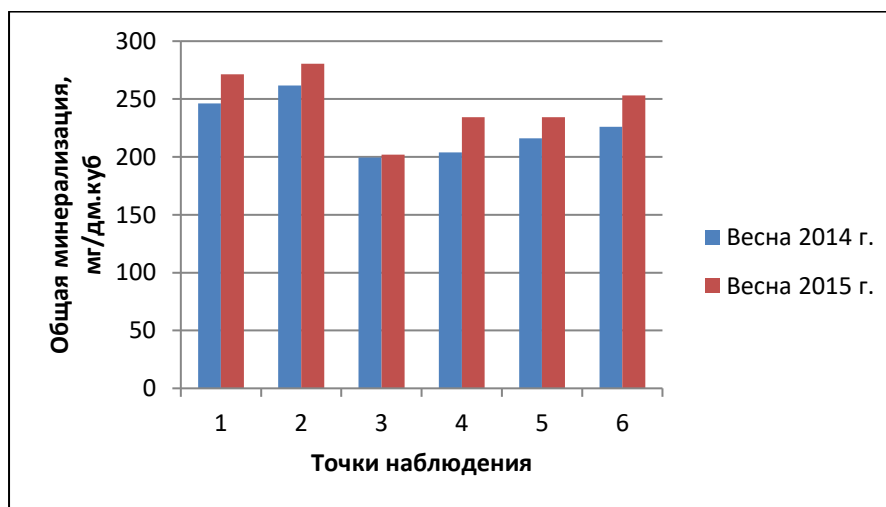


Рисунок 3.8. Общая минерализация воды рек по данным весенних наблюдений 2014 и 2015 гг.

По данным гидрогеологических исследований, проводимых специалистами в разные годы (некоторые из них приведены в разделе 1.3), подземные воды района имеют слабощелочную реакцию. Это связано с выветриванием широко распространенных на данной территории

алюмосиликатов, а также слабой развитостью почвенного покрова с низким содержанием органических кислот [Шварцев, 1998]. Вода в реках во всех точках наших наблюдений также имеет слабощелочную реакцию, за счет питания подземными водами.

Изменение условий среды на пожарищах может оказывать влияние на состояние грунтовых и речных вод (рис. 3.9). В результате крупных пожаров на обширных территориях в водосборах рек устанавливается кислая среда как в почвах [Гынинова и др., 2016], так и в снежном покрове в зимнее время [Украинцев, Плюснин, 2015]. Процесс нейтрализации щелочности, образующейся при выветривании алюмосиликатов, активно протекает при наличии в воде CO_2 [Шварцев, 1998]. На пожарищах содержание двуокси углерода значительно повышается благодаря интенсивному процессу разложения пирогенно поврежденного органического вещества.

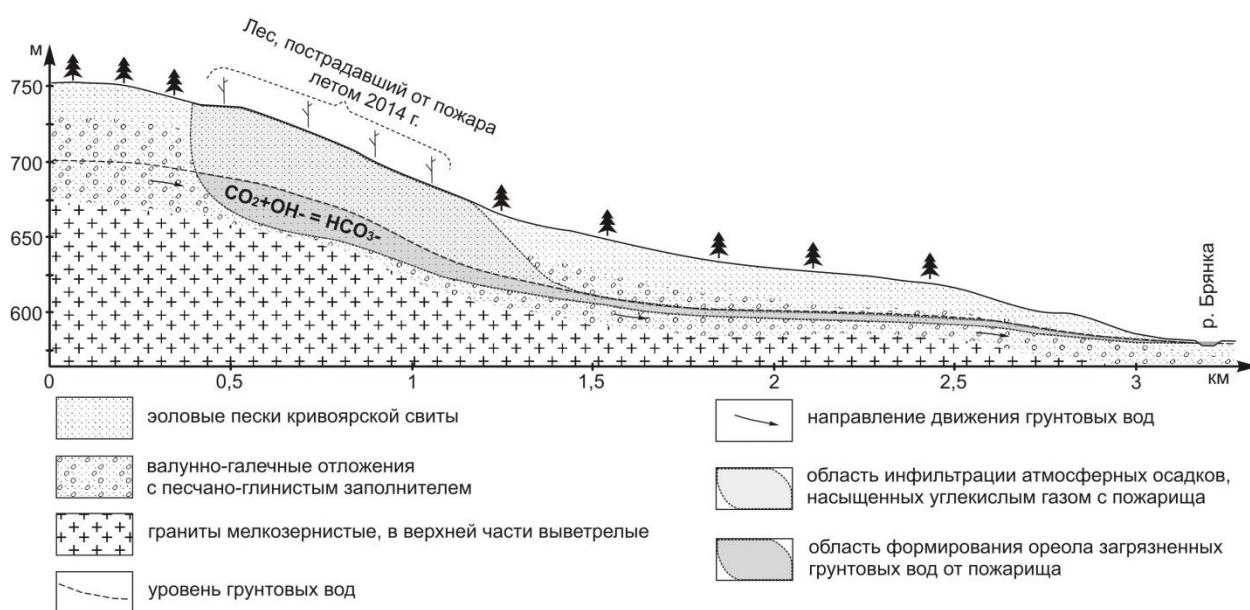


Рисунок 3.9. Схема распространения загрязнения от пожарищ в почвы и подземные воды.

Более напряженная лесопожарная обстановка в районе исследования летом 2014 года привела к возникновению обширных пирогенно поврежденных территорий, на которых установилась более кислая среда и

повышенное содержание загрязняющих компонентов в снежном покрове зимой 2014-2015 годов, по сравнению с зимой 2013-2014 годов. 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 существенно изменился в сторону кислой реакции (рис. 3.10).

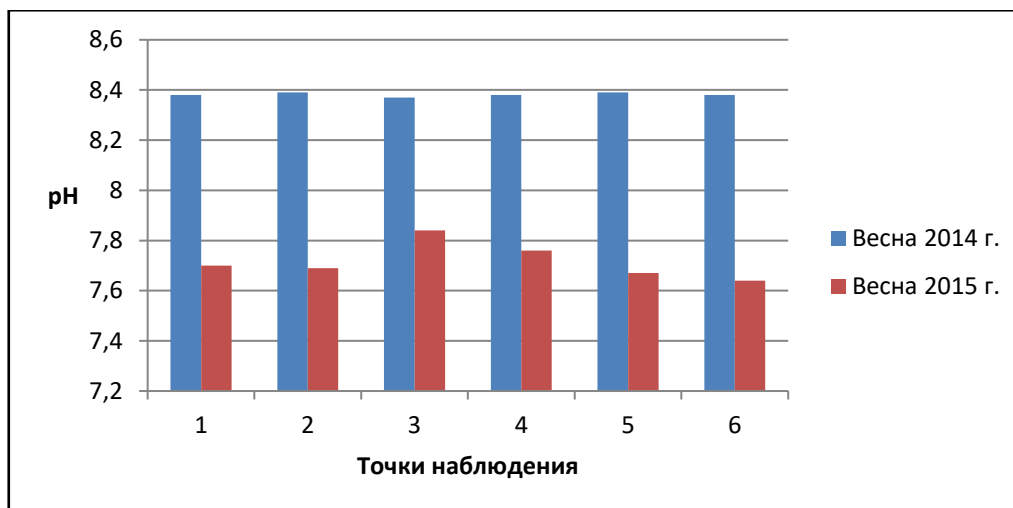


Рисунок 3.10. Показатель pH воды рек по данным весенних наблюдений 2014 и 2015 гг.

Одновременное повышение концентрации гидрокарбонат-иона (рис. 3.11) в водах происходит в результате реакции нейтрализации щелочности [Шварцев, 1998]



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

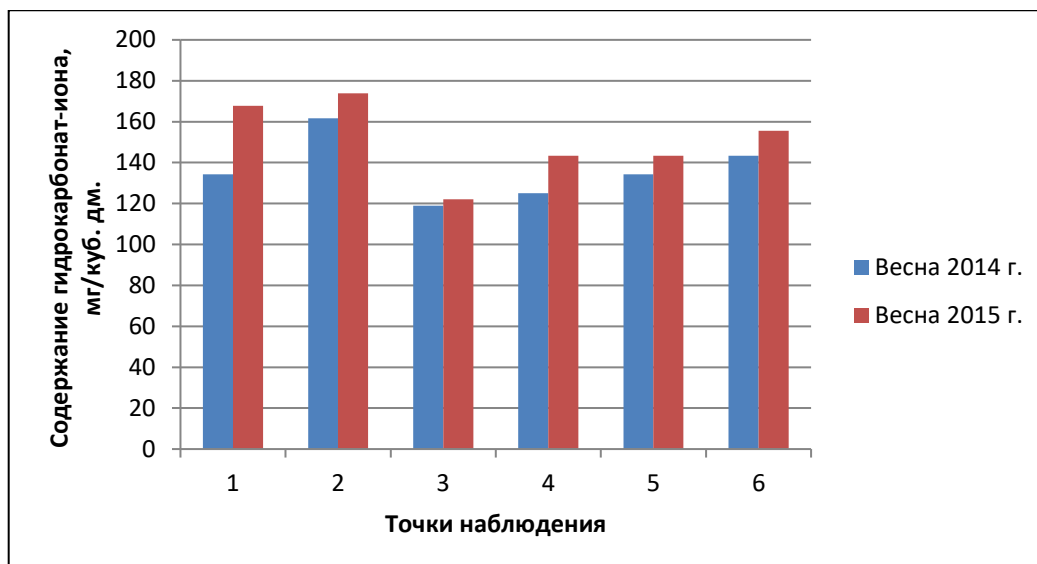


Рисунок 3.11. Динамика концентрации гидрокарбонат-иона по данным весенних наблюдений 2014 и 2015 гг.

Заметное повышение минерализации воды в реках во всех точках наблюдения весной 2015 года по сравнению с весной 2014 года связано, по всей видимости, с различным поступлением хорошо растворимых 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 значительно повышается, что приводит к увеличению химического выноса с пострадавшей территории [Иванов, Кашин, 1989; Украинцев, Плюснин, 2015]. Летом вещества, приносимые на поверхность с дождевыми осадками, смываются временными и постоянными водными потоками и уносятся реками. Зимой снежный покров в течение длительного периода (5-6 месяцев) накапливает большое количество растворимых веществ, а затем концентрированно сбрасывает их в момент таяния [Новороцкая, 2011; Иванов, Неудачин, 1987].

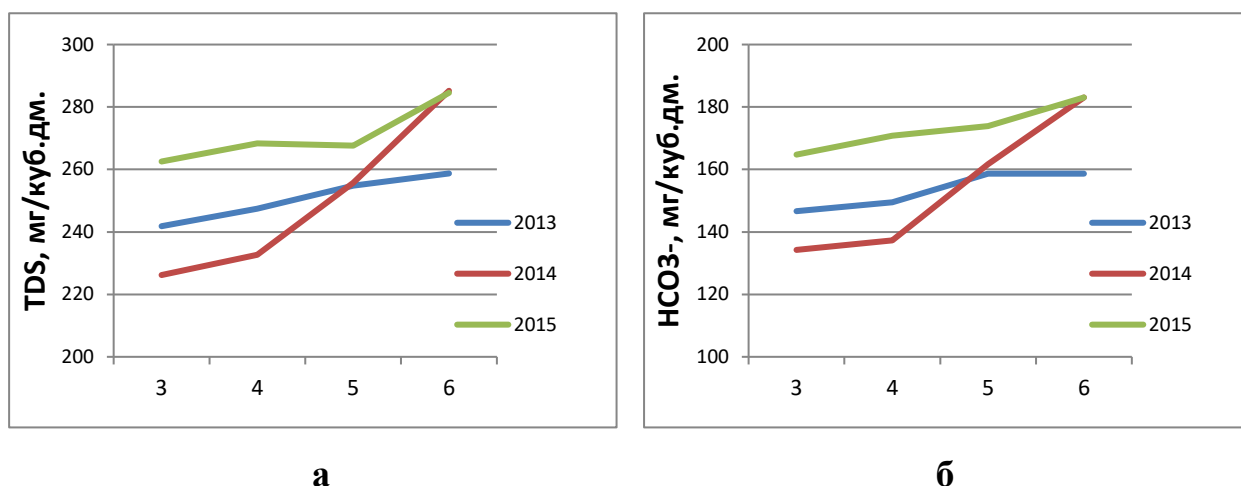


Рисунок 3.12. Динамика общей минерализации (а) и содержания гидрокарбонат-иона (б) вниз по течению реки Илька (точки наблюдения №3 –№6 на рис. 3.7), по данным осенних наблюдений 2013-2015 гг.

Большое количество пожаров на водосборной территории исследуемых рек летом 2014 года повлияло на динамику общей минерализации речной воды вниз по течению. Начиная от точки наблюдения №3 (рис. 3.7), расположенной в верхнем течении р. Илька, до точки №6, расположенной на р. Брянка после их слияния, минерализация воды закономерно растет во все годы наблюдений. Осенью 2014 года под влиянием стоков с больших площадей новых пожарищ, наблюдалась аномальная скорость увеличения минерализации вниз по течению (рис. 3.12). Кроме того, осенью 2015 года показатели общей минерализации воды во всех точках наблюдения были выше показателей 2013 года. Это связано с долгосрочным воздействием стоков с пожарищ на гидрохимический режим рек.

Основным компонентом, определяющим резкое повышение минерализации воды рек, дренирующих пирогенно поврежденные территории, является гидрокарбонат-ион (рис. 3.12). Повышение его содержания осенью, также как и весной, связано с поступлением с пожарищ вод, насыщенных CO_2 , и реакцией нейтрализации щелочности.

Результаты ИСП-МС анализа речной воды содержали данные о концентрациях следующих элементов химического состава: Li, Be, Na, Mg, Al, P, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Tl, Pb, Bi, Th, U. Данные о содержании некоторых из этих микроэлементов, полученные при анализах воды в точке №6 – замыкающем створе исследуемой гидросистемы, приведены в таблице 3.6.

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].

В то же время, для отдельных элементов наблюдаются значительные колебания, не зависящие от времени отбора проб, объяснение которых на данный момент не представляется возможным. Так, в образцах 2014 года зафиксировано резкое повышение содержания меди на всех точках наблюдения. Значительный разброс значений, не связанный с сезонностью, присутствует также в концентрациях железа, олова, сурьмы. Для выявления факторов, определяющих такие резкие колебания в содержании этих микроэлементов, необходимо продолжение наблюдений на выбранных участках и накопление большего количества статистических данных.

Таблица 3.6. Микроэлементы в образцах речной воды замыкающего створа исследуемой речной системы (точка наблюдения №6), ppb.

Определяемый элемент	Осень 2013 г.	Весна 2014 г.	Осень 2014 г.	Весна 2015 г.	Осень 2015 г.
Li	5,861157	4,927627	6,42964	6,783154	7,505324
Al	1,872584	15,73753	6,90538	12,76505	8,914877
Ti	0,052956	0,181161	0,10409	0,210423	0,114809
Rb	0,312516	0,295917	0,22872	0,392801	0,253037
Sr	294,3266	297,4938	282,9769	262,1287	312,4237
Cs	0,002774	0,003776	0,0028	0,003932	0,003932
Ba	12,54948	16,95501	12,73884	25,20719	14,57399
Биофильные элементы					
Na	11212,21	12472,08	11721,48	11706,97	13963,8
Mg	9967,981	9519,935	10650,72	8180,511	9689,975
P	82,10607	71,21773	28,48387	45,83092	61,76353
K	1352,297	1383,377	1130,613	1403,173	1372,24
Ca	33915,69	32069,11	31853,32	31267,92	36808,58
Mn	0,383419	1,639537	2,5305	3,571561	3,279282
Fe	8,493015	27,68505	39,17542	56,4013	26,70487
Тяжелые металлы					
V	1,172208	1,602428	1,20203	1,730048	0,967369
Co	0,017181	0,031252	0,03057	0,031963	0,031963
Ni	0,354944	0,711793	0,4493	0,648037	0,52652
Cu	0,904082	69,07856	11,75288	5,975327	3,015274
Mo	6,428454	5,824608	4,96603	5,866807	5,941813
Cd	0,03506	0,065801	0,08455	0,180052	0,023765
Sn	0,022525	0,051288	0,20929	0,164099	0,082917
Sb	0,103325	0,06271	0,06674	0,074445	0,305776
Tl	0,000959	0,001135	0,0004	0,021972	0,020835
Pb	0,238314	0,482126	0,57948	1,606722	0,596133
Bi	0,001581	0,003985	0,00214	0,007417	0,001377
Th	0,001297	0,001374	0,00034	0,013896	0,001197
U	3,378654	5,922107	2,63763	3,184422	3,885524
Редкоземельные элементы					
Sc	0,003852	0,002804	0,00105	0,002583	0,002583
Y	0,011914	0,031967	0,01186	0,033257	0,0125
La	0,029322	0,203574	0,07787	0,164768	0,026563
Ce	0,018714	0,045139	0,02154	0,119257	0,034918
Pr	0,002127	0,386105	0,06866	0,184857	0,01153
Nd	0,006662	0,025246	0,00954	0,060107	0,013057
Sm	0,003195	0,004263	0,00202	0,010151	0,003782
Eu	0,000732	0,00426	0,00164	0,002626	0,00094
Gd	0,009164	0,142873	0,05834	0,014644	0,004689
Tb	0,000759	0,00062	0,00005	0,000698	0,000698
Dy	0,002722	0,005236	0,00278	0,007458	0,001187
Ho	0,000577	0,000595	0,00025	0,001304	0,000611
Er	0,000695	0,002959	0,00149	0,009407	0,007259
Tm	0,000538	0,00054	0,00066	0,000916	0,000916
Yb	0,005078	0,148671	0,01293	0,010145	0,004651
Lu	0,000307	0,000705	0,00026	0,000456	0,000456

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. 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 (Na, Mg, P, K, Ca, Mn, Fe), которые способны интенсивно накапливаться в растениях [Перельман, 1975], некоторые тяжелые (по классификации Н.Ф. Реймерса [Реймерс, 1990, 1992]) и радиоактивные металлы, редкоземельные элементы. 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.

