

МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ВОД ТАЕЖНЫХ РЕК НА ГАРЯХ СЕВЕРНОГО СИХОТЭ-АЛИНЯ

В.П. Шестеркин^{}, Н.М. Шестеркина*

Институт водных и экологических проблем ДВО РАН,
Россия, 680000, г. Хабаровск, ул. Дикопольцева 56; **shesterkin@ivep.as.khb.ru*

Резюме. В работе проанализированы результаты исследований влияния пирогенного фактора на многолетнюю динамику химического состава вод таежных рек северного Сихотэ-Алиня. Основные наблюдения осуществлялись на малых реках верхнего течения р. Аниой (правобережного притока Амура), где катастрофическими пожарами 1998 г. было пройдено 187 тыс. га темнохвойных лесов. Главное внимание в изучении химического состава речных вод было уделено соединениям азота и фосфора – веществам, вызывающих эвтрофирование водных объектов. По результатам мониторинга установлены различия в содержании растворенных веществ в водах рек, дренирующих гари, в зависимости от образовавших их видов лесных пожаров (верховых или валежных (низовых)). Показано длительное поступление растворенных веществ с гарей в речную сеть, большое влияние атмосферного переноса из охваченных травяными и лесными пожарами других районов Приамурья на содержание нитратного азота и сульфатного иона. Максимальные концентрации нитратного азота (до 1.8 мг N/дм³) были отмечены на 5-й пост пожарный год, а сульфатного иона – 6-й и 10-й годы в водах рек, водосборы которых были пройдены верховыми пожарами. Повышенные для таежных районов Приамурья концентрации нитратного азота (до 1.3 мг N/дм³) были зафиксированы на 1-й и 5-й пост пожарные годы в водах рек, водосборы которых полностью выгорели до подстилающих пород. На порядок более низкими концентрациями нитратного азота характеризуются воды рек, которые дренируют не тронутые огнем водосборы и гари, образованные катастрофическими лесными пожарами 1976 года восточного макросклона Сихотэ-Алиня. Установлено постепенное снижение и сглаживание различий в содержании нитратного азота и фосфатов в водах рек, водосборы которых были пройдены пожарами, что свидетельствует о вовлечении этих веществ в биологический круговорот.

Ключевые слова. Северный Сихотэ-Алинь, лесные пожары, малые реки, химический состав вод, нитратный азот.

MULTI-YEAR DYNAMICS OF THE WATER CHEMICAL COMPOSITION OF TAIGA RIVERS IN THE BURNED-OUT FOREST OF THE NORTHERN SIKHOTE ALIN

V.P. Shesterkin^{}, N.M. Shesterkina*

Institute of Water and Ecological Problems, FEB RAS,
56, Dikopoltseva Str., 680000, Khabarovsk, Russia; **shesterkin@ivep.as.khb.ru*

Summary. The paper analyzes the results of the studies of the pyrogenic factor influence on the long-term dynamics of the waters chemical composition in the taiga rivers of the northern Sikhote Alin. The main observations were made on small rivers of the upper reaches of the Anyuy river (right-bank tributary of the Amur River), where 187 thousand hectares of dark coniferous forests were traversed by catastrophic fires in 1998. The main attention in the study of the river waters chemical composition was given to compounds of nitrogen and phosphorus - substances that cause the eutrophication of water bodies. According to the results of the monitoring, the differences in the content of dissolved substances in the waters of rivers, which drainage burned-out forests, depending on the types of forest fires (upper or fallen (lower) ones) have been established. Long-term intake of dissolved substances from the burned-out forests to the river network is shown, and a great influence of atmospheric transport from other areas of the Amur River covered by grass and forest fires on the content of nitrate nitrogen and sulphate ion. The maximum concentrations of nitrate nitrogen (up to 1.8 mg N/dm^3) were noted at the 5th post fire year, and the sulphate ion – 6 and 10 years in the waters of rivers, the catchments of which were traversed by high fires. Elevated concentrations of nitrate nitrogen (up to 1.3 mg N/dm^3) in the taiga areas of the Amur region were recorded in the 1st and 5th post fire years in the waters of the rivers, the catchments of which completely burned to the underlying rocks. One order less concentrations of nitrate nitrogen characterize the waters of the rivers that drain the unaffected watersheds and burned-our forests formed by the catastrophic forest fires of 1976 in the eastern macroslope of the Sikhote-Alin River. Was established a gradual decrease and smoothing of differences in the content of nitrate nitrogen and phosphates in the waters of rivers, the catchments of which were traversed by fires, which indicates the involvement of these substances in the biological cycle.

