

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СНЕГА ДЛЯ ОЦЕНКИ ДОЛГОСРОЧНОГО ВЛИЯНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕРРИТОРИЙ

А. В. Украинцев, А. М. Плюснин, Д. И. Жамбалова

Геологический институт Сибирского отделения РАН, Россия

Поступила в редакцию 31 августа 2015 г.

Аннотация: В статье представлены результаты исследования влияния пожаров различной давности на экологическое состояние территории. Приведены данные по химическому составу снежного покрова, отобранного на нескольких участках Заиграевского района республики Бурятия, в разные годы пострадавших от крупных пожаров, проанализирована динамика загрязнения. Методом факторного анализа выделены основные ассоциации элементов, концентрации которых существенно зависят от времени, прошедшего с момента пожара.

Ключевые слова: лесные пожары, снежный покров, экологическое состояние территории.

Abstract: The article represents the research findings over the impact of different long standing fires on ecological state of the territory. The data over chemical composition of snow cover from several areas of the Zaigraevsky region of the Buryat Republic, which suffer from large-scale fires at different times is also given in the article as well as the analysed statistics over pollution dynamics. The main elements associations, which concentration is largely depends on the time passed away after the fire, are revealed by the method of factor analysis.

Key words: wilderness fire, snow cover, ecological state of the territory.

В настоящее время лесные пожары являются одной из основных глобальных экологических проблем. Значительные по площади лесные территории ежегодно выгорают в крупнейших странах мира, таких как США, Канада, Россия, Австралия, Бразилия. Помимо непосредственного ущерба от выгорания лесной растительности, длительное время проявляются вторичные поражающие факторы: усиливаются эрозионные процессы, нарушаются условия формирования поверхностного стока, меняется химический состав природных вод. Аэрозоли, в огромном количестве появляющиеся в атмосфере в результате лесных пожаров, служат источником поступления водорастворимых солей в снежный покров. Оставшиеся после пожаров на поверхности почвы зола, обугленные и сгоревшие остатки древесно-растительного покрова также оказывают большое влияние на формирование химического состава атмосферных осадков. Воздействие пожаров на интенсификацию миграции химических элементов в разных средах можно наблюдать многие годы после прохождения огня.

Большая часть загрязняющих веществ выбрасывается в окружающую среду непосредственно

во время горения. С дымовой эмиссией в атмосферу выделяется огромное количество углеродосодержащих соединений и элементов минерального происхождения [10]. 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 [3]. Кроме того, огромная масса обугленной растительности под действием ветра составляет в атмосферу большое количество мелких частиц золы и пыли, которые рассеиваются на поверхности окружающей территории. Вследствие этого влияние лесных пожаров на состояние окружающей среды может наблюдаться на протяжении десятков лет. Например, на Дальнем Востоке исследователи отмечают влияние крупных пожаров на гидрохимический режим ручьев и рек, дремирующих гари, на протяжении 10 лет и более [7].

Сотрудники Института Леса СО РАН многие годы наблюдают процесс пирогенной дигрессии светлохвойных лесов Сибири и его экологические последствия [1, 2]. В ряде работ, посвященных геохимической роли лесных пожаров, доказано, что пожары способствуют активной миграции в биосфере различных токсикантов, в том числе тяжелых металлов и радионуклидов [8, 9].

В результате одновременного протекания различных процессов после пожарного изменения окружающей среды происходит загрязнение всех сред на этой территории. Но количественно оценить вклад отдельно взятого процесса, как правило, оценить затруднительно. Например, сложно зафиксировать количество химических элементов с зольной пылью мигрирующих из сгоревшего участка под действием ветра, 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 в конце периода снегонакопления (начало или середина марта).

Снежный покров является стабильным и репрезентативным объектом для анализа, накопление химических веществ в нем обуславливается осаждением аэрозолей из атмосферы и влиянием подстилающих почв. Лесные экосистемы также оказывают существенное влияние на изменение химического состава атмосферных осадков. Снег, проходя сквозь полог древостоя, претерпевает изменения за счет захвата снежинками веществ, накопленных на поверхности хвои, сучьев и стволов деревьев в процессе их жизнедеятельности [4]. На участках, пострадавших от крупных лесных пожаров, влияние на состав снега оказывает обугленный древостой. 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 [5]. Непосредственное влияние почвенного покрова на химический состав снега можно исключить, отбрасывая соприкасающийся с почвой слой. Отбирая пробы снега, можно получить данные о количестве загрязнения, поступающего с пожарища через газовую фазу, включая потоки тонкой взвеси и 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.