Принимая во внимание результаты наблюдения за составом речных вод, можно отметить значимое влияние лесных пожаров на гидрохимический режим рек, водосборы которых подвергались пирогенным повреждениям. В результате увеличения числа возгораний и большой площади пожарищ в Заиграевском районе в 2014 г., весной 2015 г. на всех точках наблюдения была зафиксирована повышенная минерализация воды и изменение показателя pH. Устойчивое ежегодное увеличение числа пожаров в районе с 2013 года также привело к повышению содержания большинства определяемых микроэлементов в речной воде. Учитывая тот факт, что последствия лесных пожаров могут в разной степени проявляться в течение

нескольких лет, неблагоприятная лесопожарная статистика в последующие годы может привести к более существенным изменениям.

3.3. Поведение редкоземельных элементов в снежном покрове и поверхностных водах в районах лесных пожарищ

Микрокомпонентный анализ образцов талой воды снежного покрова и образцов речной воды исследуемых участков позволил впервые изучить динамику содержания редкоземельных элементов (РЗЭ) под влиянием лесных пожарищ.

Среднее суммарное содержание растворимой формы РЗЭ в снежном покрове зависит от возраста пожарищ. Спустя 1 год после пожара, сумма РЗЭ в талой воде составила 1,27 мкг/дм³. На пожарищах двухлетней давности среднее суммарное содержание РЗЭ – 0,32 мкг/дм³. На пожарищах трехлетнего возраста – 0,4 мкг/дм³. Спустя 4 года этот показатель составляет 0,05 мкг/дм³. На участках, которые долгое время не подвергались непосредственному воздействию пожаров, среднее суммарное содержание РЗЭ составляет 0,26 мкг/дм³. Резкое повышение содержания РЗЭ в ближайшие годы после пожара и снижение в последующие годы возможно связано с процессами разложения пирогенно поврежденной растительности. В первый послепожарный год эти процессы наиболее интенсивны. Вынос растворимых компонентов с талыми водами и постепенное истощение органических источников РЗЭ обуславливают значительное снижение среднего суммарного содержания РЗЭ в снежном покрове к четвертому году после прохождения пожара.

Для характеристики миграции отдельных элементов мы использовали спектры распределения РЗЭ в снежном покрове районов лесных пожарищ (в растворимой форме) по годам опробования (рис. 3.13, 3.14 и 3.15). Нормирование производилось на кларк речной воды по А.П. Виноградову (1967), с дополнениями В.Н. Иваненко, В.В. Гордеева и А.П. Лисицина (1979) и В. В. Гордеева (1983) [Справочник по гидрохимическим..., 1990]. По

оценкам исследователей, такой подход наиболее предпочтителен для нормирования содержаний РЗЭ в поверхностных пресных водах [Гусева и др., 2013].

По сравнению с кларком речной воды, талые воды снежного покрова пожарищ дают сильно повышенные концентрации практически всех представителей РЗЭ в первый послепожарный год. На второй и третий годы показатели близки к кларковым, за исключением некоторых аномалий, а пожарища возрастом 4 года показывают содержание практически всех РЗЭ ниже кларка.

Повышенное содержание растворимых форм РЗЭ в снежном покрове пожарищ приводит к обогащению ими талых вод. Наблюдение за химическим составом речных вод района исследования показало, что РЗЭ, которые фиксируются в снежном покрове пирогенно поврежденных территорий, в весенний период проявляются в реках. Наблюдается сильная сезонная зависимость суммарного содержания растворимой формы РЗЭ в речной воде: в образцах, отобранных весной, среднее содержание РЗЭ составляет 0,81 мкг/дм³; в образцах, отобранных осенью – 0,16 мкг/дм³. В целом, суммарное содержание РЗЭ в воде исследуемых рек варьируется от 0,1 до 1,01 мкг/дм³.

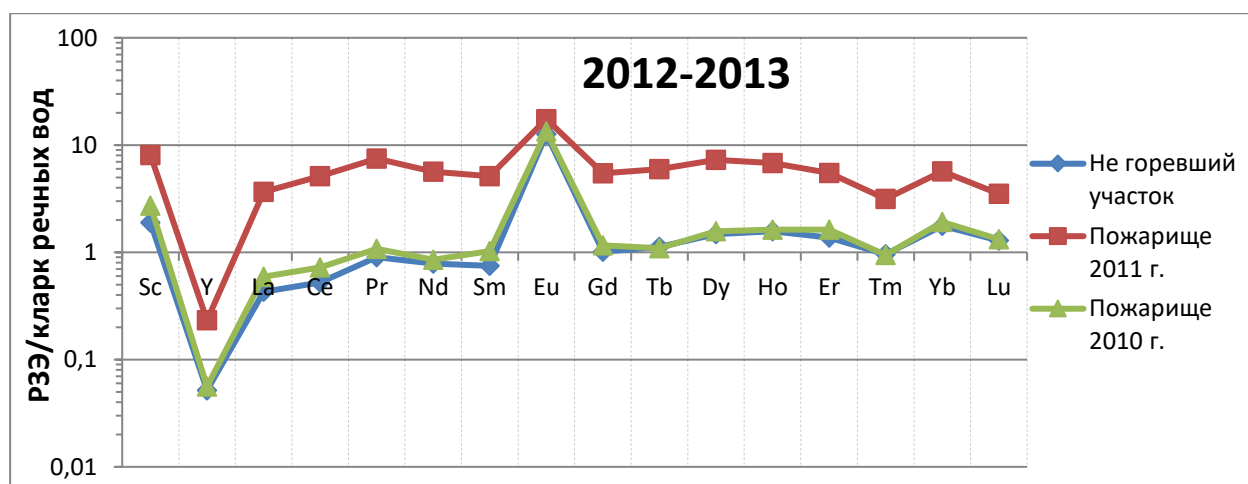


Рисунок 3.13. Содержания редкоземельных элементов в талой воде снежного покрова исследуемых участков зимой 2012-2013 гг., нормированные на кларк речной воды.

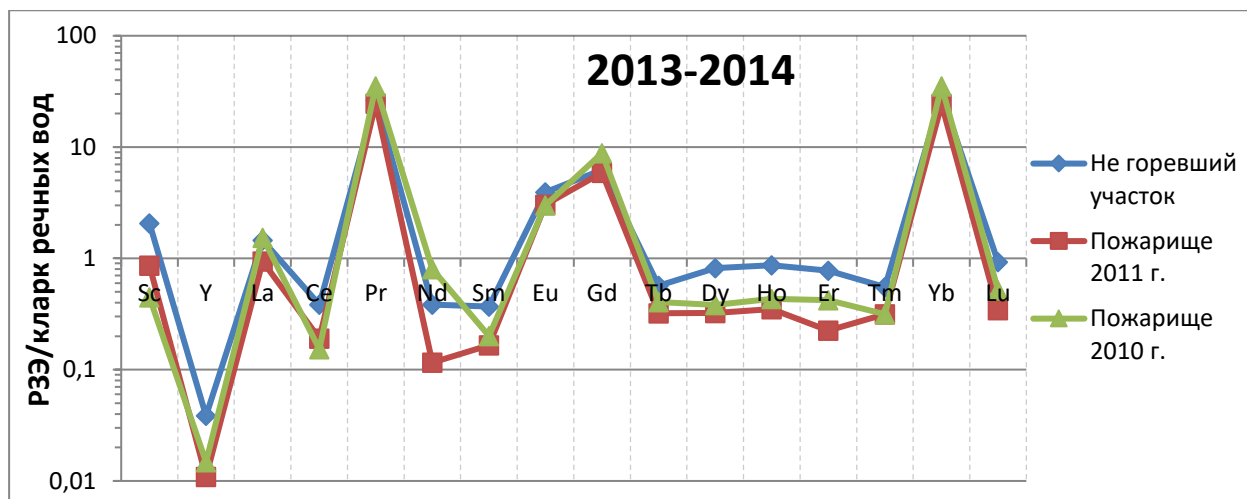


Рисунок 3.14. Содержания редкоземельных элементов в талой воде снежного покрова исследуемых участков зимой 2013-2014 гг., нормированные на кларк речной воды.

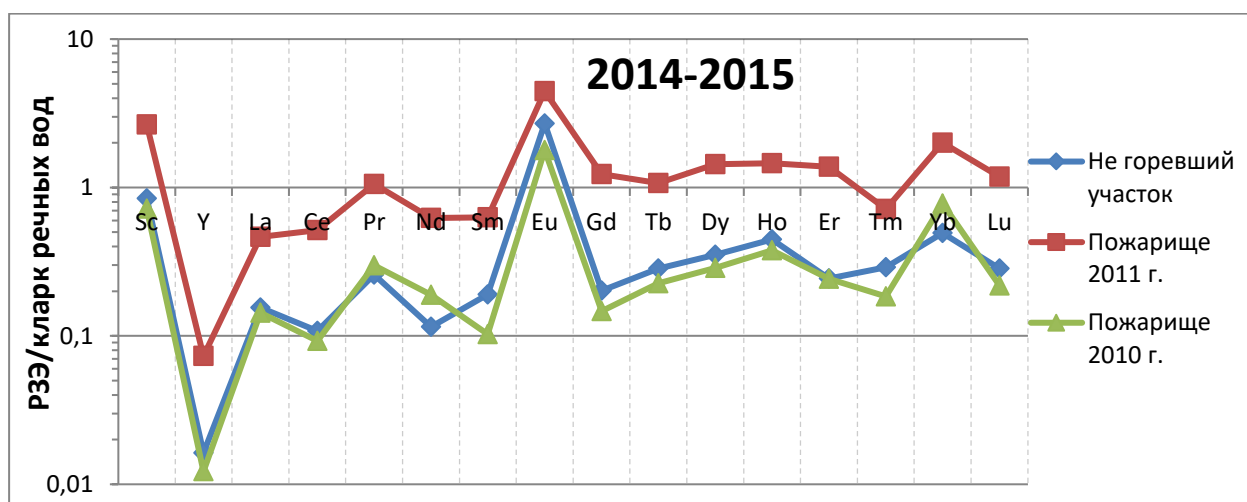


Рисунок 3.15. Содержания редкоземельных элементов в талой воде снежного покрова исследуемых участков зимой 2014-2015 гг., нормированные на кларк речной воды.

Повышение содержания РЗЭ весной в речной воде связано с выносом их растворимой формы с талыми стоками из районов лесных пожаров. Можно предположить, что более напряженные в лесопожарном отношении сезоны будут приводить к более значительному повышению содержания РЗЭ в водах рек. Чтобы характеризовать поведение элементов в речной воде, мы также использовали геохимические спектры распределения (рис. 3.16,

3.17). Нормирование производилось на кларк речной воды [Справочник по гидрохимическим..., 1990].

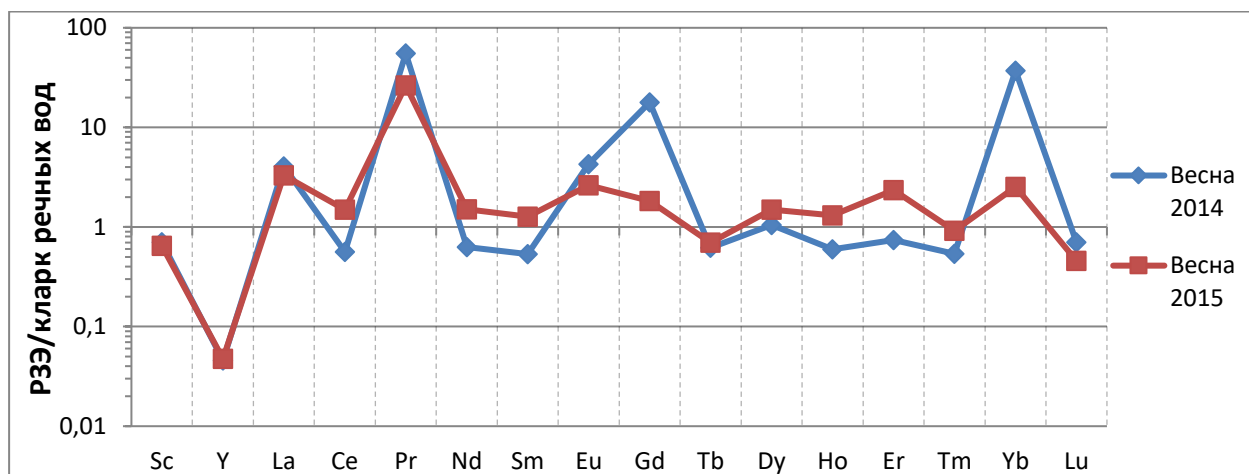


Рисунок 3.16. Содержания редкоземельных элементов в весенних образцах речной воды замыкающего створа исследуемой речной системы (точка наблюдения №6, рис. 3.7), нормированные на кларк речной воды.

Основная особенность весенних наблюдений заключается в повышенном содержании большинства представителей РЗЭ в образцах, взятых в 2015 г. по сравнению с образцами 2014 г. Исключения составляют Pr, Gd, Eu, Yb, Lu. Причиной повышенного содержания РЗЭ весной 2015 г. могла быть напряженная лесопожарная обстановка в районе исследования летом 2014 года, которая вызвала повышенный химический вынос в реки ближайшей весной.

Содержание РЗЭ в осенних образцах в основном ниже или близко к кларку, за исключением некоторых аномалий, происхождение которых пока не ясно.

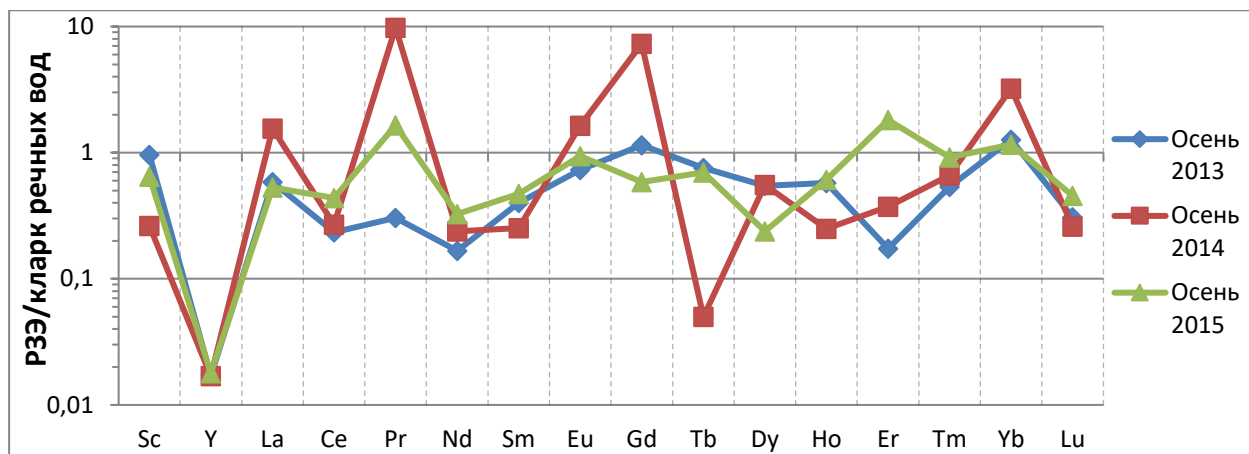


Рисунок 3.17. Содержания редкоземельных элементов в осенних образцах речной воды замыкающего створа исследуемой речной системы (точка наблюдения №6, рис. 3.7), нормированные на кларк речной воды.

Более подробное объяснение поведения РЗЭ в талых водах снежного покрова и в речных водах районов лесных пожарищ требует дополнительных исследований, концентрации элементов очень малы и возможны погрешности при анализе следовых содержаний без концентрации. Например, пока не ясны причины пониженных по отношению к кларку содержаний иттрия как в речных, так и в талых снеговых водах. Также требуют дополнительного изучения наблюдаемые повышенные содержания Pr, Eu, Gd и Yb в образцах, отобранных в различных условиях и проанализированных в разное время.

Изучение снежного покрова, обладающего свойством интегрального накопления загрязняющих веществ, позволило установить основные процессы, определяющие миграцию химических элементов на пожарищах. На протяжении нескольких лет после прохождения огня на образовавшихся пожарищах устанавливается кислая среда, наблюдается повышенная минерализация, трансформация химического состава снежного покрова: возрастает роль гидрокарбонат-иона, значительно повышается концентрация тяжелых металлов – цинка, кадмия, марганца, железа. Анализ данных методами математической статистики позволил раскрыть поведение различных групп элементов под влиянием последствий пожаров.