Keywords. Northern Sikhote-Alin, forest fires, small rivers, chemical composition of waters, nitrate nitrogen.

ВВЕДЕНИЕ

Природные пожары практически ежегодно возникают в южных субъектах Дальневосточного федерального округа и провинции Хэйлунцзян (Китай). Они хорошо просматриваются на космических снимках Центра глобального пожарного мониторинга (Фрайбург, Германия). В октябре 2004 г. на фотографиях было хорошо видно, как шлейф дыма шириной более 100 км, образованный пожарами в Еврейской автономной и Амурской областях, а также провинции Хэйлунцзян, вытягивался в сторону о. Сахалин.

В Хабаровском крае горимость лесов является одной из высоких в Российской Федерации. Природные пожары отмечаются практически каждый год весной и осенью, причем раз в 22 года (1932, 1954, 1976 и 1998 гг.) принимают катастрофические размеры. В меньшей степени горели леса в 1968, 1988, 1996 гг. (рис. 1). Максимальная площадь гарей появилась в 1998 г. (более 2.0 млн. га), когда возникло 1378 очагов возгорания. В этот год низовыми пожарами было пройдено 2138.6 тыс. га леса, верховыми – 239.0 тыс.

га, торфяными – 11.9 тыс. га. Устойчивый антициклон и штилевая погода в течение 5 месяцев способствовали сильному задымлению атмосферы. В очагах пожаров древесная растительность выгорела полностью. В последующие годы наибольшее количество гарей появилось в 2008, 2009 и 2012 гг.

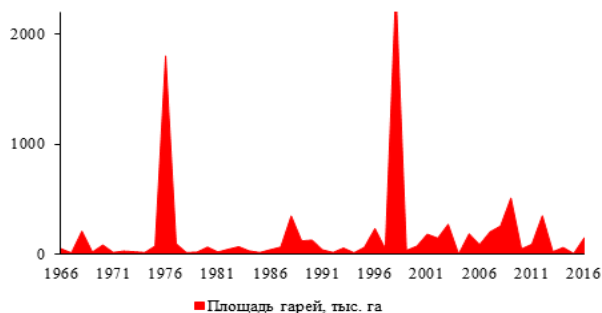


Рисунок 1. Горимость лесов Хабаровского края в 1966–2016 гг.

Как стихийное бедствие природные пожары оказывают значительное воздействие на состояние атмосферы, увеличивая в ней содержание взвешенных и растворенных веществ, оксидов серы, азота и углерода. От катастрофических пожаров 1998 г. эмиссия углерода составила 16578.5 тыс. т, а после них – 47872.5 тыс. т. От этих пожаров в атмосфере содержание углеводородов возросло (тыс. т) на 408.1, оксида азота – 68.0, взвешенных веществ – 748.2 (Шешуков и др., 2006). С атмосферными осадками, выпадающими в период сильной задымленности воздуха, все эти вещества поступают в речную сеть. Много солей также выносятся из обугленных растительных остатков и золы при их выщелачивании дождевыми и тальми снеговыми водами. В отечественной научной литературе влияние природных пожаров на химический состав объектов гидросферы рассмотрено в небольшом количестве публикаций (Иванов и др., 1978; Шестеркин, Шестеркина, 2002, 2016 и др.). В данной работе приведена сводка авторских данных, позволяющих оценить роль пирогенного фактора в формировании химического состава вод таежных рек в многолетнем аспекте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в 1999-2016 гг. в верхнем течении р. Анной (правобережный приток Амура), где в 1998 г. пожарами было пройдено 187 тыс. га темнохвойных лесов. В последующие годы крупный пожар, местами переходящий в верховой (горел усыхающий ельник на площади 500 га) отмечался в 2003 г. в бассейне р. Куптурку.