Для изучения динамики изменения химического состава снежного покрова в ближайшие годы после крупных лесных пожаров нами были выбраны несколько участков в Заиграевском районе республики Бурятия. Выбор Заиграевского района был обусловлен рядом характерных особенностей. На территории района много лет подряд наблюдается неблагоприятная лесопожарная обстановка: по статистике в Заиграевском лесничестве уже более 10 лет ежегодно фиксируется наибольшее среди лесничеств республики число возгораний. Практически вся территория района относится к I классу пожарной опасности, в течение всего пожароопасного сезона есть большая вероятность возникновения как низовых, так и верховых пожаров [6]. Еще одним важным свойством является то, что ландшафт и растительность района являются характерными практически для всего Селенгинского среднегорья – наиболее освоенной и густонаселенной территории в республике.

В 2013, 2014 и 2015 годах нами проводился отбор образцов снега и измерение характеристик снежного покрова. Схема опробования включала 15 точек, разделенных на 3 группы. Первая группа образцов отбиралась с участков, пострадавших в результате крупных лесных пожаров летом 2010 года, вторая – с участков, пройденных пожарами летом 2011 года, третья – с участков долгое время не подвергавшихся влиянию лесных пожаров.

Пробы снега собирались в полиэтиленовые пакеты по всей толщине снежного покрова, исключая непосредственно соприкасающийся с почвой слой. Снег растаивали в этих же пакетах при комнатной температуре, затем пылевая составляющая отделялась путем фильтрования. Измерения показали, что плотность снега на всех участках отличается незначительно и составляет около 0,12-0,13 г/см³.

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.

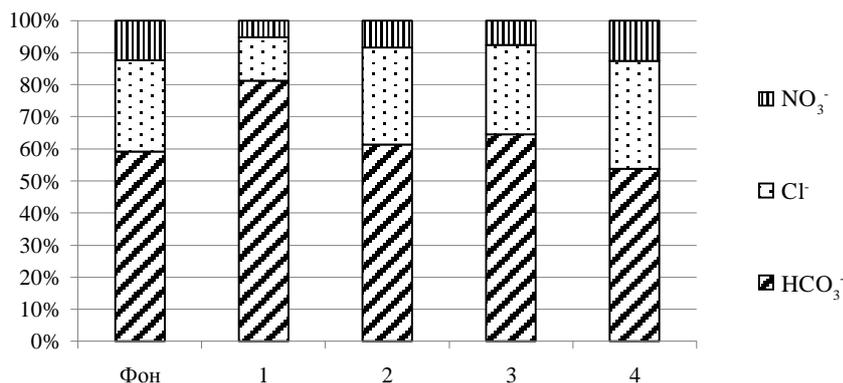


Рис. Соотношение основных анионов в снеге в зависимости от «возраста пожара»

Массив данных, содержащий концентрации химических элементов в образцах, обрабатывался с помощью программного пакета Statistica 10.

Результаты макроэлементного анализа содержали данные о концентрациях основных ионов: Na^+ , Ca^{2+} , Mg_2^+ , HCO_3^- , NO_3^- , Cl^- , F^- , а также показатели рН, жесткости, общей минерализации и окисляемости воды по перманганату калия.

Минерализация снега в среднем составляет 31,11 мг/дм³, максимальные значения 50,8 мг/дм³, минимальные 17,94 мг/дм³. На пожарных снежных покровах имеет слабо кислую реакцию. Наиболее кислая реакция в снежном покрове устанавливается не на пожарных, а на окружающих территориях, в том числе и на участке, выбранном нами в качестве фонового, располагающегося от пожарного на расстоянии 1-2 км. Со временем рН снега на всех исследованных участках возрастает, но в течение всего периода наблюдений (3 года) остается слабо кислой. Непосредственно на пожарных в регулировании рН участвует зола, содержащая в своем составе щелочные и щелочноземельные элементы, которые нейтрализуют образующиеся кислоты. Наиболее интенсивная динамика возрастания рН характерна для участка леса не подвергавшегося возгоранию и принятой нами за фоновую. Это происходит потому, что со временем уменьшается интенсивность разложения органических остатков и сюда уже не поступают газы, образующиеся на пожарных. Полученные результаты позволяют предполагать, что окислы углерода, и возможно азота, в газовой фазе в первые годы после пожара удаляются с пожарного на значительные расстояния и могут задавать кислотно-основные 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 уда-