В снежном покрове на пожарищах 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.

Установлено влияние загрязнения снежного покрова на химический вынос в реки. 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. 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.

Напряженные в лесопожарном отношении сезоны создают условия для повышения модуля стока с пострадавших территорий весной

последующего года. Увеличенные показатели расхода воды в реке Брянка закономерно связаны с большим количеством пожаров на водосборной территории в предшествующие годы. Гидрологический эффект лесных пожаров при соответствующем гидрометеорологическом фоне может привести к усилению эрозионных процессов и необратимым изменениям в водосборных бассейнах.

ГЛАВА 4

АЭРОЗОЛЬНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ ОТ ЛЕСНЫХ ПОЖАРИЩ

При сгорании лесных горючих материалов (древесина, кустарник, трава, мох, лишайник и т.д.) выделяются как газовые продукты горения, так и аэрозольные дымовые частицы. Массовая доля аэрозольной эмиссии варьируется от 1-2 до 5-7% от количества сгоревшей биомассы, в зависимости от условий горения [Самсонов и др., 2008].

Но кроме этого лесные участки, пострадавшие от крупных пожаров, способны долгое время поставлять в атмосферу частицы, образующиеся вследствие постепенного разрушения обугленной растительности. В рассматриваемой главе представлены результаты исследования загрязнения окружающей среды, связанные с этим типом воздействия

4.1. Поступление аэрозолей в окружающую среду при пожарах

В период с 2000 по 2010 гг. сотрудниками Института химической кинетики и горения СО РАН и Института леса СО РАН было выполнено свыше 30 натурно-модельных экспериментов в нескольких таежных районах Красноярского края. Сжигание больших лесных участков в полной мере воспроизводило поведение реальных лесных пожаров. Опыты на площадках 6х12 м позволили воспроизвести дымовую эмиссию, возникающую при горении биомассы. Ввиду ландшафтных, погодно-климатических и структурных особенностей сибирских лесов, лесные пожары на данной территории преимущественно низового типа, при которых сгорает наземный лесной покров, в то время как взрослые деревья повреждаются сравнительно слабо. В результате экспериментов оценено воздействие пожара на лесные экосистемы, в том числе определено количество сгоревшей биомассы с единицы площади [Самсонов и др., 2010]. Производился отбор дымовых аэрозолей путем прокачки дыма через аэрозольные фильтры. Дисперсные характеристики дымовых частиц определялись методами инерционной

каскадной импакции и оптическими счетчиками (анализаторами) аэрозольных частиц. Производилось сепаратное осаждение частиц разных размеров из дымового потока на стеклянные пластины инерционных импакторов двух типов: в диапазоне от 30-40 до 1-3 мкм – на пятиступенчатый прямоугольный каскадный импактор, от 10 до 100 мкм – на ротационный импактор открытого типа. На рисунке 4.1 в гистограммном виде показано полученное авторами массовое распределение по дисперсным фракциям дымовой эмиссии, отдельно собранной на пять ступеней каскадного импактора.

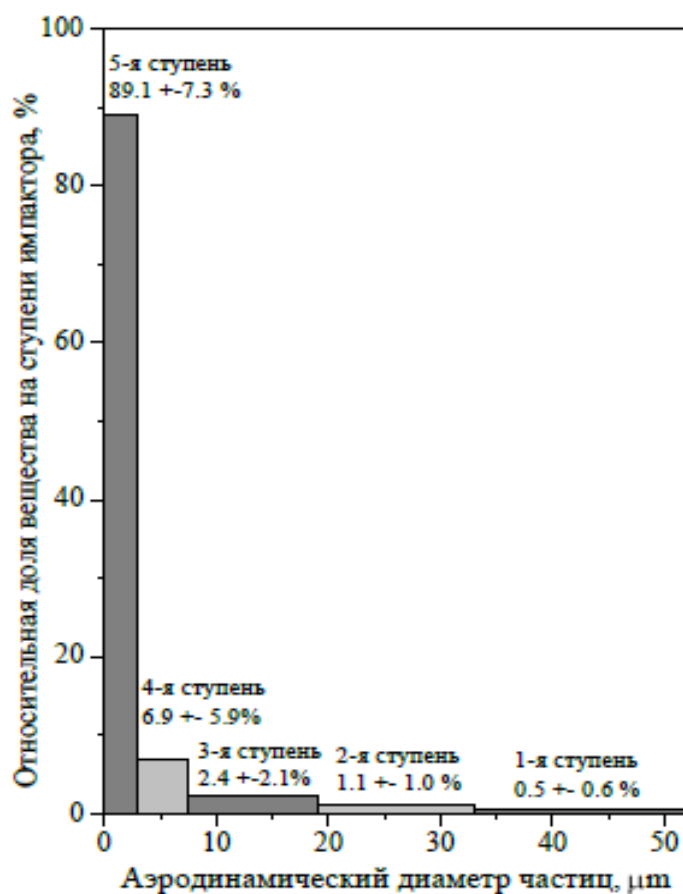


Рисунок 4.1. Массовое распределение дымовой эмиссии по пяти дисперсным фракциям (усреднение по данным 19 пожарных опытов 2007-2010 гг.) [Самсонов и др., 2011].

Распределение получено при усреднении данных от импакторного измерения фракционного состава эмиссии в 19 натурно-модельных пожарах. Основная масса дымовой аэрозольной эмиссии (90-95%) заключена в тонких частицах менее 3-5 мкм. Суммарная доля грубодисперсных частиц, крупнее 5-7 мкм, относительно мала – около 5-10%. Измерения оптическим счетчиком тонких фракций дымовой эмиссии (0.3-8 мкм), соответствующие 4-й и 5-й ступеням импактора, показали, что среднегеометрические размеры частиц при разных условиях горения биомассы варьировались в диапазоне 0,35-1,0 мкм, а медианно-массовые размеры – 1-2 мкм.

Морфологические структуры грубодисперсных дымовых частиц, диаметром 20-50 мкм и более, соответствуют как минерально-почвенным веществам (кварцевые песчинки), так и не полностью сгоревшим растительным крупинкам (пепел). Тонкие дымовые частицы обычно содержат в себе вещества, характерные для лесной биомассы (желто-коричневые хвойные смолы и лигнины), а также большое количество элементного (черного) углерода. Смолистые частицы образуются, главным образом, при тлеющем горении смолистой хвойной древесины, черные обугленные частицы – при интенсивном пламенном горении [Самсонов и др., 2010].

Изучение химического состава дымовых частиц показывает, что около 80% массы дымовой эмиссии составляют разнообразные органические вещества (рис. 4.2). Они являются продуктами термической сублимации (испарения) и химической декомпозиции лесных горючих материалов (биомассы), включая древесные смолы, лигнины, воски, термически разложившуюся целлюлозу. Средняя доля элементного углерода (сажа, древесный уголь) составляет примерно 10%, доля веществ минерально-почвенного происхождения в среднем также оценивается в 10 %.

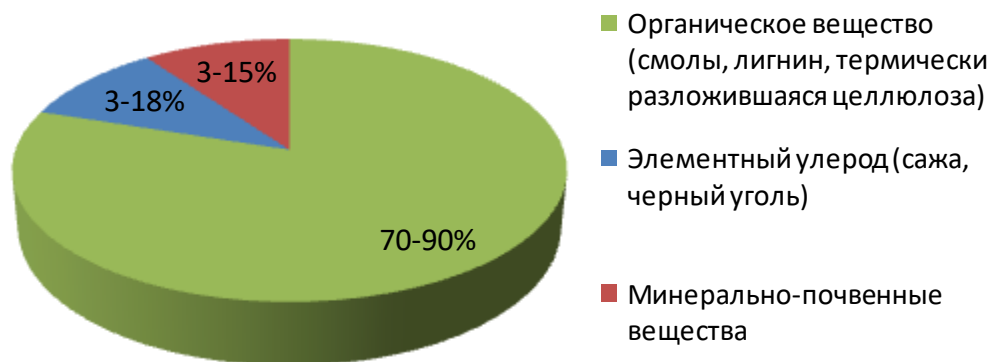


Рисунок 4.2. Обобщенный химический состав дымовых частиц [Самсонов, Иванова, 2014].

Для оценки объема дымовой эмиссии, изучения ее микроэлементного состава, а также для определения элементного состава зольного остатка, в разное время исследователями проводились эксперименты по лабораторному сжиганию лесных горючих материалов [Попова и др., 2012; Иванов, Макаров, 2002]. Проводилось моделирование пространственно-временного поведения дымовых облаков с использованием аэрозольного генератора с возможностью регулирования дисперсного состава [Куценогий и др., 2001, 2009].

Полученные данные о поведении, концентрациях и дисперсных размерах дымовых частиц дают основу для количественных и качественных прогнозов химического, экологического и медицинского воздействия пожарных дымов на качество приземной атмосферы и условия жизни населения на территориях, находящихся в створе ветрового переноса дымов от лесных пожаров. Дымовые частицы с субмикронными и околомикронными размерами могут попадать в органы дыхания людей и животных и задерживаться там, что создает потенциальную опасность для здоровья [Самсонов, Иванова, 2014].

В литературе приводится описание трех одновременно протекающих процессов образования дымовой аэрозольной эмиссии при лесном пожаре [Самсонов и др., 2010].

С горящего растительного покрова (мох, лишайник, травы, древесный и хвойный опад, кустарники) в атмосферу выносятся почвенные пылинки, подхваченные восходящими потоками горячего воздуха. Такие пылевые частицы накапливаются на поверхности растений (в трещинах коры, на опавшей хвое, в моховом слое) задолго до пожара, в течение многих лет. Их источником могут служить дальний атмосферный перенос пылевых загрязнений (например, с аридных территорий) либо региональные процессы (пыльные бури, сезонная вспашка земли, горнорудные и дорожно-строительные работы). При горении происходит высокотемпературный прогрев крупинок, в результате которого они могут дезинтегрироваться на мелкие частички. Вместе с газовыми продуктами горения эти частички увлекаются в атмосферу. Химический состав таких частиц можно условно называть минерально-почвенным, поскольку он отражает минеральный состав почв в местах происхождения частиц (удаленные аридные территории, местные почвы).

Можно полагать, что минерально-почвенная компонента дымовой эмиссии будет включать в себя окись кремния (кварцевые песчинки), окиси железа и алюминия, природные силикаты, сульфаты и карбонаты кальция, другие типы химических окислов и солей. Размеры частичек должны быть относительно большими, от нескольких микрон (дезинтегрированные глинистые материалы) до десятков микрон (крупные кварцевые песчинки). По оценкам исследователей, доля минерально-почвенных частиц в дымовой эмиссии составляет 3-15%.

Второй процесс связан с образованием дымовой эмиссии при горении крупинок растительных материалов в зоне пламенного горения биомассы. Крупинки постоянно поступают в пламя вследствие термомеханического разрушения горячей биомассы: механические напряжения и растрескивание

нагретой древесины, перегрев и «вскипание» влаги и смоловых веществ внутри растительного материала. Органический материал выгорает частично или полностью, крупинки уменьшаются в размерах и выносятся горячими потоками за пределы пламени. Здесь частицы остывают, формируя дымовую эмиссию. Даже при полном сгорании органического материала в крупинке (превращение органики в газовые продукты) она не исчезает полностью. В биохимический состав растений всегда входит небольшое количество (0,1% суммарно) биофильных элементов, таких как калий, кальций и другие. Предположим, что размер исходной растительной крупинки был 100 мкм. Вследствие кубической зависимости массы частицы от ее размера, после полного сгорания органики останется частица размером 10 мкм, состоящая из минерального вещества типа $K_2CO_3/CaCO_3$. Вряд ли можно полагать, что исходные крупинки будут иметь размеры меньше 50-100 мкм. Поэтому дымовые частицы, после полного или частичного выгорания органики, будут иметь размеры 5-10 мкм и более. Химический состав частиц должен, во-первых, характеризоваться повышенным содержанием калия и кальция. Во-вторых, в их состав могут входить несгоревшие органические вещества в виде термически разложившейся целлюлозы (природный полимер целлюлоза – основа растительной биомассы) и других компонентов биомассы. Кроме того, при сильном нагреве частицы может произойти частичное или полное обугливание (карбонизация) целлюлозы в элементный углерод (сажа). Согласно результатам натурных экспериментов, исследователи приходят к выводу, что по данному механизму формируется 3-15% пожарных аэрозолей.

Третий процесс формирования дымовой эмиссии связан с тем, что из прогретого растительного материала испаряется (сублимируется) большое количество паров органических веществ, входящих в древесный состав (смолы, лигнины, деструктурированная целлюлоза). Именно эти горючие пары образуют зону пламенного горения. Большая часть паров сгорает, но некоторая часть остается несгоревшей (например, на периферии зоны горения), пары попадают в более холодную зону над пламенем и

конденсируются в частички субмикронных размеров. Здесь же протекают процессы коагуляции, формируя более крупные частицы. По физико-химическим причинам можно полагать, что в условиях горения биомассы невозможно формирование крупных частиц (от нескольких микрон до десятков микрон) за счет конденсации и коагуляции. Поэтому следует ожидать, что по данному механизму будут образовываться в основном субмикронные и околосмикронные дымовые частицы.

Их химический состав должен отражать состав веществ, испаряющихся (сублимирующихся) из растительного материала. Кроме того, при термическом разрушении растительных клеток в зону конденсации и коагуляции попадают молекулы биоактивных неорганических элементов, например K_2CO_3 . Эти молекулы также инкорпорируются в суб- и околосмикронные дымовые аэрозоли. Предполагается, что основная масса (до 90%) дымовых аэрозолей формируется по конденсационно-коагуляционному механизму [Самсонов и др., 2010].

Следует учитывать, что при интенсивном пожаре витающим в зоне горения крупинкам биомассы и парам органических соединений, постоянно выделяющимся из прогретого растительного материала, труднее миновать обширную зону пламенного горения без глубокой степени выгорания. Это приводит к уменьшению концентрации аэрозольного вещества (т.е. не полностью сгоревшего органического материала) в дымовой эмиссии. С другой стороны, в условиях интенсивного пожара происходит более глубокое выгорание общего запаса горючих материалов, так что суммарное количество аэрозольной эмиссии может быть даже выше, чем при относительно медленном горении/дымлении.

4.2. Нерастворимые дисперсные частицы в снежном покрове пирогенно поврежденных лесных территорий.

При проведении мониторинговых исследований нами ставилась задача проследить динамику изменения размера и химического состава частиц аэрозоля, выделяющегося с пожарищ в течение экспериментальных работ и в конечном итоге определить степень влияния последствий лесных пожаров на накопление и миграцию дисперсных аэрозольных частиц.

Описанные в литературе механизмы попадания загрязнителей в снежный покров позволяют предполагать, что эти частицы накапливались в снегу вследствие сухого осаждения атмосферных аэрозолей. Об этом свидетельствует скорость накопления веществ, т.е. разность между начальной концентрацией компонентов в снежном покрове и их концентрацией спустя некоторый промежуток времени [Иванов, Кашин, 1989]. Кроме того, возможно, некоторые тонкодисперсные частицы попали в снежный покров с выпадением атмосферных осадков, содержась в снежинках в качестве ядер конденсации.

Зимой 2014-2015 года нами исследовались 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 пожарищ 2010 и 2011 годов, и около 10 км от пожарища 2014 года. Это обеспечило возможность сравнить уровни загрязнения непосредственно в месте пожарищ различной давности и в зоне их атмосферного влияния. На каждом участке отбиралось по 5 образцов снежного покрова, каждая проба содержала снег с площади 0,25 м². Масса выделенных из образцов частиц представлена в таблице 4.1.

Таблица 4.1. Масса нерастворимых дисперсных частиц в снежном покрове обследуемых участков.

Участок обследования	Зона атмосферного переноса	Пожарище 2010 г. (4 года после пожара)	Пожарище 2011 г. (3 года после пожара)	Пожарище 2014 г. (зима после пожара)
Масса частиц на 1 м ² площади, г	$\frac{0,32-0,84}{0,48}$	$\frac{0,64-1,24}{0,92}$	$\frac{0,16-0,76}{0,56}$	$\frac{0,68-2,96}{1,88}$
Объем снега на исследуемых участках, дм ³	$\frac{42,5-62,5}{51,5}$	$\frac{37,5-55}{46}$	$\frac{30-47,5}{39}$	$\frac{35-52,5}{43,5}$
Масса частиц в 1 м ³ снега, г	2,33	5	3,59	10,81

Примечание: в числителе указаны минимальные и максимальные значения по пяти точкам наблюдения, в знаменателе – среднее значение.

Увеличенные показатели общей массы нерастворимых дисперсных частиц в снеге, отобранном на пожарищах, по сравнению с показателями зоны атмосферного переноса, позволяют предположить нахождение в снеге продуктов пирогенного повреждения древесины. Средний объем снега в образцах из зоны атмосферного переноса больше, чем в образцах, взятых на пожарищах, а общая масса нерастворимых частиц в снеге этого участка меньше. На основании этого можно предположить, что наиболее тяжелые частицы оседают непосредственно в зоне пожарищ.

Снимки частиц со всех исследованных участков, полученные с помощью электронного микроскопа, позволили посчитать среднее количество частиц различных фракций. На рисунке 4.3 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).