Весной 1999 г. в результате маршрутных обследований гарей в бассейне р. Анной были выбраны малые реки, водосборы которых в разной степени были пройдены пожарами. Малые реки подбирались исходя из их доступности автомобильным транспортом и близости морфометрических характеристик (площадь водосбора, длина и др.). Подобная методика использовалась при изучении влияния лесных пожаров на химический состав вод США (Hauer,

Содержание иона кальция превышало фоновое значение в 11 раз, аммонийного азота в 6 раз, гидрокарбонатных ионов в 2.5 раза, минерального фосфора – 10 раз (Иванов и др., 1978). Накоплению частиц пыли, сажи и аэрозолей в снежном покрове способствовала высокая задымленность атмосферы. Подобная ситуация, обусловленная пожарами в Еврейской автономной и Амурской областях в октябре 2003 г., вызвала поступление продуктов горения в районы Хабаровского края. В снежном покрове в верхней части бассейна р. Анюй в это время отмечались повышенные значения кислотности (рН до 4.3), концентрации сульфатного иона (7.3 мг/дм^3), нитратного и аммонийного азота – 0.98 и 1.75 мг N/дм^3 соответственно (Шестеркин и др., 2005). Более высокая концентрация этих веществ (сульфатного иона до 11.4 мг/дм^3 , нитратного и аммонийного азота до 1.2 и 2.0 мг N/дм^3 соответственно) наблюдалась в нижнем течении р. Анюй. Высокая кислотность снега (рН<4.5) обусловила отсутствие в его составе гидрокарбонатного иона, что вызвало появление необычного для снежного покрова таежных районов химического состава – сульфатно-аммониевого. Аналогичная ситуация отмечалась в конце 2004 г. в задымленных районах юга Хабаровского края. В выпавшем снеге отсутствовали гидрокарбонаты, содержание сульфатного иона в среднем достигало 4.6 мг/дм^3 , нитратного и аммонийного азота – 1.0 мг N/дм^3 .

В октябре 2016 г. в снегу были зафиксированы повышенные концентрации нитратного и аммонийного азота (до 0.83 и 1.0 мг N/дм^3), минерального фосфора (0.06 мг P/дм^3) из-за высокой задымленности атмосферы в бассейне р. Анюй, вызванной палами травы в Китае и Еврейской автономной области.

Быстрая огненная минерализация живой растительности и ее остатков (опада, подстилки и др.) обуславливает появление на поверхности водосборов большого количества обугленных растительных остатков и зольных веществ. Как известно, при верховых пожарах сгорает хвоя, листья, подлесок и т.д., лишь древесные стволы обугливаются. При валежных (низовых) пожарах растительность выгорает полностью. Поэтому после верховых пожаров появляются гари с большим количеством обугленной древесины, после валежных пожаров – зольных веществ. В результате низового устойчивого пожара высокой интенсивности в лиственничнике зеленомошном образуется около 2.5 т/га золы, содержащей (кг): кальция – 21; магния – 48; калия – 61 и фосфора – 17 (Шешуков и др., 1992).

Обугленные растительные остатки и зола, даже хорошо промытые атмосферными осадками, в течение длительного периода влияют на химический состав поверхностных вод. Содержание ионов кальция и магния, сульфатных ионов, аммонийного азота и фосфора в водных вытяжках растительных остатков и золы обычно выше, чем в воде рек (табл. 1). Поэтому талые снеговые воды гарей хр. Мяо-Чан, образованных крупными пожарами 1976 г., содержали повышенное количество фосфатов (до 0.7 мг P/дм^3), в отдельных случаях ионов кальция и магния (Иванов и др., 1978). Аналогичные результаты были получены при выщелачивании лесной подстилки соснового леса Южной Каролины, где пожар вызвал увеличение концентраций ионов кальция, магния, натрия и калия в 20, 10 и 2.3 раза соответственно (Minshall et al., 1998).