ление от пожарного определяется направлением и силой ветра. Непосредственно на пожарных в снеге обнаруживаются относительно высокое содержание растворенного органического вещества. Возможно, органические кислоты также участвуют в формировании на пожарных кислой среды. В целом, возрастание на пожарных 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 изменения макросостава снежного покрова состояла в том, что концентрации основных его компонентов зависят от времени, прошедшего с момента прохождения территории пожаром. 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 пожара» устанавливался от 1 до 4, соответствующее количеству лет, прошедших с момента пожара до момента отбора проб. Фоновым участкам было присвоено значение 0. В качестве зависимых переменных принимались концентрации ионов и другие измеренные характеристики.

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 пожара» на изменение концентрации макроком-

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

№	Переменные, определяющие выделение фактора	Вес фактора, %
1	P, K, Sc, Ti, Mn, Fe, Y, Zr, Nb, Ce, Nd, Sm, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu, Hf, Ta, Th	37,9
2	Li, Na, Mg, Ca, Sr	15,4
3	Al, Ni, Cu, Pb	8,6
4	– (Pr, Gd, Yb)	8,1
5	Cs, Eu, Tl	6,4

понентов химического состава снежного покрова. Наиболее сильно это влияние проявляется на концентрациях ионов HCO_3^- , Cl^- и на показателях общей минерализации и жесткости. Практически для всех компонентов макросостава характерно резкое повышение концентрации в 1 й год после пожара и снижение к фоновому уровню в последующие годы.

Необходимо отметить, что при общем повышении минерализации в первые годы после пожара, соотношения между концентрациями отдельных катионов к общему их количеству существенно не изменяются. Что касается концентрации анионов в отношении к их общему количеству, то в первый год после пожара наблюдается увеличение гидрокарбонат-иона в составе талых снеговых вод, а затем постепенное возвращение к фоновому соотношению (рис.). Объясняется это влиянием интенсификации разложения органического вещества, включая остатки деревьев, травянистой растительности, почв с образованием окислов, гидроокислов углерода.

Проанализировав динамику состояния фоновых участков, можно сделать вывод о том, что и на значительном удалении от пожарных участков 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 пожарах газов, аэрозолей, частиц пыли. В нашем случае на фоновые участки, оказывали влияние сгоревшие участки, расположенные в северо-западном направлении.

Результаты ИСП-МС анализа 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.

Среди определяемых элементов представлены практически все тяжелые металлы и все редкоземельные элементы.

Преобладающее направление ветра на территории Заиграевского района западное и северо-западное, поэтому оказалось, что пожарные участки за счет атмосферного переноса продуктов разложения воздействуют на участки 3-й группы. Кроме того вблизи этих участков произошло возгорание в 2012 году и они уже не могут быть использованы в качестве фоновых. Для определения степени влияния пожаров на миграцию микроэлементов в поверхностных водах мы сравнили установленные в снеге (талой воде) концентрации, с содержанием 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.

Оказалось, что снег, собранный на территории пожарных участков, содержит в своем составе микроэлементы в значительной мере превышающие концентрации, установленные в озере Байкал.

Из тяжелых металлов наиболее высокую концентрацию имеют цинк, марганец, железо, кадмий, никель, ванадий.

Весь полученный массив данных обрабатывался с помощью программного пакета STATISTICA 10. Применяв многомерный статистический метод факторного анализа, мы выделили четыре основные группы элементов, поведение которых имеет большие сходства (таблица).

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 категориально-

го фактора «возраст пожара» с помощью дисперсионного анализа.