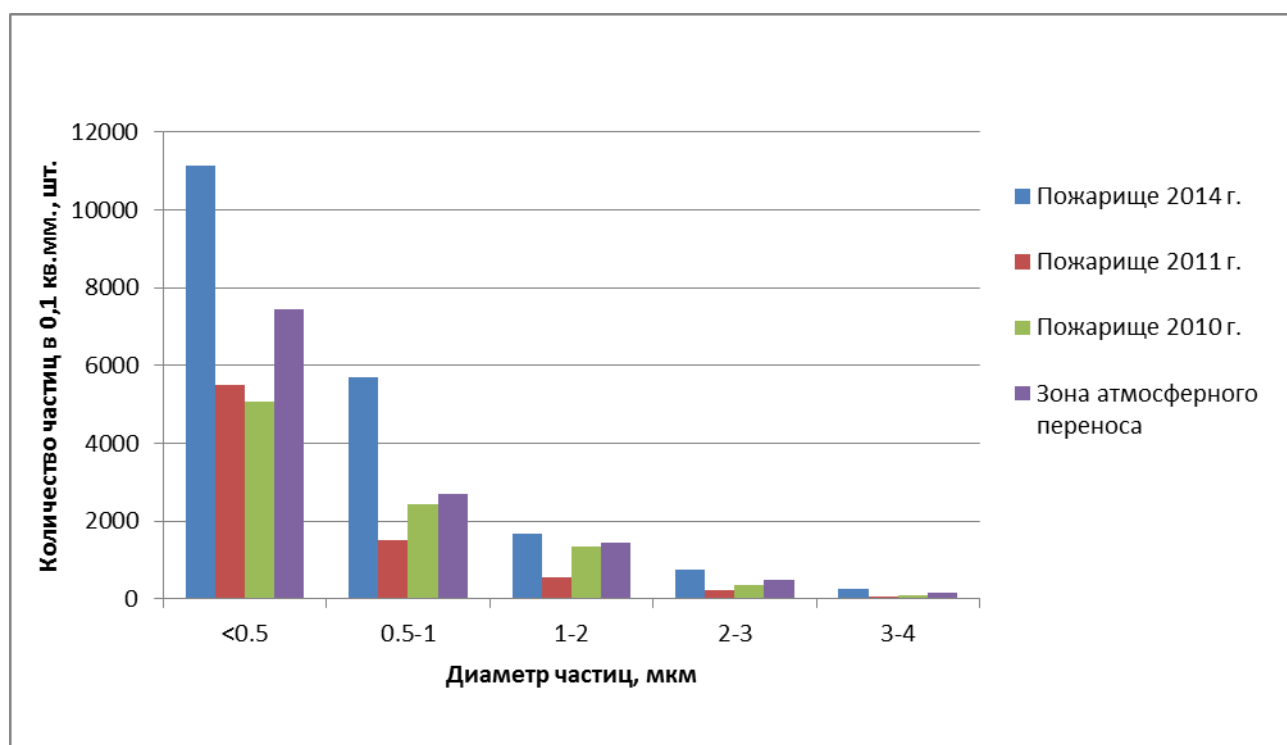


Рисунок 4.3. Распределение дисперсных частиц по размерам на 0,1 мм² площади электронных снимков.

Как видно из представленной диаграммы максимальное количество частиц всех размеров фиксируется на пожарище 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 которых превышает 1 год. Хотя, как видно из таблицы 4.1, 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 можно подтвердить, вычислив процентное

соотношение размеров дисперсных частиц по всем обследованным участкам (таблица 4.2).

Таблица 4.2. Процентное соотношение количества дисперсных частиц по размерам на обследованных участках

Диаметр частиц, мкм	Зона атмосферного переноса, %	Пожарище 2010 г. (4 года после пожара), %	Пожарище 2011 г. (3 года после пожара), %	Пожарище 2014 г. (зима после пожара), %
<1	81,61	78,72	85,50	84,72
1-5	17,76	20,30	13,50	14,05
5-10	0,58	0,86	0,93	1,08
>10	0,04	0,12	0,07	0,14

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.

По данным таблицы 4.2 на всех участках около 80% от количества частиц представлены субмикронной и околомикронной 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 должны содержать углерод, либо в составе негоревших 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.

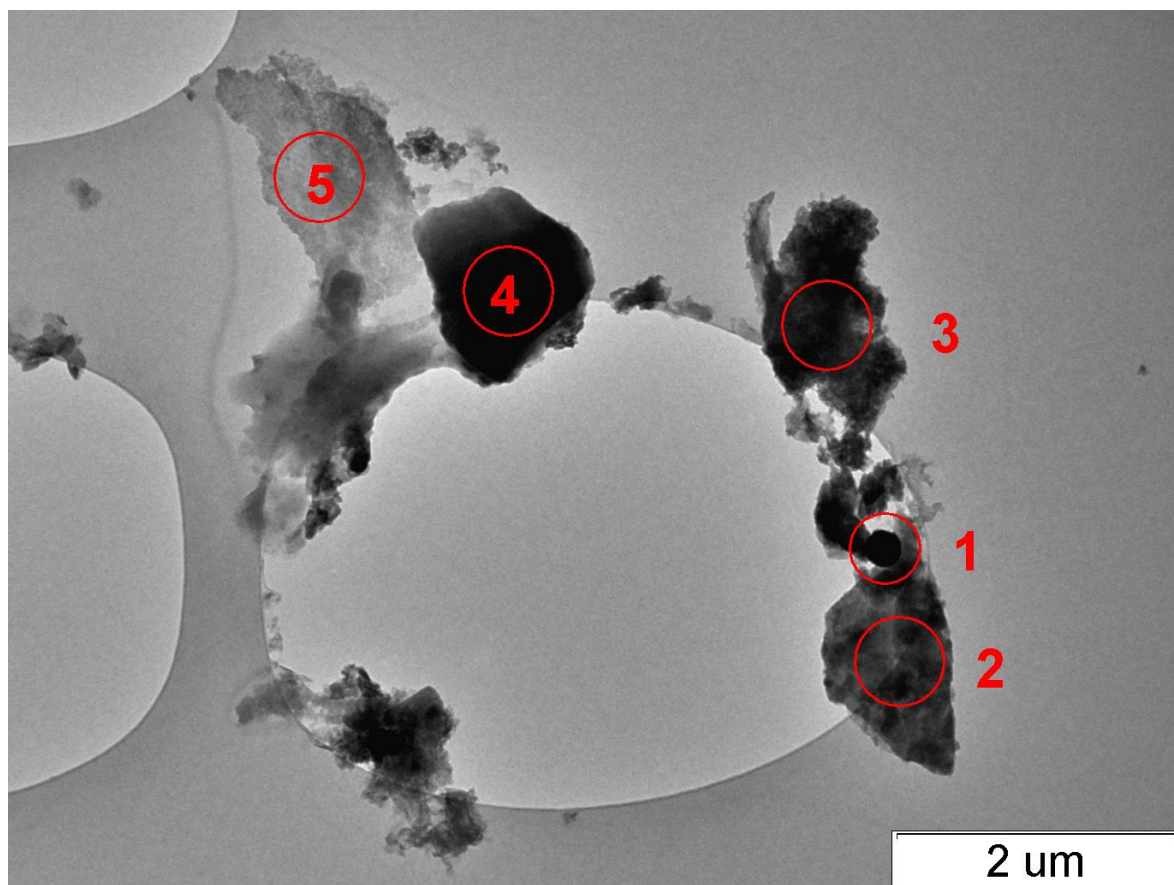


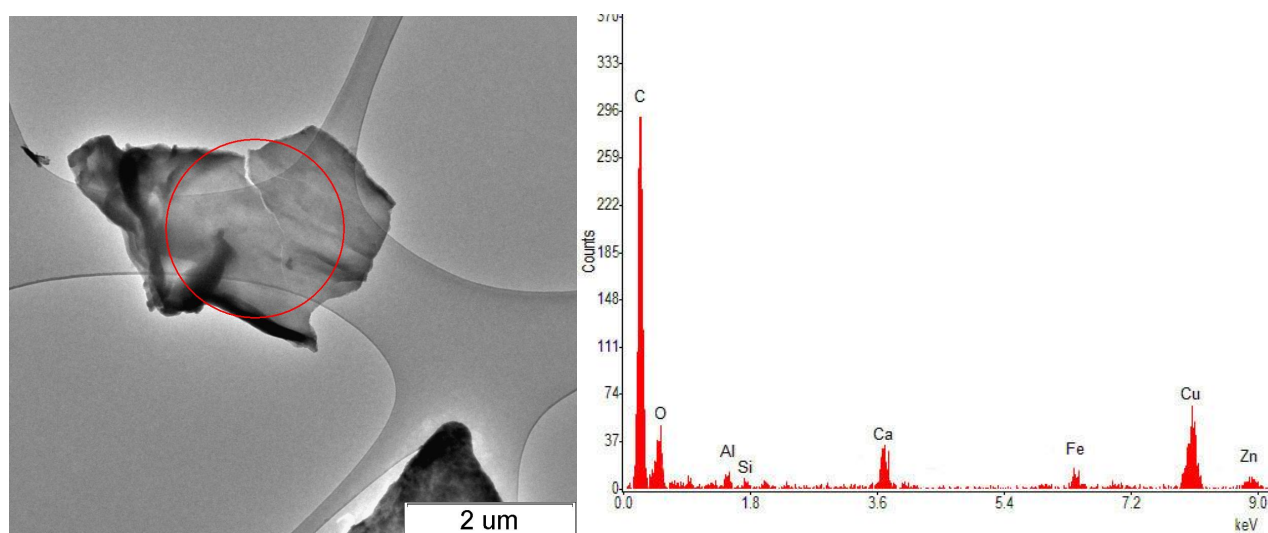
Рисунок 4.4. Частицы, характерные для снежного покрова пожарища в первую послепожарную зиму. Примечание: красными кругами выделены области зондирования EDX-элементного анализа.

Область под номером 1 на рисунке 4.4, согласно данным анализа, содержит в основном оксиды железа и меди. Эта минерально-почвенная 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. Углеродистые частицы в снежном покрове пожарища в первый послепожарный год представлены различными размерами – от субмикронных конденсированных фракций до относительно крупных крупинок пироженно поврежденного растительного материала.

Необходимо отметить, что количество частиц, содержащих в себе углерод и его соединения и предположительно возникших вследствие пирогенного повреждения растительности, 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 также обнаружено значительное количество крупных частиц, содержащих углерод (рис. 4.5). Широко представлены частицы минерально-почвенного происхождения (рис. 4.6, 4.7, 4.8) и субмикронные углеродистые частицы явно коагуляционного происхождения (рисунок 4.6, 4.9).



Название элемента	C	O	Al	Si	Ca	Fe	Cu	Zn
Содержание в выделенной области, %	62,36	9,23	2,58	1,85	6,46	3,14	12,18	2,21

Рисунок 4.5. Частица, характерная для снежного покрова лесных пожарищ и ее EDX-спектр.

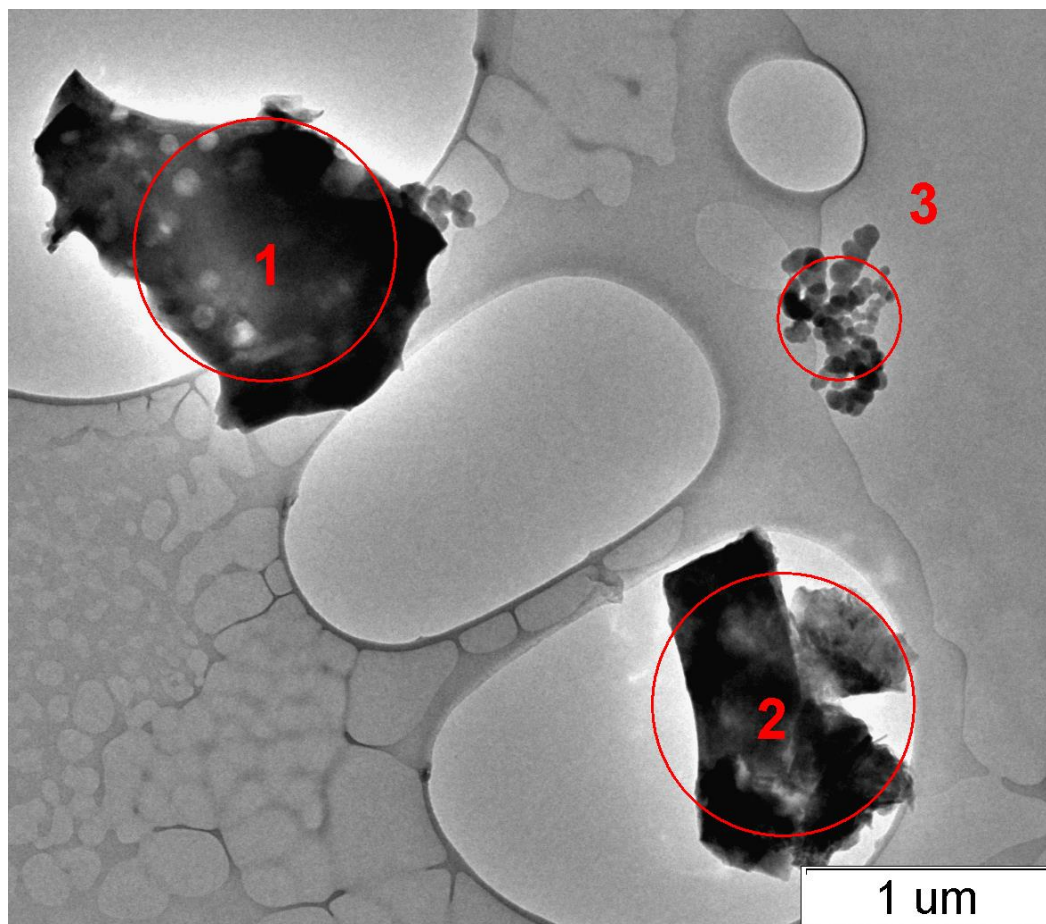
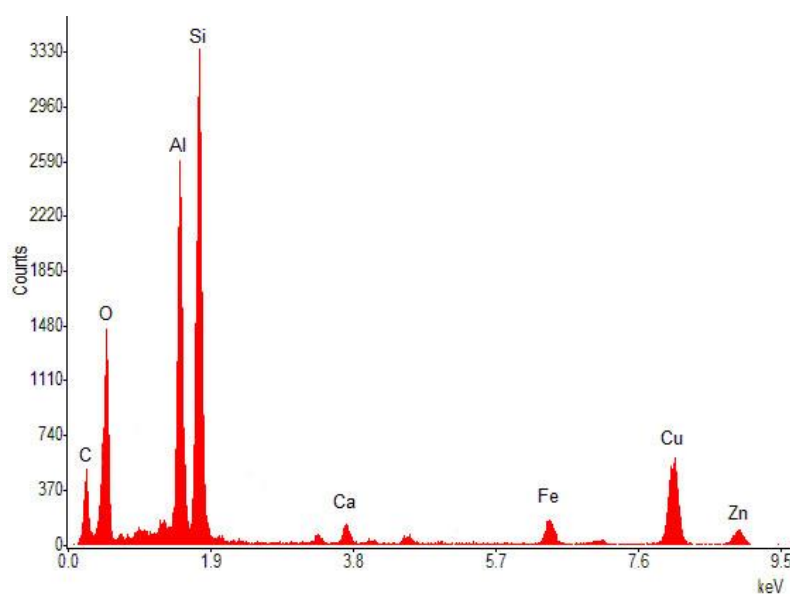


Рисунок 4.6. Частицы, характерные для снежного покрова лесных пожарищ. Примечание: выделены области зондирования, EDX-спектры для которых даны на рисунках 4.7, 4.8 и 4.9.



Название элемента	Содержание в выделенной области, %
C	5,75
O	16,55
Al	29,02
Si	37,03
Ca	1,62
Fe	2,20
Cu	6,63
Zn	1,20

Рисунок 4.7. EDX-спектр области 1 на рисунке 4.6.

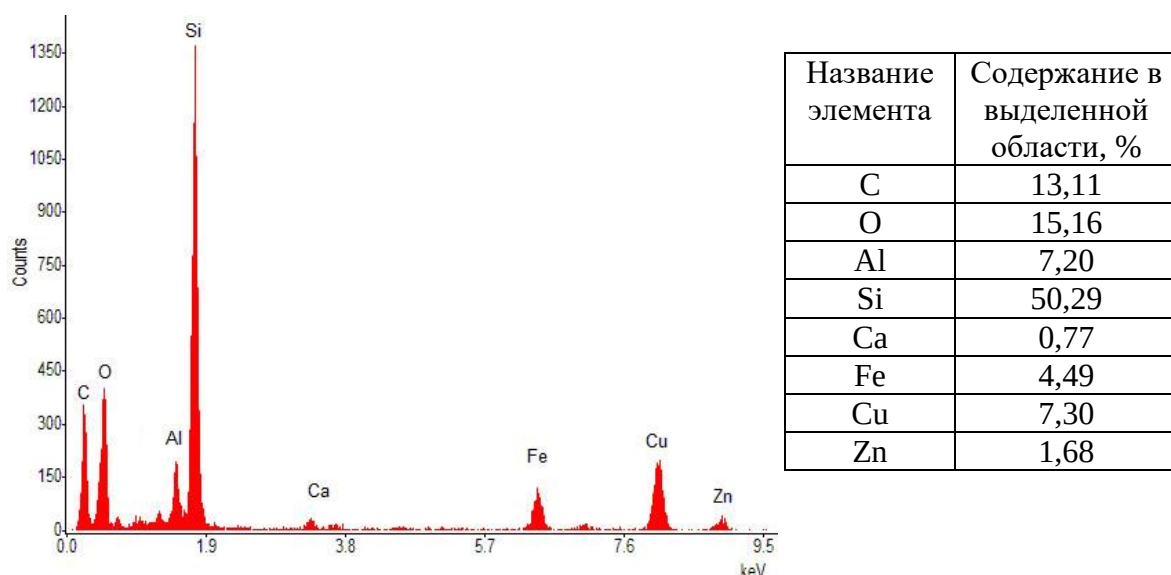


Рисунок 4.8. EDX-спектр области 2 на рисунке 4.6.