Таблица 1. Химический состав водных вытяжек золы и обугленных растительных остатков (Иванов и др., 1978)

Вид вытяжки	pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl	HPO ₄ ²⁻
	мг/дм ³						
Мелкодисперсная зола	6.70	12.8	3.4	54.9	3.5	3.5	2.07
Обугленные растительные остатки	7.15	18.4	–	135.4	23.6	4.2	0.63

Минерализация вод таежных рек северного Сихотэ-Алиня в отсутствие карста и рудопоявлений цветных металлов обычно ниже 40 мг/дм³ (Форина, Шестеркин, 2010; Форина и др., 2011). В бассейне р. Аной она в среднем составляет 32 мг/дм³. Содержание иона калия и хлоридного иона менее 1 мг/дм³, остальных главных ионов, за исключением сульфатного иона, изменяется в узком диапазоне. Максимальные концентрации ионов натрия, магния и кальция, гидрокарбонатного иона отмечаются в летне-осеннюю межень, когда реки питаются подземными водами, минимальные – в половодье, когда в водном стоке преобладают талые снеговые воды.

Более широкое варьирование концентраций характерно для сульфатного иона. Оно обусловлено атмосферным переносом диоксида серы из охваченных пожарами районов Приамурья, последующей его аккумуляцией почвами и поступлением со склоновым стоком в речную сеть. В 1999-2003 гг. среднегодовая концентрация сульфатного иона в водах рек фонового участка составила 3.5 мг/дм³. После крупных пожаров в 2003 и 2007-2009 гг. (рис. 1) содержание сульфатного иона возросло – в 2004 и 2009 гг. достигало в среднем 6.0 и 6.5 мг/дм³. В последующие годы (2011-2016) его концентрация в среднем составила 2.8 мг/дм³, не отличалась от значений в воде малых рек бассейна р. Тумнин, дренирующих территорию Тумнинского заказника (Шестеркин, Костомарова, 2016).

С атмосферным переносом связано и повышенное содержание нитратного азота в воде исследуемых рек в течение всего периода наблюдений (рис. 3). В 1999 г. наибольшая концентрация этого вещества достигала 0.49 мг N/дм³. В дальнейшем она постепенно повышалась, достигнув в апреле 2005 г. максимума (1.08 мг N/дм³). В последующие годы среднегодовая концентрация этого вещества изменялась в пределах 0.11-0.41 мг N/дм³, была в среднем в 4 раза выше, чем в реках бассейна Татарского пролива (Форина, Шестеркин, 2010). О большом влиянии атмосферного переноса на содержание нитратного азота свидетельствует отсутствие резких различий в его значениях в водах рек I участка и рек нижнего течения р. Аной, отметки уреза воды которых изменялись от 128 до 167 м. Повышенное содержание этого вещества, из-за атмосферного переноса, наблюдалось в водах малых рек США, водосборы которых не пострадали от пожаров (Earl, Blinn, 2003; Hauer, Spencer, 1998) и южной части о. Феклистова Шантарского архипелага (Шестеркин, 2015).

Концентрации фосфора и аммонийного азота низкие, небольшое повышение их значений отмечается весной, снижение – в летнюю межень, когда реки питаются грунтовыми водами.

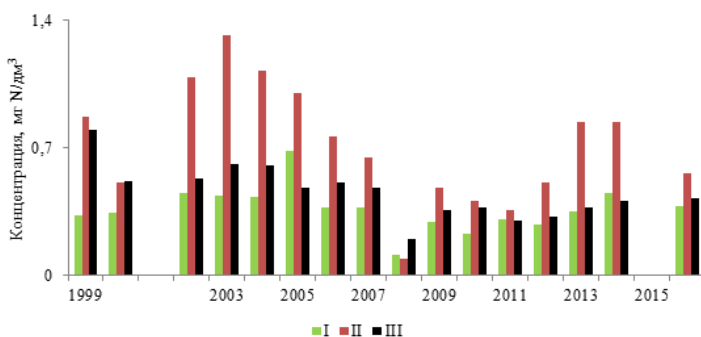


Рисунок 3. Среднегодовая концентрация нитратного азота в водах рек разных участков бассейна р. Анной в 1999-2016 гг.