В первую группу по результатам факторного анализа вошли 21 из 53-х определяемых элементов. Под влияние этого фактора попали некоторые биофильные элементы (P, K, Mn, Fe), три элемента подгруппы титана (Ti, Zr, Hf), два элемента подгруппы ваннадия (Nb, Ta), большая часть редкоземельных элементов (Sc, Y, Ce, Nd, Sm, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Lu) и торий (Th). Поведение элементов первой группы характеризуется резким повышением концентрации в 1-й год после пожара и резким снижением на 2-й и последующие годы до значений, близких к фоновому уровню. Присутствие биофильных элементов позволяет нам предполагать, что эта ассоциация элементов поступает в снег в результате разложения органических остатков. 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 щелочно-земельными элементами (Li, Na, Mg, Ca, Sr). Поведение этих элементов также характеризуется повышением концентрации в 1-й после пожара 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 смыывается с поверхности пожарищ выпадающими атмосферными осадками, и количество этих элементов постепенно снижается.

Третий фактор обуславливает содержание в снежном покрове алюминия и трех типичных представителей тяжелых металлов (Ni, Cu, Pb). Концентрация этих элементов сохраняется на уровне, близком к фоновому, первые два года после пожара, а затем наблюдается повышение на 3-й и 4-й годы. Эта ассоциация элементов, на наш взгляд образуется в результате взаимодействия снежного покрова с пылью. Так как атмосферные осадки на

пожарищах все еще остаются кислыми из-за повышенного потока углекислого газа, они извлекают эти элементы из частиц неорганической пыли. Рост их содержания со временем связан с тем, что к 3, 4 годам после пожара зола с поверхности в значительной мере удалялась, снег становится более кислым и эти элементы в большей мере переводятся в раствор.

Четвертую группу составляют три не вошедших в первую группу редкоземельных элемента (Pr, Gd, Yb). Для них характерно снижение концентраций в 1-й и 2-й после пожара годы, а затем постепенное возвращение к фоновому уровню в последующие годы. Поведение этой группы редких элементов для нас пока остается не ясным и требует дополнительных исследований.

В пятую группу вошли три не связанных между собой химическими свойствами элемента – Cs, Eu, Tl. Поведение этих элементов характеризуется небольшим повышением концентрации в первые два года после пожара, а затем резким падением ниже фонового уровня в последующие годы. Вес этого фактора незначителен, возможно, на его выделение сказались ошибки в определении концентрации элементов.

Представленная система из пяти факторов описывает поведение всей совокупности элементов на 76%. 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.

Итак, 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, 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 элементов, которые накапливаются в снегу в результате послепожарного разложения нестареющего органического вещества.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Евдокименко М. Д. Пирогенная дигрессия светлохвойных лесов Забайкалья / М. Д. Евдокименко // География и природные ресурсы. – 2008. – № 2. – С. 109-115.
2. 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.
3. 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 // Ученые заметки ТОГУ : электронное научное издание. – 2013. – Т. 4, № 4. – С. 1-8.
4. 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 РАН. – 2010. – Т. 12, № 1(9). – С. 2313-2316.
5. Роль лесных пожаров в формировании химического состава атмосферных осадков, снежного покрова и поверхностных вод / А. В. Иванов [и др.] // Формирование химического состава природных вод Приамурья и Забайкалья. – Владивосток : Дальневосточный научный центр АН СССР, 1977. – С. 28-38.
6. 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.
7. Шестеркин В. П. Гидрохимический мониторинг малых таежных рек на гаях Сихотэ-Алиня / В. П. Шестеркин, Н. М. Шестеркина // Водные и экологические проблемы, преобразование экосистем в условиях глобального изменения климата : В Дружининские чтения : сборник докладов Всероссийской научной конференции. – Хабаровск : Институт водных и экологических проблем Дальневосточного отделения РАН, 2014. – С. 186-190.
8. Щербов Б. Л. Лесные пожары как геохимическая угроза / Б. Л. Щербов // Наука из первых рук. – 2011. – № 3(39). – С. 120-127.
9. 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.
10. Эмиссии крупного лесного пожара в Сибири / К. П. Куценогий [и др.] // Сибирский экологический журнал. – 1996. – Т. 3, № 1. – С. 93-103.