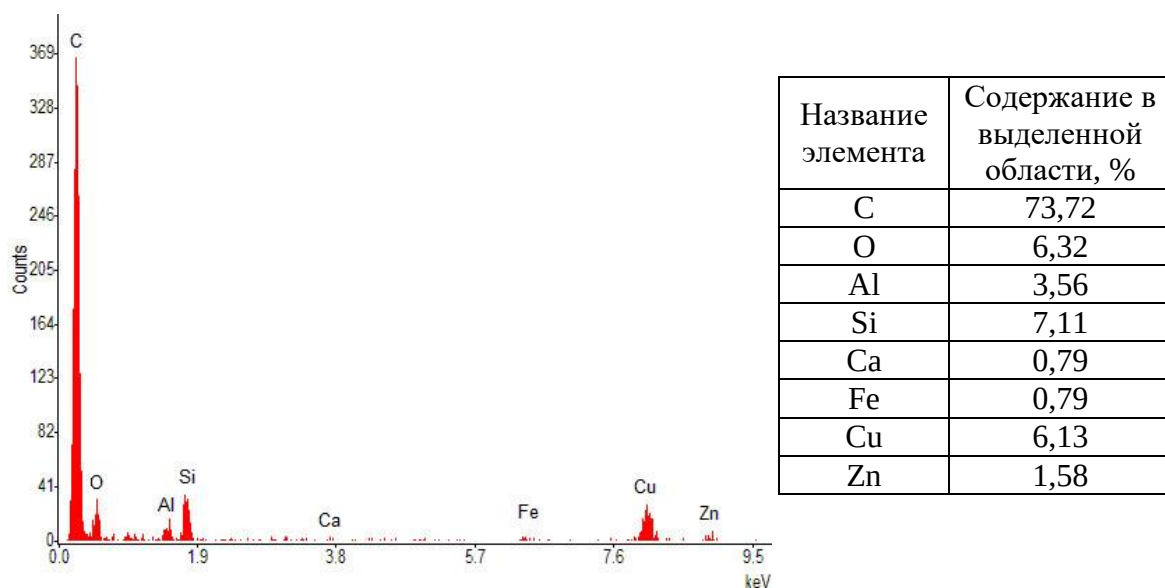


Рисунок 4.9. EDX-спектр области 3 на рисунке 5.4.

Результаты спектроскопии частиц зоны атмосферного переноса показали, что частицы околomикронного размера представлены в основном углеродом и его соединениями, судя по структуре, сформированными по конденсационно-коагуляционному механизму (рис. 4.10, 4.11, 4.12).

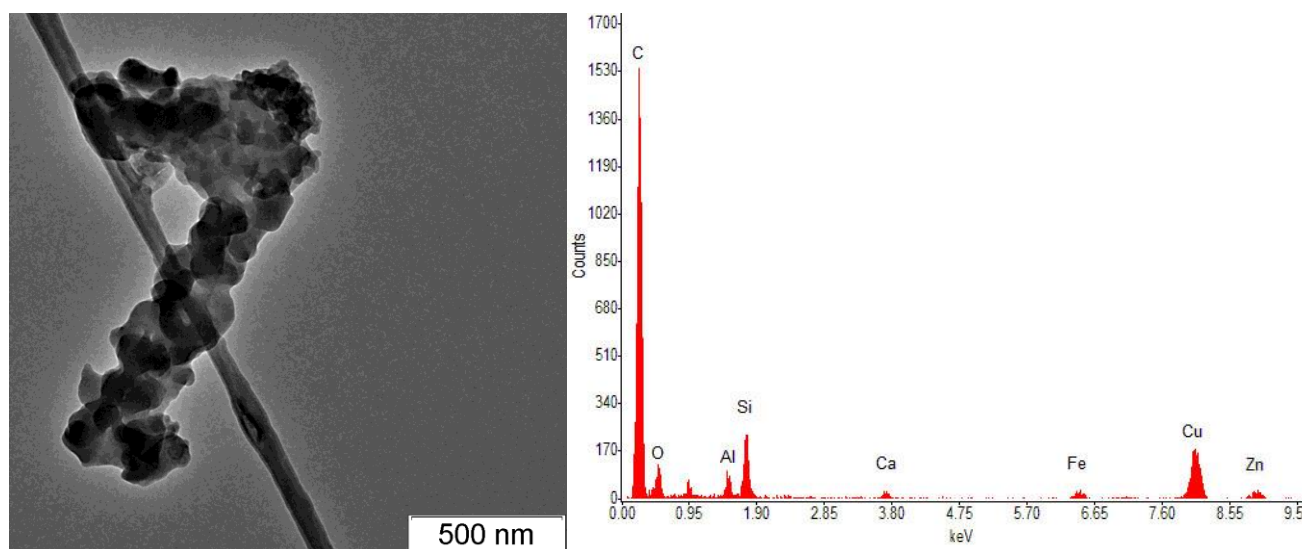


Рисунок 4.10. Частица, характерная для зоны атмосферного переноса с пожарищ и ее EDX-спектр.

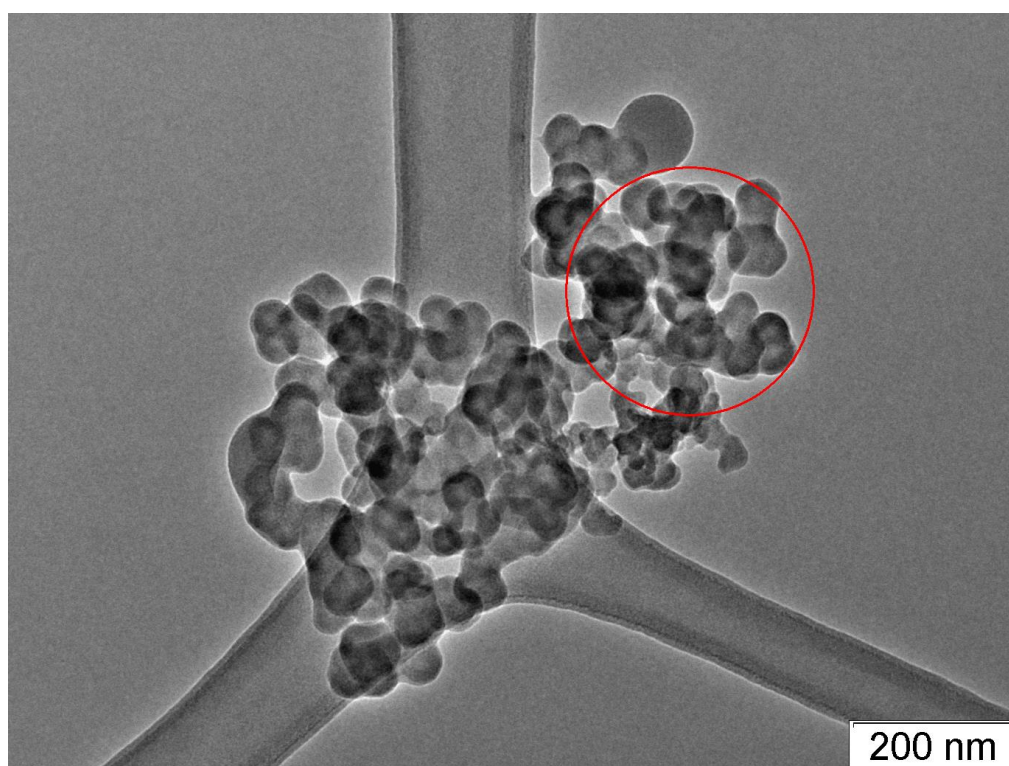


Рисунок 4.11. Конденсационно-коагуляционная частица субмикронного размера, характерная для зоны атмосферного переноса с лесных пожарищ.

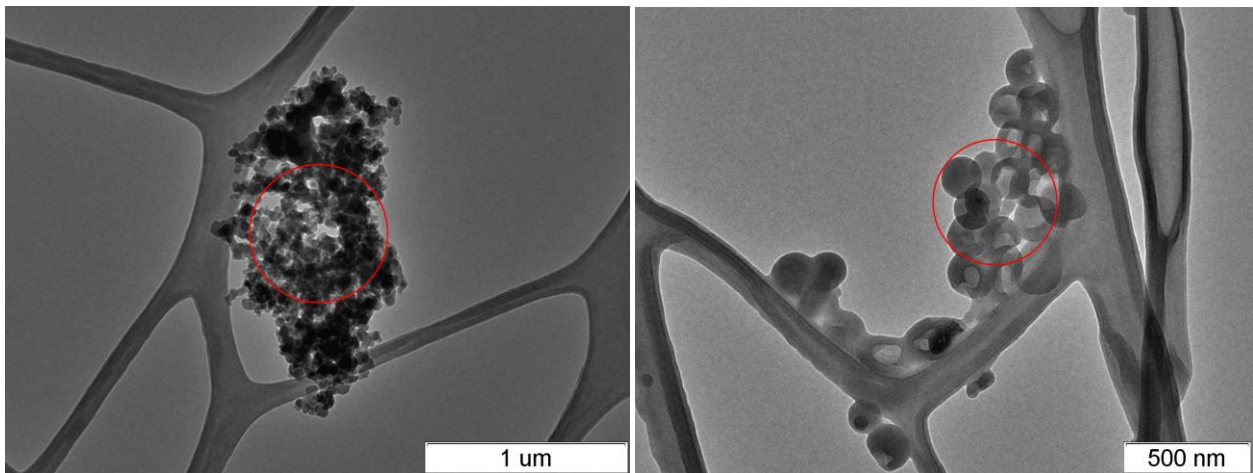


Рисунок 4.12. Конденсационно-коагуляционные частицы околомикронного размера, характерные для зоны атмосферного переноса с лесных пожаров.

Крупных частиц содержащих углерод в пробах с этого участка не обнаружено, фракции более 1 мкм представлены в основном минерально-почвенными частицами (рис. 4.13, 4.14, 4.15, 4.16).

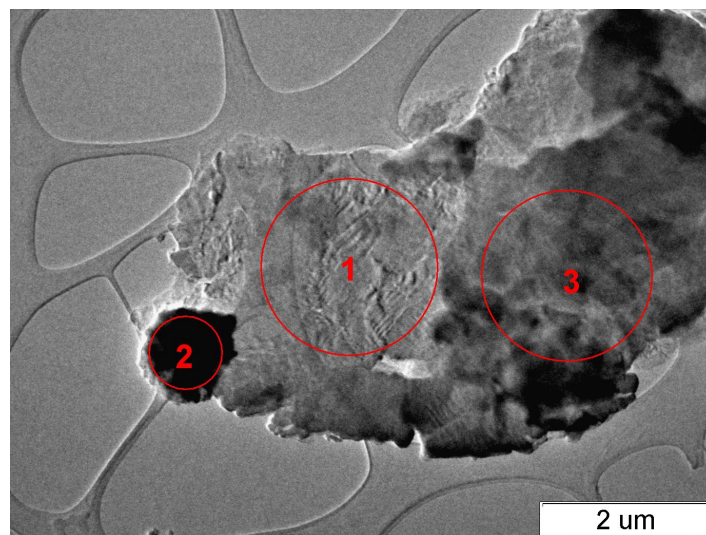
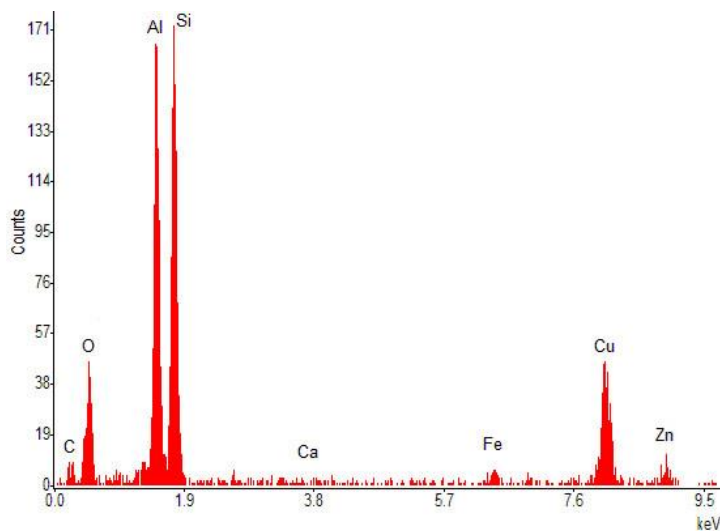
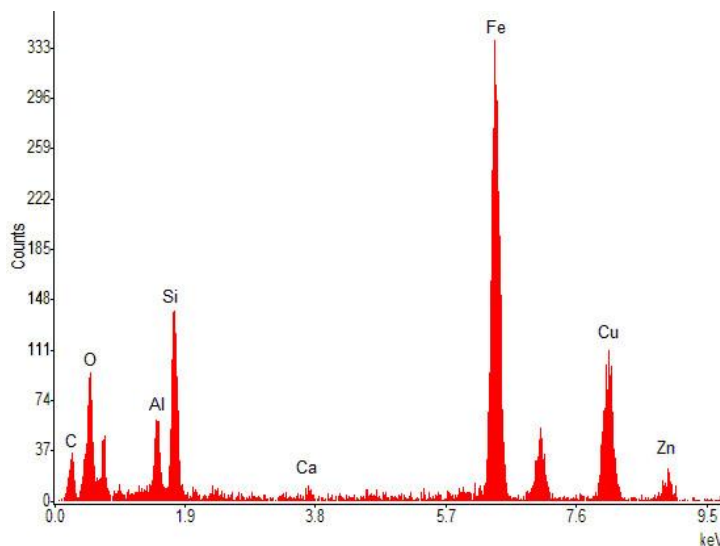


Рисунок 4.13. Частицы, характерные для снежного покрова зоны атмосферного переноса с пожаров. Примечание: EDX-спектры для выделенных областей даны на рисунках 4.14, 4.15 и 4.16.



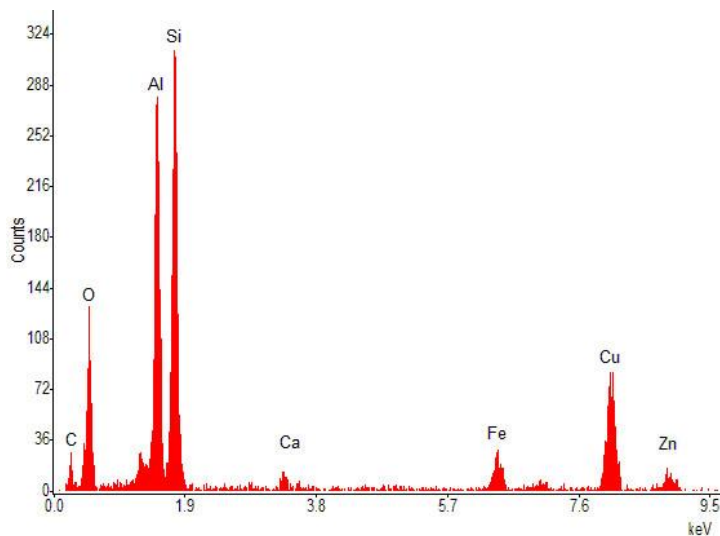
Название элемента	Содержание в выделенной области, %
C	2,26
O	11,73
Al	34,98
Si	35,60
Ca	0,41
Fe	1,44
Cu	11,11
Zn	2,47

Рисунок 4.14. EDX-спектр области 1 на рисунке 5.11.



Название элемента	Содержание в выделенной области, %
C	4,17
O	13,08
Al	9,36
Si	17,02
Ca	1,47
Fe	38,33
Cu	13,75
Zn	2,82

Рисунок 4.15. EDX-спектр области 2 на рисунке 5.11.



Название элемента	Содержание в выделенной области, %
C	3,10
O	14,63
Al	31,15
Si	35,81
Ca	0,67
Fe	3,33
Cu	9,42
Zn	1,88

Рисунок 4.16. EDX-спектр области 3 на рисунке 5.11.

Относительно крупные фракции (от 2 мкм и более) нерастворимых частиц в снежном покрове зоны атмосферного переноса представлены минерально-почвенными 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 околomикронные 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 (таблица 4.3). Количество используемых данных – 62 EDX-спектра.