В воде рек II участка, по сравнению с фоновым участком, в первые пять после пожарных лет минерализация воды была выше за счет небольшого увеличения концентраций иона кальция, сульфатного и нитратного ионов. В 1999 г. превышение содержания иона кальция составило 1.4 раза, в 2003 г. – 1.3 раза, что свидетельствует о длительном его поступлении из обугленных древесных остатков. Начиная с 2004 г. различия в содержании сглаживаются. Повышенное содержание сульфатного иона в эти годы могло быть вызвано сорбцией обугленной древесиной окислов серы, которые поступают в бассейн Анюя из охваченных пожарами районов Приамурья и Китая (Форина и др., 2011; Шестеркин, Шестеркина, 2016). Об этом свидетельствует увеличение концентраций сульфатного иона, также как и рек I участка, на 6-й и 10-й годы мониторинга, т.е. после крупных пожаров 2003 и 2007-2009 гг.

Более значительное влияние оказали верховые пожары на содержание нитратного азота. Максимальные его значения наблюдались в сентябре 1999 г. (1.6 мг N/дм^3) и ноябре 2003 г. (1.8 мг N/дм^3), причем среднегодовая концентрация нитратного азота в 2003 г. была в 1.5 раза выше, чем в первый год наблюдений (рис. 3). Подобное увеличение содержания этого вещества отмечалось после пожаров в водах рек Йеллоустонского национального парка (Bailey et al, 1992; Spenser et al, 2003). Несколько ниже (1.02 мг N/дм^3), было содержание нитратного азота в водах рек Юго-Восточной Британской Колумбии (Gluns, Toews, 1989) на второй год после крупного пожара.

Можно назвать несколько источников повышения концентрации нитратов в воде рек в послепожарный период. В первую очередь это диоксид азота. С атмосферными осадками соединения азота в виде азотной кислоты поступают на водосборную площадь, где нейтрализуются зольными веществами и почвами, фильтруются в грунтовые воды. Поэтому содержание нитратного азота в воде исследуемых рек выше по сравнению с реками фонового участка (рис. 3). Об атмосферном переносе свидетельствует динамика содержания нитратного азота в воде р. Куптурку. Если в 1999-2002 гг. концентрация нитратного азота в воде этой реки составляла в среднем 0.43 мг N/дм^3 , то в 2004-2006 гг. после интенсивных пожаров 2003 г. возросла до $0.70\text{-}0.75 \text{ мг N/дм}^3$, т.е. более чем в 1.6 раза.

Нитрификация, которая ингибируется при низких значениях рН, часто после пожаров стимулируется повышением величины рН почвы за счет выщелачивания золы (Angren, Angren, 1960) и интенсификацией микробиологических процессов биогенными элементами. Эта стимуляция заметнее всего в кислых почвах, приуроченных к хвойным лесам. Образовавшийся при нитрификации нитратный ион, представляет собой высокоподвижный ион, который легко фильтруется с поверхности почвы в грунтовые воды, с которыми затем поступает в русловую сеть (Lewis, 1974).

Поэтому содержание нитратного азота в водах исследуемых рек остается повышенным в течение длительного времени, постепенно снижается вследствие потребления подростом, биологической деструкции и гниения погибшей от огня обугленной древесины. Аналогичное снижение концентраций этого вещества в речных водах США отмечали многие исследователи (Spenser et al., 2003; Lewis, 1974 и др.).

Наименьшие концентрации нитратного азота и сглаживание различий в содержании между участками отмечались в 2009-2011 гг. (рис. 3), которые были наиболее дождливыми за период исследований (количество осадков г. Хабаровск в среднем составляло 836 мм при норме 693 мм).

Кривые сезонного распределения содержания нитратного азота в воде изученных рек имеют схожий характер. В многолетнем аспекте выделяется первый после пожара год. Ход кривых сезонного распределения концентраций нитратного азота в 1999 г. в реках был одинаков – максимум наблюдался в сентябре, минимум – перед ледоставом (Шестеркин, Шестеркина, 2002). В 2002-2006 гг. ход распределения изменился – наибольшее значение стало отмечаться перед ледоставом (рис. 4). В последующие годы значительных различий в динамике их содержания не отмечалось. В многоводные годы (2009-2011) максимум в основном фиксировался весной, в 2012 и 2016 гг. – осенью.