Украинцев Александр Викторович
младший научный сотрудник лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Геологического института Сибирского отделения РАН, г. Улан-Удэ, E-mail: ukraintsev87@bk.ru

REFERENCES

1. Evdokimenko M. D. Pirogennaya digressiya svetlokhvoynykh lesov Zabaykal'ya / M. D. Evdokimenko // Geografiya i prirodnye resursy. – 2008. – № 2. – S. 109-115.
2. Krasnoshchekov Yu. N. Vliyanie pozharov na ekosistemy podtaezhno-lesostepnykh sosnovykh lesov v Yugo-Zapadnom Priбайkal'e / Yu. N. Krasnoshchekov, M. D. Evdokimenko, Yu. S. Cherednikova // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. – 2013. – T. 20, № 5. – S. 633-643.
3. Mayorova L. P. Vozdeystvie lesnykh pozharov na ekosistemy i komponenty prirodnoy sredy (na primere Khabarovskogo kraya) / L. P. Mayorova, A. I. Sadykov, Yu. I. Sych // Uchenye zametki TOGU : elektronnoe nauchnoe izdanie. – 2013. – T. 4, № 4. – S. 1-8.
4. Pristova T. A. Khimicheskiy sostav snezhnogo pokrova v lesnykh ekosistemakh v zone aerotekhnogennoy vliyaniya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva (TsBP) / T. A. Pristova, M. I. Vasilevich // Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN. – 2010. – T. 12, № 1(9). – S. 2313-2316.
5. Rol' lesnykh pozharov v formirovaniі khimicheskogo sostava atmosferynykh osadkov, snezhnogo pokrova i poverkhnostnykh vod / A. V. Ivanov [i dr.] // Formirovanіe khimicheskogo sostava prirodnnykh vod Priamur'ya i Zabaykal'ya. – Vladivostok : Dal'nevostochnyy nauchnyy tsentr AN SSSR, 1977. – S. 28-38.
6. Ukraintsev A. V. Lesnye pozhary v Zaigraevskom rayone respublikі Buryatiya v 2010-2012 godakh : prichiny vozgoraniya i usherb / A. V. Ukraintsev, A. M. Plyusnin // Geografiya i prirodnye resursy. – 2015. – № 2. – S. 60-65.
7. Shesterkin V. P. Gidrokhimicheskiy monitoring малыkh taezhnykh rek na garyakh Sikhote-Alinya / V. P. Shesterkin, N. M. Shesterkina // Vodnye i ekologicheskie problemy, preobrazovanie ekosistem v usloviyakh global'nogo izmeneniya klimata : V Druzhininskiye chteniya : sbornik dokladov Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. – Khabarovsk : Institut vodnykh i ekologicheskikh problem Dal'nevostochnogo otdeleniya RAN, 2014. – S. 186-190.
8. Shcherbov B. L. Lesnye pozhary kak geokhimicheskaya ugroza / B. L. Shcherbov // Nauka iz pervykh ruk. – 2011. – № 3(39). – S. 120-127.
9. Shcherbov B. L. Migratsiya iskusstvennykh radionuklidov i tyazhelykh metallov pri lesnykh pozharakh v Sibiri / B. L. Shcherbov, V. V. Budashkina, V. D. Strakhovenko // Problemy biogeokhimii i geokhimicheskoy ekologii. – 2006. – 1(1). – S. 113-121.
10. Emissii krupnogo lesnogo pozhara v Sibiri / K. P. Kutsenogiy [i dr.] // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. – 1996. – T. 3, № 1. – S. 93-103.

Ukraintsev Alexandr Victorovich
Junior researcher of the laboratory of Hydrogeology and geoecology of Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, E mail: ukraintsev87@bk.ru

Плюснин Алексей Максимович

доктор геолого-минералогических наук, заместитель директора по научной работе, заведующий лабораторией гидрогеологии и геоэкологии Геологического института Сибирского отделения РАН, г. Улан-Удэ, E-mail: plyusnin@gin.bscnet.ru

Жамбалова Дашима Ивановна

кандидаг геолого-минералогических наук, научный сотрудник лаборатории гидрогеологии и геоэкологии Геологического института Сибирского отделения РАН, г. Улан-Удэ, E-mail: dachima@mail.ru

Plyusnin Aleksey Maksimovich

Doctor of geological-mineralogical Sciences, Deputy Director on scientific work, head. laboratory of Hydrogeology and geoecology of Geological Institute of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, E-mail: plyusnin@gin.bscnet.ru

Zhambalova Dashima Ivanovna

Candidate of geological-mineralogical Sciences, researcher of the laboratory of Hydroecology and geoecology of Geological Institute Siberian Branch Russian Academy of Sciences, Ulan-Ude, E-mail: dachima@mail.ru