Таблица 4.3. 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 пожаров в первый послепожарный год и в зоне атмосферного переноса с пожаров аккумулируется значительное количество частиц, содержащих в своем составе углерод. В первую зиму после пожара в образцах снега фиксируется наибольшая масса нерастворимых дисперсных частиц по сравнению с другими участками. Высокий процент углерода в их составе свидетельствует о наличии большого количества пироженно 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 околOMICронных 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. Повышенный процент железа, меди и цинка, связан с тем, что более кислая среда на третий год после пожара способствует переходу их в раствор. Высокое содержание этих элементов в талом растворе приводит к тому, что эти элементы сорбируются на частицах. На 4-й год после пожара процент частиц, содержащих железо, медь и цинк, заметно снижается. Необходимо отметить, что содержание меди в нерастворимых частицах является высоким (от 7,31 до 19,44 %) на всех исследуемых участках, включая зону атмосферного переноса с пожарищ.

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 минерально-почвенными образованиями.

Основная опасность дымовой эмиссии лесных пожаров заключается в огромном количестве мелкодисперсных частиц, выбрасываемых в атмосферу с конвективными потоками воздуха. Частицы субмикронных и околomикронных фракций образуются преимущественно по конденсационно-коагуляционному механизму за счет сублимируемого во время пожара органического вещества. Тонкодисперсные аэрозоли обладают повышенной миграционной способностью, оказывают негативное воздействие на оптические, химические и респираторные свойства приземной атмосферы.

В составе нерастворимых частиц снежного покрова, взятого с лесных пожарищ и зоны атмосферного переноса с них, обнаружено большое количество частиц субмикронных и околomикронных размеров, по своему химическому составу представляющих продукты термического разложения биомассы. Причем, углеродистые частицы более крупных фракций имеют свойство накапливаться непосредственно в зоне пожарищ. Суб- и околomикронные частицы углеродного состава вовлечены в активную атмосферную миграцию из зоны пожарищ. Большое количество тонкодисперсных частиц говорит о высокой экологической опасности, которую пожарища представляют в течение многих лет.

На пожарищах в первую послепожарную зиму и в зоне атмосферного переноса с пожарищ в снежном покрове обнаруживается наибольший процент нерастворимых частиц, содержащих, в своем составе углерод. Повышенный процент кальция в составе частиц в образцах первой послепожарной зимы говорит о присутствии в снеге золы. Постепенное уменьшение содержания кальция свидетельствует об удалении золы с пожарищ, что в свою очередь приводит к повышению кислотности среды. Рост миграционной способности железа, меди, цинка в более кислой среде способствует переходу их в раствор и затем к сорбции на частицах. Высокие проценты содержания этих элементов фиксируются в частицах снега, взятого не третий год после пожара. На пожарищах возрастом 3 и 4 года значительно

возрастает процент содержания алюминия и кремния. Это свидетельствует о постепенном снижении воздействия пирогенно поврежденной растительности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди лесов бассейна озера Байкал, наибольшую природную пожарную опасность представляют леса Селенгинского среднегорья. Характерным примером являются леса Заиграевского района Республики Бурятия. Согласно статистике, на этой территории ежегодно регистрируется наибольшее количество возгораний, по сравнению с другими лесничествами Республики. На основании данных о географическом распределении пожаров и природно-климатических условиях в Заиграевском районе Республики Бурятия 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 модуля стока с пострадавших территорий весной последующего года. Увеличенные показатели расхода воды в реке Брянка закономерно связаны с большим количеством пожаров на водосборной территории в предшествующие годы. 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. Большое количество тонкодисперсных частиц говорит о высокой экологической опасности, которую пожарища представляют в течение многих лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абаимов, А.П. Оценка и прогноз послепожарного состояния лиственницы Гмелина на мерзлотных почвах Средней Сибири / А.П. Абаимов, С.Г. Прокушкин, В.Г. Суховольский, Т.М. Овчинникова // Лесоведение. – 2004. – №2. – С. 3-11.
2. Абаимов, А.П. Экологическая и лесообразующая роль пожаров в криолитозоне Сибири / А.П. Абаимов, С.Г. Прокушкин, О.А. Зырянова, Ю. Каназава, К. Такахаша // Лесоведение. – 2001. – №5. – С. 50-59.
3. Абдуев, М.А. Связь гидрохимического режима с водным режимом рек большого Кавказа (в пределах Азербайджанской Республики) / М.А. Абдуев // Молодой ученый. – 2011. – №2. – Т.1. – С. 76-80.
4. Агроклиматический справочник по Бурятской АССР [Текст]. – Л.: ГИМИЗ, 1960. – 190 с.
5. Алекин, О.А. Основы гидрохимии. – Л.: Гидрометеиздат, 1970. – 413с.
6. Андрианов, В.А. Снежный покров как индикатор загрязнения Ландшафтов Северного Прикаспия / В.А. Андрианов, Е.Г. Булаткина, Г.И. Сокирко // Геология, география и глобальная энергия. – Астрахань, 2012. – №1. – С. 114-123.
7. Андрухова, Т.В. Динамика загрязнения снежного покрова твердофазным аэрозолем с 2002 г. по 2011 г. (на примере г. Барнаула) / Т.В. Андрухова, В.И. Букатый, И.А. Суторихин // Электронный физико-технический журнал. – 2012. – Т.7. – С. 11-19.
8. Анучин, Н.П. Лесная таксация : [учеб.] / Н.П. Анучин. – 5-е изд., доп. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 552 с.
9. Багова, В.З. Лесные пожары в бассейне реки Хилок / В.З. Багова, Л.М. Фалейчик // География и природные ресурсы. – 2006. – №1. – С. 54-59.
10. Безруков В.А., Ломаев А.А. Геологическая карта СССР масштаба 1:200000 листа М-49-І с объяснительной запиской. – М.: Недра, 1970.

11. Белан, С.В. Анализ влияния лесных пожаров на экологическое состояние водных объектов / С.В. Белан, О.В. Рыбалова // Пожарная безопасность: проблемы и перспективы : сб. ст. по материалам всерос. науч.-практ. конф., 20 сент. 2012 г. – Воронеж: ФГБОУ ВПО Воронежский институт ГПС МЧС России, 2012. – ч.2. – С. 17-19.
12. Белозерцева И.А. Техногенное воздействие на снежный покров Верхнего Приангарья / И.А. Белозерцева // География и природные ресурсы. – 1999. – №2. – С. 46-51.
13. Буренина, Т.А. Динамика стока на водосборах Северного Приангарья в связи с рубками и пожарами / Т.А. Буренина, А.А. Онучин // География и природные ресурсы. – 1999. – №2. – С. 42-46.
14. Валендик, Э.Н. Ветер и лесной пожар. – М.: Наука, 1968. – 119 с.
15. Валендик, Э.Н. Крупные лесные пожары / Э.Н. Валендик, П.М. Матвеев, М.А. Софронов. – М.: Наука, 1979. – 198 с.
16. Валендик, Э.Н. Крупные лесные пожары в Сибири // География и природные ресурсы. – 1995. – № 1. – С. 85-92.
17. Валендик, Э.Н. Лесные пожары в Средней Сибири при аномальных погодных условиях / Э.Н. Валендик, Е.К. Киселяхов, В.А. Рыжкова, Е.И. Пономарев, Й.Г. Голдаммер // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 3. – С. 43-52.
18. Валендик, Э.Н. Экологические аспекты лесных пожаров в Сибири // Сибирский экологический журнал. – 1996. – Т.3. – №1. – С. 1-8.
19. Василенко, В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова : научное издание / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. – Ленинград : Гидрометеиздат, 1985. – 181 с.
20. Васильчук Дж.Ю. Химический и изотопный состав снега г. Улан-Удэ как индикатор эколого-геохимического состояния атмосферы / Дж.Ю. Васильчук [и др.] // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы Второй Всероссийской конференции с

международным участием (г. Владивосток, 6-11 сентября 2015 г.). – Владивосток: изд-во Дальнаука, 2015. – С. 378-381.

21. Волокитина, А.В. Влияние полога леса на задержание, проникновение и распределение жидких осадков / А.В. Волокитина, М.А. Софронов // Метеорология и гидрология. – 2001. – №10. – С. 80-88.

22. Волокитина, А.В. Классификация и картографирование растительных горючих материалов / А.В. Волокитина, М.А. Софронов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. – 312 с.

23. Волокитина, А.В. Прогнозирование пирологических ситуаций в бореальных лесах / А. В. Волокитина // Вестник КрасГАУ. – 2014. – Вып. 1. – С. 77-83.

24. Воробьев, Ю.Л. Лесные пожары на территории России: Состояние и проблемы / Ю.Л. Воробьев, В.А. Акимов, Ю.И. Соколов; Под общ. ред. Ю.Л. Воробьева; МЧС России. – М.: ДЭКС-ПРЕСС, 2004. – 312 с.

25. Воскресенский, П.И. Техника лабораторных работ. – М.: «Химия», 1969. – 720 с.

26. Глазовский, Н.Ф. Химический состав снежного покрова некоторых районов Верхнеокского бассейна / Н.Ф. Глазовский, А.И. Злобина, В.П. Учватов // Региональный экологический мониторинг. – М.: Наука, 1983. – С. 67-86.

27. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Бурятия в 2010 г. – Улан-Удэ: Министерство природных ресурсов, 2011. – 308 с.

28. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Бурятия в 2011 г. – Улан-Удэ: Министерство природных ресурсов, 2012. – 136 с.

29. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Бурятия в 2012 г. – Улан-Удэ: Министерство природных ресурсов, 2013. – 207 с.

30. Грекова, Е. А. Влияние лесных пожаров на гидрохимический состав малых водотоков в криолитозоне Средней Сибири / Е.А. Грекова, А.С. Прокушкин // Современные проблемы притундровых лесов: материалы Всерос. конф. с междунар. участием (4-9 сент. 2012 г.). – Архангельск, 2012. – С. 46-49.
31. Гусева, Н.В. Распространенность редкоземельных элементов в природных водах Хакасии / Н.В. Гусева, Ю.Г. Копылова, С.К. Леушина // Известия Томского политехнического университета [Известия ТПУ]. – 2013. – Т. 322, № 1 – С. 141-146.
32. Гынинова А.Б. Антропогенная трансформация подтаежных почв дельты реки Селенги / А.Б. Гынинова, Ж.Д. Дыржинов, Б.-М.Н. Гончиков, А.Н. Бешенцев // География и природные ресурсы. – 2016. – №5. – С. 83-91.
33. Гынинова, А.Б. Почвы дельты реки Селенги (генезис, география, геохимия) / А.Б. Гынинова, С.А. Шоба, Л.Д. Балсанова, Б.Д. Гынинова. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2012. – 344 с.
34. Дубровская, О.А. Влияние лесных пожаров на климатические и ландшафтные изменения в азиатской части России / О.А. Дубровская, А.А. Леженин, В.М. Мальбахов, В.А. Шлычков // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2006. – Т.3, №2. – С. 108-112.
35. Дубровская, О.А. Влияние массовых лесных пожаров на циклонические процессы в Сибири / О.А. Дубровская, В.М. Мальбахов, В.А. Шлычков // Вычислительные технологии. – 2007. – Т.12, № 2. – С. 58-66.
36. Дубровская, О.А. Прогнозирование распространения дымовых аэрозолей на территории Сибири / О.А. Дубровская, Е.Г. Климова // Вычислительные технологии. – 2007. – Т.12, № 5. – С. 68-77.
37. Дубровская, О.А. Циркуляция воздушных масс над зоной массовых лесных пожаров в Восточной Сибири // О.А. Дубровская, В.М. Мальбахов // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2007. – Т.3. – С. 325-329.

38. Евдокименко, М.Д. Роль пирогенного фактора в продуктивности и динамике сосновых лесов Забайкалья / М. Д. Евдокименко // Сибирский экологический журнал – 2011. – Т.18. – № 6. – С. 823-833.

39. Евдокименко, М.Д. География и причины пожаров в байкальских лесах / М. Д. Евдокименко // Известия вузов. Лесной журнал. – 2013. – № 4. – С. 22-29.

40. Евдокименко, М.Д. Лесоз экологические последствия пожаров в светлехвойных лесах Забайкалья / М. Д. Евдокименко // Экология. – 2011. – № 3. – С. 191-196.

41. Евдокименко, М.Д. Пирогенная дигрессия светлехвойных лесов Забайкалья / М. Д. Евдокименко // География и природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 109-115.

42. Евдокименко, М.Д. Пирогенные аномалии в лесах Забайкалья и их прогнозирование / М. Д. Евдокименко // География и природ. ресурсы. – 2000. – №4. – С. 64-71.

43. Евдокименко, М.Д. Пирогенные нарушения лесорастительной среды в сосняках Забайкалья и их лесоводственные последствия / М. Д. Евдокименко // Лесоведение. – 2014. – №1. – С. 3-12.

44. Евдокименко, М.Д. Пирогенные трансформации байкальских лесов. Ретроспектива и современность // Сибирский лесной журнал. – 2014. – № 3. – С. 64-75.

45. Евдокименко, М.Д. Пирогенные трансформации сосновых лесов в Забайкалье / М.Д. Евдокименко // Лесоведение. – 2008. – № 4. – С. 20-27.

46. Евдокименко, М.Д. Пирологическая характеристика горной тайги в бассейне оз. Байкал // Охрана и восстановление лесов Забайкалья. – Красноярск: ИЛИД им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1977. – С. 5-55.

47. Евдокименко, М.Д. Потенциальная пожароопасность лесов в бассейне оз. Байкал // Лесоведение. – 1991. – №5.

48. Евдокименко, М.Д. Факторы горимости байкальских лесов / М. Д. Евдокименко // География и природные ресурсы. – 2011. – № 3. – С. 51-57.

49. Железняков, Г.В. Гидрология, гидрометрия и регулирование стока / Г.В. Железняков, Т.А. Неговская, Е.Е. Овчаров. – М.: Колос, 1984. – 205 с.

50. Журкова, И.С. Влияние низового пожара на перераспределение химических элементов / И.С. Журкова // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – №3с-2. – С. 11-13.

51. Зарина, Л.М. Геоэкологический практикум: учебно-методическое пособие / Л.М. Зарина, С.М. Гильдин. – СПб.: Изд-во РГПУ им. А.И. Герцена, 2011. – 60 с.

52. Иванов А.В. Влияние лесных пожаров на химический состав снежного покрова Приамурья // Материалы гляциологических исследований. – М., 1986. – № 55. – С. 180-185.

53. Иванов, А.В. Лесная пирология: конспект лекций / А.В. Иванов. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 2010. – 276 с.

54. Иванов, А.В. Лесные пожары и многолетняя изменчивость химического состава атмосферных осадков и снежного покрова / А.В. Иванов, Н.П. Кашин // Гидрохимические материалы. – Л.: ГИМИЗ, 1989. – Т.95. – С. 3-14.

55. Иванов, А.В. Оценка объема эмиссий при сгорании некоторых видов лесных горючих материалов / А.В. Иванов, В.И. Макаров // Оптика атмосферы и океана. – 2002. – Т.15. – №5-6. – С. 488-490.

56. Иванов, А.В. Роль лесных пожаров в формировании химического состава атмосферных осадков, снежного покрова и поверхностных вод / А.В. Иванов, Н.П. Кашин, Н.М. Куклина, В.С. Таловская, Ю.В. Парфенов, В.П. Шестеркин // Формирование химического состава природных вод Приамурья и Забайкалья. – Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1977. – С. 28–38.

57. Иванов, А.В. Теория криогенных и гляциогенных гидрохимических процессов. Итоги науки и техники. Гляциология. Т.5. – М.: ВИНТИ, 1987. – 236 с.

58. Иванов, В.А. Пожары от гроз в лесах Сибири / В.А. Иванов, Г.А. Иванова. – Новосибирск: Наука, 2010. – 164 с.
59. Иванов, В.А. Пожары от молний в лесах Красноярского Приангарья / В.А. Иванов, Н.А. Коршунов, П.М. Матвеев. – Красноярск: СибГТУ, 2004. – 132 с.
60. Иванова, Г.А. Влияние пожаров на эмиссии углерода в сосновых лесах Средней Сибири / Г.А. Иванова, В.А. Иванов, Е.А. Кукавская // Сибирский экологический журнал – 2007. – №6. – С. 885-895.
61. Иванова, Г.А. Воздействие пожаров на параметры баланса углерода и компоненты экосистемы в светлехвойных лесах Средней Сибири / Г.А. Иванова, Е.А. Кукавская, С.В. Жила // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2010. – Т.4. – №2. – С. 54-58.
62. Иванова, Г.А. Мониторинг воздействия пожаров на компоненты экосистемы сосняков Средней Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь – 2012. – Т.2. – №3 – С. 67–71.
63. Израэль, Ю.А. Экология и контроль природной среды. – М.: ГИМИЗ, 1984. – 560 с.
64. Иметхенов, А.Б. Лесные пожары Бурятии: анализ современного состояния и некоторые рекомендации по проведению профилактических работ // Актуальные вопросы техносферной безопасности: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2015. – С. 75-79.
65. Казанцев, В.А. Анализ состава снега как метод изучения аэрозолей / В.А. Казанцев, Л.А. Магаева // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Т.16. – № 5-6. – С. 557-559.
66. Ковда, В.А. Изучение миграции и трансформации загрязняющих веществ / В.А. Ковда, А.С. Керженцев // Комплексный глобальный мониторинг загрязнения окружающей природной среды. – Л.: Гидрометеиздат, 1980. – С. 252-256.