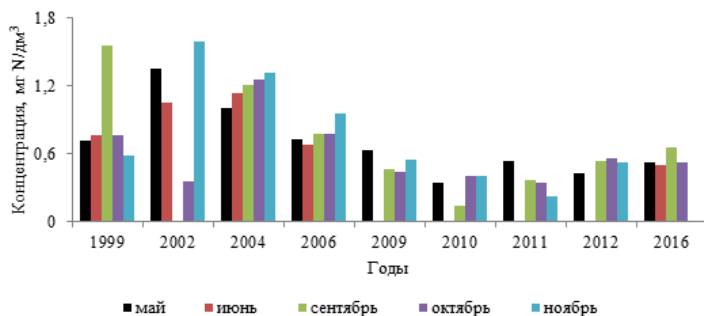


Рисунок 4. Сезонная динамика содержания нитратного азота в водах рек II участка

Среднегодовые концентрации минерального фосфора в водах рек, водосборы которых были пройдены верховыми пожарами, не отличались от концентраций в водах рек фоновых участков, не было и значительных различий в многолетней динамике их содержания.

Среди биогенных элементов наиболее кратковременное воздействие лесные пожары оказали на содержание в воде аммонийного азота (Шестеркин, Шестеркина, 2002). Многие исследователи отмечают быстрое увеличение его

концентрации в почве после пожара, в последующие годы она быстро снижается из-за процессов нитрификации и других потерь.

Поэтому содержание этого вещества в воде большинства малых рек падает после первого пост пожарного увеличения стока (Hauer, Spenser, 1998). Подобная ситуация отмечалась в бассейне р. Анной. В первый после пожарный год концентрации аммонийного азота в воде всех рек были повышенными (в сентябре 1999 г. достигали 0.47 мг N/дм^3), снижаясь в последующие годы за счет процессов нитрификации и потребления растительностью. В период с 2000 по 2012 гг. сезонное повышение концентраций до 0.35 мг N/дм^3 отмечалось весной, летом и осенью не превышали 0.07 мг N/дм^3 (Шестеркин, Шестеркина, 2016), в 2013-2016 гг. были ниже 0.05 мг N/дм^3 .

В воде рек III участка, на фоне повышенных концентраций растворенных веществ, обусловленных дренированием рудопроявления олова «Мопау», влияние пожаров, также как и на II участке, проявилось максимумом содержания кальция и гидрокарбонатного ионов на 4-й год наблюдений. Такая динамика содержания основных ионов свидетельствует о длительном влиянии пожаров и указывает на то, что при формировании речного стока данного года в среднем 10-15% приходится на долю атмосферных осадков, выпавших на поверхность водосбора текущего года и более «старых» подземных вод. Период полного водного обмена в среднем составляет 4-6 лет (Соколов, 1996).

Содержание нитратного азота в воде рек III участка в течение всего мониторинга, за исключением 2000 г., было ниже, чем в ручьях II участка. Значительные различия концентраций между участками отмечались в 2002-2005 и 2013-2016 гг. (рис. 3) при высоких его значениях в водах рек II участка, обусловленных структурно-ландшафтными особенностями водосборов, количеством обугленных древесных остатков и др.

Динамика содержания нитратного азота в воде рек III участка характеризуется максимальным значением (до 1.3 мг N/дм^3) в первый пост пожарный год, последующим снижением до 0.53 мг N/дм^3 в 2000 и 2002 гг. и увеличением из-за лесных пожаров в ноябре 2003 г. до 1.2 мг N/дм^3 . Повышенные концентрации этого вещества отмечались в течение 2004 г. и весной 2005 г. (до 0.96 мг N/дм^3). В последующие годы содержание нитратного азота постепенно снижается (рис. 1). Влияние пожаров 2009 г. на сток нитратного азота, в отличие от сульфатного иона, зафиксировано не было, возможно, из-за потребления возобновляемой растительностью (рис. 3). В 2016 г., также как и на остальных участках, максимум концентрации (до 0.63 мг N/дм^3) отмечался весной, в дальнейшем снижался до $0.23-0.42 \text{ мг N/дм}^3$. Таким образом, снижение содержания нитратов в водах рек, водосборы которых были пройдены валежными пожарами, также охватывает длительный период.