67. Кондратьева, Л.М. Влияние пожаров на эвтрофирование водных экосистем / Л.М. Кондратьева, Л.А. Гаретова // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып.1 : Владивосток, 20-22 марта 2001 г. – Владивосток, 2001. – С. 65-75.

68. Краснощеков, Ю.Н. Влияние пожаров на экосистемы подтаежно-лесостепных сосновых лесов в Юго-Западном Прибайкалье / Ю.Н. Краснощеков, М.Д. Евдокименко, Ю.С. Чередникова // Сибирский экологический журнал. – 2013. – Т. 20. – № 5. – С. 633-643.

69. Краснощеков, Ю.Н. Послепожарное функционирование лесных экосистем в Восточном Прибайкалье [Бурятия] / Ю.Н. Краснощеков [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 2010. – Т.17. – № 2. – С. 221-230.

70. Курбатский, Н.П. Пожарная опасность в лесу и ее измерение по местным шкалам // Лесные пожары и борьба с ними. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – С. 5–30.

71. Курбатский, Н.П. Проблема лесных пожаров / Н.П. Курбатский // Возникновение лесных пожаров : [сб. ст.] / АН СССР. – М., 1964. – С. 5-60.

72. Куценогий, К.П. SRXRF в экологии / К. П. Куценогий // Сибирский экологический журнал. – 2000. – Т.7. – №1. – С. 5-10.

73. Куценогий, К.П. Содержание микроэлементов в аэрозольной эмиссии при пожарах в бореальных лесах Центральной Сибири / К.П. Куценогий, В.И. Самсонов, Т.В. Чуркина, А.В. Иванов, В.А. Иванов // Оптика атмосферы и океана. – 2003. – Т.16. – № 5-6. – С. 461-465.

74. Куценогий, К.П. Экспериментальное исследование поведения аэрозольного облака в условиях динамической и термической неоднородности / К.П. Куценогий [и др.] // Труды Международной конференции RDAMM-2001. – Т.6, Ч.2, Спецвыпуск. – Новосибирск, 2001. – С. 255-260.

75. Куценогий, К.П. Эмиссии крупного лесного пожара в Сибири / К.П. Куценогий, Э.Н. Валендик, Н.С. Буфетов, В.Б. Барышев // Сибирский экологический журнал. – 1996. – Т. 3. – №1. – С. 93-103.

76. Куценогий, К.П. Эмиссии лесного пожара в центральной Сибири / К.П. Куценогий, Э.Н. Валендик, Н.С. Буфетов, В.Б. Барышев // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2012 – Т.2. – №3. – С. 87-91.

77. Куценогий, Н.П. Использование аэрозольного генератора с регулированием дисперсного состава для моделирования пространственно-временной изменчивости оптических характеристик аэрозольных эмиссий и туманов в приземном слое атмосферы / К.П. Куценогий, В.И. Макаров, Л.К. Трубина // ГЕО-Сибирь-2009 : сб. материалов V Междунар. науч. конгр. (20-24 апр. 2009 г.). – Новосибирск, 2009. – Т.4, ч.2. – С. 102-106.

78. Лесной план Республики Бурятия : Приложение к Постановлению Правительства Республики Бурятия от 17.12.2013 г. № 665 [Электронный ресурс]. – <http://www.alh-rb.ru/lesplanutv.pdf> (дата обращения: 30.11.2016).

79. Лесохозяйственный регламент Заиграевского лесничества Республиканского агентства лесного хозяйства. – Улан-Удэ: Министерство природных ресурсов Республики Бурятия, 2008. – 127 с.

80. Летенкова, И.В. Химический состав снежного покрова Новгородской области / И.В. Летенкова, В.Ф. Литвинов, В.Г. Смержок // Вестн. Новг. гос. ун-та. Сер.: Сельскохозяйственные науки. – 2014. – №76. – С. 73-76.

81. Литау, В.В. Оценка пылевого загрязнения территории г. Омска по данным снеговой съемки / В.В. Литау, А.В. Таловская, Е.Г. Языков, А.Д. Лончакова, М.И. Третьякова // Оптика атмосферы и океана. – 2015. – Т.28, №3. – С. 256-259.

82. Лучшева, А.А. Практическая гидрометрия / А.А. Лучшева. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 423 с.

83. Майорова, Л.П. Воздействие лесных пожаров на экосистемы и компоненты природной среды (на примере Хабаровского края) / Л.П. Майорова, А.И. Садыков, Ю.И. Сыч // Электронное научное издание «Ученые заметки ТОГУ». – 2013. – Т.4. – №4. – С. 1-8.

84. Мальбахов, В.М. Оценка влияния лесных пожаров на процессы облако- и осадкообразования / В.М. Мальбахов, А.А. Леженин,

О.А. Дубровская, Е.Г. Климова, В.А. Шлычков // Вычислительные технологии. – Новосибирск, 2006. – Т.11(3), спец.выпуск. – С. 135-142.

85. Матвеев, П. Спасительные лесные пожары / П. Матвеев, А. Матвеев, З. Ерохина, Л. Брезинская, В. Иванов, Е. Бакшеева // Энергия: экономика, техника, экология. – 2004. – № 9. – С. 64–66.

86. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. – М.; Л., 1948. – 126 с.

87. Мелехов И.С. Природа леса и лесные пожары. – Архангельск, 1947. – 60 с.

88. Менчук, В.В. Геоэкологический анализ природных катастроф и стихийных бедствий на территории Республики Бурятия: Монография – Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2008.– 200с.

89. Менчук, В.В. Динамика и корреляция чрезвычайных ситуаций на территории Республики Бурятия в XXI веке // Актуальные вопросы техносферной безопасности: Материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2015. – С. 152-156.

90. Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве / Ревич Б.А., Сает Ю.Е., Смирнова Р.С. (Утв. 15 мая 1990 г. № 5174–90). – М.: ИМГРЭ, 1990. – 16 с.

91. Михалев, Ю.А. Пирологическая классификация лесов Сибири // Вестник КрасГАУ. –2014. – №9. – С. 125-132.

92. Михеев, В.С. Ландшафты юга Восточной Сибири (карта м-ба 1:1 500 000) / В.С. Михеев, В.А. Ряшин – М.: ГУГК, 1977. – 4 л.

93. Назаров, И.М. Использование сетевых снегосъемок для изучения загрязнения снежного покрова / И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман, О.С. Ренне // Метеорология и гидрология. – 1978. – №7. – С.74-78.

94. Негроров, О.П. Снежный покров как индикатор состояния атмосферного воздуха в системе социально-гигиенического мониторинга /

О.П. Негротов, И.К. Астанин, В.С. Стародубцев, Н.Н. Астанина // Вестник ВГУ. Серия: Химия, биология, фармация. – 2005. – №2. – С. 149-153.

95. Нестеров В.Г. Пожарная охрана леса. Лесное пожароведение. – М., 1945. – 176 с.

96. Нестеров, В.Г. Горимость леса и методы ее определения. – Л.: Гослесбумиздат, 1949. – 76 с.

97. Новороцкая, А.Г. Роль снежного покрова в загрязнении р. Амур / А.Г. Новороцкая // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 5 : Владивосток, 21-23 марта 2011. – Владивосток, 2011. – С. 412-418.

98. Обязов, В.А. Зависимость изменений химического состава воды рек Забайкальского края от величины речного стока / В.А. Обязов, Т.В. Жулдыбина // Вестник ЗабГУ. – 2011. – №8. – С. 97-103.

99. Перельман, А.И. Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.

100. Плюснин, А.М. Влияние криогенных процессов на формирование водных потоков рассеяния золота / А.М. Плюснин, Ю.Ф. Погребняк, Э.М. Татьянкина // Доклады АН СССР. – 1979. – Т.247, №3. – С. 700-703.

101. Поликарпов, Н.П. Климат и горные леса Южной Сибири / Н.П. Поликарпов, Н.М. Чебакова, Д.И. Назимова. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1986. – 226 с.

102. Поликарпов, Н.П. Экологические основы ведения лесного хозяйства в бассейне оз. Байкал / Н.П. Поликарпов, Р.М. Бабинцева, Ю.С. Чередникова // Растительные ресурсы Забайкалья, их охрана и использование. – Улан-Удэ: Изд-во Бурят. филиала СО АН СССР, 1979. – С. 52–57.

103. Попова, С.А. Характеристика дымовой эмиссии и элементного состава золы при лабораторном горении лесных материалов / С.А. Попова, О.В. Чанкина, В.И. Макаров // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2012. – Т.2. – №3. – С. 46-49.

104. Пристова, Т.А. Химический состав снежного покрова в лесных экосистемах в зоне аэротехногенного влияния целлюлозно-бумажного производства (ЦБП) / Т.А. Пристова, М.И. Василевич // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – Самара: Изд-во Самарского научного центра РАН, 2010. – Т. 12. – № 1(9). – С. 2313-2316.
105. Прокушкин, С.Г. Экологические последствия пожаров в лиственничниках северной тайги Красноярского края / С.Г. Прокушкин, Н.Д. Сорокин, П.А. Цветков // Лесоведение. – 2000. – №4. – С. 9-15.
106. Ральдин, Б.Б. Геоэкологические аспекты землепользования в Республике Бурятия / Б.Б. Ральдин, Л.Л. Убугунов, В.Н. Хертуев, К.Ш. Шагжиев. – Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2003. – 234 с.
107. Рапута, В.Ф. Анализ данных наблюдений аэрозольного загрязнения снегового покрова в окрестностях Томска и Северска / В.Ф. Рапута, А.В. Таловская, В.В. Коковкин, Е.Г. Язиков // Оптика атмосферы и океана. – 2011. – Т. 24, №1. – С. 74-78.
108. Реймерс, Н.Ф. Охрана природы и окружающей человека среды: Словарь-справочник. – М.: Просвещение, 1992. – 320 с.
109. Реймерс, Н.Ф. Природопользование: Словарь-справочник. – М.: Мысль, 1990. – 639 с.
110. Рекомендации по противопожарной профилактике в лесах и регламентации работы лесопожарных служб: Рекомендации Федеральной службы лесного хозяйства России от 17 ноября 1997 г. [Электронный ресурс]. – http://www.aviales.ru/files/documents/2010/10/rek_pples.pdf (Дата обращения: 1.10.2016).
111. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.16. Ангара-Енисейский район. Вып.3. Бассейн оз. Байкал (Забайкалье). – Л. : Гидрометеиздат, 1973. – 398 с.
112. Самсонов, Ю.Н. Дымовая аэрозольная эмиссия при лесных пожарах в Центральной Сибири / Ю.Н. Самсонов, О.А. Беленко, В.А. Иванов // ГЕО-

Сибирь-2010 : сб. материалов VI Междунар. науч. конгр. (Новосибирск, 19-29 апр. 2010 г.). – Новосибирск, 2010. – Т.4, ч.2. – С. 114-118.

113. Самсонов, Ю.Н. Дисперсные и морфологические свойства дымовых частиц от лесных пожаров / Ю.Н. Самсонов, О.В. Чанкина, О.А. Беленко // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2011. – Т.4. – С. 231-235.

114. Самсонов, Ю.Н. Дисперсные и морфологические характеристики дымовой аэрозольной эмиссии от пожаров в бореальных лесах Сибири / Ю.Н. Самсонов, О.А. Беленко, В.А. Иванов // Оптика атмосферы и океана. – 2010. – Т. 23, №6. – С. 423-431.

115. Самсонов, Ю.Н. Дисперсные, морфологические и химические свойства разных дисперсных фракций дымовой аэрозольной эмиссии от лесных пожаров / Ю.Н. Самсонов [и др.] // Аэрозоли Сибири : тез. докл. XVII Рабочей группы. – Томск, 2010. – С. 22.

116. Самсонов, Ю.Н. Пожары в бореальных лесах Сибири: газовая и аэрозольная дымовая эмиссия и ее воздействие на химическое и оптическое качество атмосферы и погодно-климатический тренд / Ю.Н. Самсонов [и др.] // ГЕО-Сибирь-2009 : сб. материалов V Междунар. науч. конгр. (20-24 апр. 2009 г.). – Новосибирск, 2009. – Т.4, ч.2. – С. 49-52.

117. Самсонов, Ю.Н. Причины и последствия пожаров в бореальных лесах Сибири / Ю.Н. Самсонов, Г.А. Иванова // Регион: экономика и социология. – 2014. – № 1. – С. 257-271.

118. Самсонов, Ю.Н. Химический состав и дисперсные характеристики дымовой аэрозольной эмиссии от пожаров в бореальных лесах Сибири / Ю.Н. Самсонов [и др.] // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, №6. – С. 523-531.

119. Смагин, В.Н. Типы лесов гор южной Сибири / В.Н. Смагин [и др.]. – Новосибирск: Наука, 1980. – 336 с.

120. Соколова, Г.В. Пожарная опасность территории Среднего Приамурья: оценка, прогноз, параметры мониторинга / Г.В. Соколова, Р.М. Коган, В.А. Глаголев; отв. ред. В.В. Острошенко; Ин-т водных и

экологических проблем, Ин-т комплексного анализа региональных проблем.
– Хабаровск: ДВО РАН, 2009. – 265 с.

121. Сорокина, О.И. Техногенная геохимическая трансформация снежного покрова г. Улан-Удэ / О.И. Сорокина [и др.] // Труды Бурятского республиканского отделения Русского географического общества / Под ред. А.К. Тулохонова, Э.А. Батоцыренова. – Т.19. – Улан-Удэ: изд-во БГУ, 2014. – С. 51-58.

122. Софронов, М.А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. – М.: Наука, 1967. – 150 с.

123. Софронов, М.А. Огонь в лесу / М.А. Софронов, А.Д. Вакуров. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1981. – 128 с.

124. Софронов, М.А. Пирологическая характеристика растительности бассейна озера Байкал / М.А. Софронов, В.Ф. Антропов, А.В. Волокитина // География и природные ресурсы. – 1999. – №2. – С. 52-58.

125. Софронов, М.А. Пожары в горных лесах / М.А. Софронов, А.В. Волокитина, Т.М. Софронова. – Красноярск, 2008. – 388 с.

126. Софронова, Т.М. Оценка пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья / Т.М. Софронова, А.В. Волокитина, М.А. Софронов // География и природ. Ресурсы. – 2008. – № 2. – С.74-80.

127. Софронова, Т.М. Совершенствование оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья / Т.М. Софронова, А.В. Волокитина, М.А. Софронов. – Красноярск, 2007. – 237 с.

128. Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых / А.П. Соловов, А.Я. Архипов, В.А. Бугров и др. – М.: Недра, 1990. – 335 с.

129. Сухачева, Е.Ю. Почвы сосновых лесов Бурятии / Е.Ю. Сухачева, В.И. Убугунова, М.Н. Андреева, В.Л. Убугунов // Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 3. Биология. – 2011. – №1. – С. 117-125.

130. Сухинин, А.И. Региональный космический мониторинг лесных пожаров в Восточной Сибири / А.И. Сухинин // Лесоведение. – 2001. – №5. – С. 24-31.

131. Сымпилова, Д.П. Ландшафтная структура и экологическое состояние пригородной зоны г. Улан-Удэ / Д.П. Сымпилова, А.Б. Гынинова, В.М. Корсунов. – Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН, 2003. – 128 с.

132. Таловская, А.В. Геохимический состав пылеаэрозолей на территории полигона «Томский» Томской области / А.В. Таловская, Е.Г. Язиков // Вычислительные технологии. – 2008. – Т.13, №S3. – С. 30-36.

133. Таловская, А.В. Динамика загрязнения в окрестностях предприятия теплоэнергетики на основе химического анализа снегового покрова (на примере ГРЭС-2 г. Томск) / А.В. Таловская, Е.А. Филимоненко, Е.Г. Язиков // Сергеевские чтения : материалы годич. сес. науч. совета РАН по проблемам геоэкологии, инженер. геологии и гидрогеологии (21 марта 2014 г.). – Вып. 16. – М., 2014. – С.491-496.

134. Таловская, А.В. Динамика элементного состава снегового покрова на территории северо-восточной зоны влияния Томск-Северской промышленной агломерации / А.В. Таловская, Е.А. Филимоненко, Е.Г. Язиков // Оптика атмосферы и океана. – 2014. – Т. 27, №6. – С. 491-495.

135. Таловская, А.В. Локальные геохимические наблюдения пылеаэрозолей в пределах городской и пригородных зон / А.В. Таловская, Е.Г. Язиков // Вычислительные технологии. – 2006. – Т.11, №S5. – С. 46-52.

136. Таловская, А.В. Минерально-вещественный состав пылеаэрозолей на территории г. Томска / А.В. Таловская, Е.Г. Язиков // Минералогия техногенеза. – 2011. – №12. – С. 79-93.

137. Таловская, А.В. Мониторинг потоков аэрозольных выпадений в фоновых районах Томской области в зимний период 2006 и 2007 гг. / А.В. Таловская, Е.Г. Язиков, М.В. Панченко, В.С. Козлов // Оптика атмосферы и океана. – 2008. – Т. 21, №6. – С. 498-503.

138. Таловская, А.В. Оценка загрязнения атмосферного воздуха урбанизированных районов Томской области по данным изучения снегового покрова / А.В. Таловская, Е.Г. Язиков, Е.А. Филимоненко // Геоэкология.

Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – М., 2014. – № 5. – С. 408-417.

139. Таловская, А.В. Экспериментальные и численные исследования длительного загрязнения снегового покрова ураном и торием в окрестностях теплоэлектростанции (на примере Томской ГРЭС-2) / А.В. Таловская, В.Ф. Рапута, Е.А. Филимоненко, Е.Г. Язиков // Оптика атмосферы и океана. – 2013. – Т. 26, №8. – С. 642-646.

140. Трофимов, В.Т. Трансформация экологических функций литосферы в эпоху техногенеза / В.Т. Трофимов [и др.]. – М.: Ноосфера, 2006. – 720 с.

141. Трофимова, Н.В. Оценка загрязнения окружающей среды дымовыми выбросами от пожаров по спутниковым данным / Н.В. Трофимова, А.И. Сухинин // Технологии гражданской безопасности. – 2004. – №4. – С. 52-56.

142. Украинцев, А.В. Аэрозольное загрязнение снежного покрова в районах лесных пожаров // Байкальская молодежная научная конференция по геологии и геофизике: Материалы IV всероссийской молодежной научной конференции. – Улан-Удэ: Изд-во БГУ, 2017. – С. 125-126.

143. 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 Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (п. Максимиха, СОЛ «Ровесник» 15-18 сентября 2015 г.). – Улан-Удэ: Изд-во ВСГУТУ, 2015. – С. 108-112.

144. 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 международной научно-практической конференции, посвященной 10-летию Института землеустройства, кадастров и мелиорации (23-25 апреля 2015 г.). – Улан-Удэ: изд-во БГСХА им. Филлипова, 2015. – С. 255-257.

145. 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: Сборник научных трудов / БГИТА. – Брянск, 2014. – Вып. 39. – С. 36-39.

146. 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 Всероссийской конференции с международным участием (г. Владивосток, 6-11 сентября 2015 г.). – Владивосток: изд-во Дальнаука, 2015. – С. 438-441.

147. 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 научно-практической конференции молодых ученых по наукам о Земле (Новосибирск, 17-21 ноября 2014 г.). – Новосибирск, 2014. – С. 270-271. – Библиогр.: с. 271 (3 назв.)

148. 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.

149. 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.

150. 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 всероссийской молодежной научной конференции. – Улан-Удэ, 2015. – С. 169-172.

151. 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.

152. 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: мат-лы I-й международной научно-практической конференции. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2017. – С. 139-142.

153. 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: Сборник научных трудов (по материалам VIII научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием). – Пермь, 2015. – Т.2. – С. 332-334.

154. 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 Всероссийской молодежной конференции (г. Иркутск, 20-25 апреля 2015 г.) / Институт земной коры СО РАН. – Иркутск, 2015. – С. 196-198.

155. Филимоненко, Е.А. Особенности вещественного состава пылевых атмосферных выпадений в зоне воздействия предприятия топливно-энергетического комплекса (на примере Томской ГРЭС-2) / Е.А. Филимоненко, А.В. Таловская, Е.Г. Язиков // Оптика атмосферы и океана. – Томск, 2012. – Т. 25, № 10. – С. 896-901.

156. Форина, Ю.А. Особенности химического состава воды малых рек Северного Сихотэ-Алиня / Ю.А. Форина // Чтения памяти Владимира

Яковлевича Леванидова. Вып.5 : Владивосток, 21-23 марта 2011. – Владивосток, 2011. – С. 557-562.

157. Фуряев, В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1996. – 253 с.

158. Цветков, П.А. Исследования природы пожаров в лесах Сибири / П.А. Цветков, Л.В. Буряк // Сибирский лесной журнал. – 2014. – №3. – С. 25-42.

159. Цветков, П.А. Лесовозобновительная роль пожаров в северо-таежных лиственничниках Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. – 1996. – Т.III, №1. – С. 61-66.

160. Цветков, П.А. Устойчивость лиственницы Гмелина к пожарам в северной тайге Средней Сибири. – Красноярск, 2007. – 250 с.

161. Чижова, Ю.Н. Изотопный состав снежного покрова Байкальского региона / Ю.Н. Чижова [и др.] // Лед и снег. – 2015. – № 3. – С. 55-66.

162. Шамов, В.В. Межгодовая динамика источников питания речного стока в горнолесных ландшафтах юга Приморья / В.В. Шамов [и др.] // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами: Материалы Второй Всероссийской конференции с международным участием (г. Владивосток, 6-11 сентября 2015 г.). – Владивосток: изд-во Дальнаука, 2015. – С. 370-373.

163. Шамов, В.В. Экспериментальные исследования гидрологического эффекта катастрофических пожаров на малых речных бассейнах юга Дальнего Востока // Фундаментальные проблемы изучения использования воды и водных ресурсов. – Иркутск: Изд-во ИГ СО РАН. – 2005. – С. 246-248.

164. Шарагин, А.М. Влияние лесных пожаров на экологическую ситуацию // Успехи современного естествознания. – 2011. – №7. – С. 236а.

165. Шварцев, С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. – 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366 с.

166. Шестеркин, В.П. Антропогенные факторы формирования качества речных вод Приамурья / В.П. Шестеркин // Чтения памяти Владимира

Яковлевича Леванидова. Вып.5 : Владивосток, 21-23 марта 2011. – Владивосток, 2011. – С. 589-595.

167. Шестеркин, В.П. Влияние катастрофических лесных пожаров 1998 года на гидрохимический режим рек Сихотэ-Алиня / В.П. Шестеркин, Ю.А. Форина, Н.М. Шестеркина // Водные и экологические проблемы Сибири и Центральной Азии : тр. Всерос. науч. конф. с междунар. участием, посвящ. 25-лет. юбилею Ин-та вод. и экол. проблем СО РАН (Барнаул, 20-24 авг. 2012 г.). – Барнаул, 2012. – Т.2. – С. 208-212.

168. Шестеркин, В.П. Влияние крупных лесных пожаров на гидрохимический режим таежных рек Приамурья / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина // География и природные ресурсы. – 2002. – № 2. – С. 47-52.

169. Шестеркин, В.П. Влияние крупных пожаров 1998 г. на содержание нитратного азота в воде рек Сихотэ-Алиня / В.П. Шестеркин, Ю.А. Форина, Н. М. Шестеркина // Современные проблемы регионального развития : материалы IV Междунар. конф. (Биробиджан, 9-12 окт. 2012 г.). – Биробиджан, 2012. – С. 114-115.

170. Шестеркин, В.П. Влияние торфяных пожаров на химический состав снежного покрова и поверхностных вод / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина, Ю.А. Форина // География и природные ресурсы. – 2009. – №1. – С. 49-54.

171. Шестеркин, В.П. Гидрохимический мониторинг малых таежных рек на горях Сихотэ-Алиня / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина // Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата (V Дружининские чтения): сб. докладов Всерос. Науч. Конф. 29 сентября - 3 октября 2014 г., г. Хабаровск. – Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, 2014. – С. 186-190.

172. Шестеркин, В.П. Гидрохимия малых таежных рек Приамурья. / В.П. Шестеркин // Чтения памяти Владимира Яковлевича Леванидова. Вып. 6 : Владивосток, 19-21 марта. – Владивосток: Дальнаука, 2014. – С. 748-753.

173. Шестеркин, В.П. О влиянии пирогенного фактора на гидрохимический режим рек северного Сихотэ-Алиня / В.П. Шестеркин,

Н.М. Шестеркина, Ю.А. Фори́на // Материалы XIII науч. совещания географов Сибири и Дальнего Востока. – Иркутск: Изд-во Ин-та географии СО РАН, 2007. – Т.1. – С. 109–111.

174. Шестеркин, В.П. Роль пирогенного фактора в формировании качества воды таежных рек Северного Сихотэ-Алиня [Хабаровский край] / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина, Ю.А. Фори́на // Научные аспекты экологических проблем России : тр. II Всерос. конф. (Москва, 29-31 мая 2006 г.). – М., 2006. – С.337-340

175. Шестеркина, Н.М. Влияние пирогенного фактора на сток химических веществ в малых горно-таежных реках Сихотэ-Алиня [Хабаровский край] / Н.М. Шестеркина, В.П. Шестеркин // Пожары в лесных экосистемах Сибири : материалы Всерос. конф. с междунар. участием, посвящ. 100-летию со дня рождения проф. Н.П. Курбатского (Красноярск, 17-19 сент. 2008 г.). – Красноярск, 2008. – С. 194-196.

176. Шестеркина, Н.М. Многолетняя динамика химического состава речных вод на горях северного Сихотэ-Алиня / Н.М. Шестеркина, В.П. Шестеркин, Ю.А. Фори́на // Фундаментальные проблемы воды и водных ресурсов : материалы Третьей Всерос. конф. с междунар. участием (Барнаул, 24-28 авг. 2010 г.). – Барнаул, 2010. – С. 305-307.

177. Шумилова, М.А. Об особенностях анализа снега при мониторинге окружающей среды на примере г. Ижевска / М.А. Шумилова, О.В. Садиду́лина, О.П. Дружакина // Вестник УдмГУ. – 2012. – №4-1. – С. 109-112.

178. Щербов, Б.Л. Биогеохимические особенности постпирогенных площадей в ленточных борах Западной Сибири / Б.Л. Щербов // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2011. – 3(17).

179. Щербов, Б.Л. Изменение физико-химических параметров лесного почвенного покрова после пожара / Б.Л. Щербов, Е.В. Лазарева, Н.В. Ищук, И.Н. Мягкая // Современные проблемы геохимии: Материалы Всероссийского совещания (с участием иностранных ученых), посвящ.

95-летию со дня рождения акад. Л.В. Таусона. – Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б.Сочавы СО РАН, 2012. – Т.1. – С. 264-265.

180. Щербов, Б.Л. Лесные пожары – важный фактор рассеяния и концентрирования химических элементов в ландшафтах Сибири / Б.Л. Щербов, И.С. Журкова // Геология и минерально-сырьевые ресурсы Сибири. – 2014. – №3с-2. – С. 37-40.

181. Щербов, Б.Л. Лесные пожары и их последствия / Б.Л. Щербов, Е.В. Лазарева, И.С. Журкова. – Новосибирск: Изд-во «ГЕО», 2015. – 154 с.

182. Щербов, Б.Л. Лесные пожары как геохимическая угроза / Б.Л. Щербов // Наука из первых рук. – 2011. – №3(39). – С. 120-127.

183. Щербов, Б.Л. Миграция искусственных радионуклидов и тяжелых металлов при лесных пожарах в Сибири / Б.Л. Щербов, В.В. Будашкина, В.Д. Страховенко // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. – 2006. – 1(1). – С. 113-121.

184. Щербов, Б.Л. Радиоэкология лесных пожаров Сибири / Б.Л. Щербов, В.В. Будашкина // Международная научно-практическая конференция «Радиоэкология XXI века», сборник материалов [Электронный ресурс]. — Красноярск: Сибирский федеральный ун-т, 2011. – Режим доступа: http://conf.sfu-kras.ru/conf/radioecology-XXI/report?memb_id=1829, свободный.

185. Щербов, Б.Л. Роль лесной подстилки в миграции химических элементов и искусственных радионуклидов при лесных пожарах в Сибири / Б.Л. Щербов // Сибирский экологический журнал – 2012. – Т.19. – № 2. – С. 253-265.

186. Щербов, Б.Л. Экогеохимическая роль лесных пожаров в Байкальском регионе / Б.Л. Щербов, В.Д. Страховенко, Ф.В. Сухоруков // География и природные ресурсы. – 2008. – №2. – С. 60-66.

187. Щербов, Б.Л. Экогеохимические последствия лесных пожаров в ленточных борах Алтайского края / Б.Л. Щербов, Н.В. Завгородняя, Е.В. Лазарева // Сибирский экологический журнал. – 2008. – № 4. – С. 598-605.

188. Щетинский, Е.А. Спутник руководителя тушения лесных пожаров. – М.: ВНИИЛМ, 2003. – 96 с.
189. Языков, Е.Г. Дисперсионный анализ содержания радиоактивных элементов в компонентах природной среды городов Западной Сибири / Е.Г. Языков, А.А. Михальчук // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №3. – С. 693.
190. Языков, Е.Г. Особенности минерально-вещественного состава пылеаэрозолей урбанизированных территорий с разнопрофильным производством юга Западной Сибири / Е.Г. Языков // Минералогия техногенеза. – 2011. – №12. – С. 313-316.
191. Языков, Е.Г. Оценка эколого-геохимического состояния территории г. Томска по данным изучения пылеаэрозолей и почв / Е.Г. Языков, А.В. Таловская, Л.В. Жорняк. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 264 с.
192. Языков, Е.Г. Радиоэкологическая оценка территории на основе изучения атмосферных пылевых выпадений методом осколочной радиографии / Е.Г. Языков, А.В. Таловская // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. – 2013. – №5. – С. 57-61.
193. Cahoon S.G., Stocks B.J., Levine J.S. et al. Satellite analysis of the severe 1987 forest fires in northern China and southeastern Siberia // J. Geophys. Research. – 1994. – V.99. – P. 18627-18638.
194. Cerda A., Doerr S.H. The effect of ash and needle cover on surface runoff and erosion in the immediate post-fire period // Catena. – 2008. – V.74, №3. – P. 256-263.
195. Goldstein S.J., Jacobsen S.B. Rare earth elements in river waters // Earth and Planetary Science Letters. – 1988. – Vol.89, Issue 1. – P. 35-47.
196. Johannesen M., Dale I., Gjessing E.T., Henriksen A., Wridht R.F. Acid precipitation in Norway the regional distribution of contaminants in snow and the chemical concentration processes during snowmelt // IAHS AISH Publ. – 1977. – №118. – P. 116-120.

197. Kumai Motoi. The effect of aerosols on pH of snow // Atmos. Res. 1990. – V.25, №1-3. – P. 17-30.
198. Laberge C., Jones G. A statistical approach to field measurements of the chemical evolution of cold ($<0^{\circ}$) snow cover // Environ. Monit. and Assessment. – 1991. – V.17, №2-3. – P. 201-216.
199. Larsen I.J., MacDonald L.H., et al. Causes of Post-Fire Runoff and Erosion: Water Repellency, Cover, or Soil Sealing? // Soil Science Society of America Journal. – 2009. – V.73, №4. – P. 1393-1407.
200. Lewis W.M., Grant M.C. Relationships between snow cover and winter losses of dissolved substances from a mountain watershed // Arct. and Alp. Res. – 1980. – V.12, №1. – P. 11-17.
201. Mast M.A., Clow D.W. Effects of 2003 wildfires on stream chemistry in Glacier National Park, Montana // Hydrological Processes – 2008. – V.22, №26 – P. 5013-5023.
202. Morris E.M., Tomas A.G. Preferential discharge of pollutants during snow-melt in Scotland // J. Glaciol. – 1985. – V.31, №108. – P. 190-193.
203. Peters N., Driscoll C.T. Sources of acidity during snowmelt at a forest site in the west-central Adirondack Mountains, New York // IAHS Publ. – 1987. – №167. – P. 99-108.
204. Schondorf T. Transport and chemodynamics of organic micro pollutants and ion during snowmelt // Nord. Hydrol. – 1987. – V.18, №4-5. – P. 259-278.
205. Semmens K.A., Ramage J.M. Investigating correlations between snowmelt and forest fires in a high latitude snowmelt dominated drainage basin // Hydrological Processes. – 2012. – V.26, №17. – P. 2608-2617.
206. Shcherbov, B.L. The Role of Forest Floor in Migration of Metals and Artificial Nuclides during Forest Fires in Siberia [Text] / B.L. Shcherbov // Contemporary Problems of Ecology. – 2012. – Vol.5, №2. – P. 191-199.
207. Sholkovitz E.R. The aquatic chemistry of rare earth elements in rivers and estuaries // Aquatic Geochemistry. – 1995. – Vol.1, Issue 1. – P. 1-34.

208. Sigmon J.T., Gilliam F.S., Partin M.E. Precipitation and through fall chemistry for a mountain hardwood forest ecosystem: potential contributions from cloud water // *Can. J. Forest Res.* – 1989. – V.19, №10. – P. 1240-1247.

209. Skartvelt A., Gjessing E.T. Chemical budgets and chemical quality of snow and run-off during spring snowmelt // *Nord. Hydrol.* – 1979. – V.10, № 2-3. – P. 141-154.

210. Ukraintsev 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.

211. Ukraintsev A.V., Plyusnin A.M. The Influence of Wildfires on the Hydrochemical Regime of Rivers in Zairaevskiy 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.

212. Westerling A. L., Hidalgo H. G., Cayan D. R., Swetnam T. W. Warming and earlier spring increase western U.S. forest wildfire activity // *Science.* – 2006. – 313. – P. 940–943.

213. Writer J.H., Hohner A., Oropeza J., Schmidt A., Cawley K.M., Rosario-Ortiz F.L. Water treatment implications after the High Park wildfire, Colorado // *Journal of the American Water Works Association.* – 2014. – №4 – P. E189-E199.

214. Zinger J., Delisle C.E. Quality of used snow discharged in the st. Laurence river, in the region of the Montreal harbor // *Water, Air, and Soil Pollut.* – 1988. – V.39, №1. – P. 47-57.