Воды рек, дренирующие гари восточных склонов Сихотэ-Алиня, которые появились после пожаров 1976 г., характеризуются более низким содержанием нитратного азота. Его содержание в среднем составляло (мг N/дм^3): в 2003 г. – 0.15, в 2004 г. – 0.18, 2013 г. – 0.06, 2016 г. – 0.04. Такие низкие значения концентраций этого вещества объясняются особенностями циркуляции воздушных масс воздуха в этой части северного Сихотэ-Алиня.

Основным путем обогащения водотоков соединениями фосфора после лесных пожаров является вымывание их из золы и обуглившейся лесной подстилки поверхностно склоновым стоком при весеннем снеготаянии и муссонных дождях.

Содержание фосфора в воде таежных рек пирогенно измененных водосборов в среднем в 2 раза выше по сравнению с фоновыми значениями. Такая ситуация сохранялась в течение всего мониторинга. Исследование пожаров в Иеллоустонском национальном парке (Hauer, Spenser, 1998; Spenser и др., 2003) также свидетельствует о повышенной концентрации фосфора в водах рек, дренирующих гари этого парка, в течение пяти после пожарных лет. Подобные результаты были получены и при изучении влияния большого пожара в Каскадных горах в штате Вашингтон (Tiedemann et al., 1978).

Наши данные хорошо согласуются с этими материалами. Повышенные содержания фосфатов в воде ручьев III участка сохранялись в течение всего периода наблюдений (Форина и др., 2013). В первый после пожарный год концентрации фосфатных ионов в среднем были выше в 2 раза, во второй год – в 1.4 раза. В сезонном отношении максимальные значения отмечались осенью после длительного засушливого периода.

Изучение содержания подвижных форм фосфора в почвах гарей в бассейне р. Анюй показали однотипный характер распределения подвижных форм фосфора по профилю буроземных почв, как горевших участков с пихтово-еловыми и елово-лиственничными лесами, так и фоновых со смешанными елово-пихтовыми лесами (Шестеркин и др., 2001). Содержание их на 100 г сухого вещества, составляя первые десятки миллиграммов фосфора в верхних органогенных горизонтах, понижалось на порядок в гумусированных минеральных горизонтах, и резко на два порядка снижалось в иллювиальных гумусо-железистых горизонтах. Это говорит о том, что в почвах буроземного типа, развитых на кислых породах, фосфор биогенно аккумулируется в поверхностных горизонтах (подстилке и дерновом), где по мере минерализации органики он переходит в растворимые минеральные формы (фосфаты железа и алюминия, кальция, и др.).

Поскольку в органогенных горизонтах и обугленной подстилке значительные количества фосфора содержатся в составе различных органических соединений, то, пока не возобновятся естественные биогеохимические потоки, он будет в значительной степени вовлекаться в геологический круговорот со стоком в реки бассейна. Интенсивность этого стока будет постепенно снижаться и придет к минимуму при восстановлении растительного покрова, истощении источников (зола) и вовлечении фосфора в биологический круговорот. Сколько для этого потребуется времени, будет определяться совокупностью всех перечисленных выше факторов. Исследования в лиственничниках северо-таежной зоны Средней Сибири показали (Цветков и др., 1998), что действие пирогенного фактора на содержание фосфора в верхнем 10 см слое почв сохраняется более 4-х лет.

В результате поступления минеральных веществ с аэрозолями во время пожаров и выноса их из золы и сгоревших и обугленных растительных остат-

ков пирогенно измененных водосборов повышается химический сток рек. В наибольшей степени после пожаров увеличивается сток ионов кальция, сульфатных и фосфатных ионов, аммонийного и нитратного азота. Причем, для большинства растворенных веществ наблюдается краткосрочное повышение их содержания в водотоках во время и после пожаров. Повышенные концентрации фосфатов сохраняются в течение двух лет после пожара, нитратного азота – в течение всего мониторинга.

Выводы

Многолетняя динамика химического состава вод таежных рек северного Сихотэ-Алиня свидетельствует о длительном выносе растворенных веществ с гарей, большом влиянии атмосферного их переноса из других охваченных пожарами районов Приамурья.

Воды рек западного макросклона пирогенно измененных водосборов катастрофическими пожарами 1998 г. отличаются повышенным содержанием нитратного азота на 1-й и 5-й после пожарные годы, сульфатного иона – на 6-й и 10-й годы. Максимальные концентрации нитратного азота отмечаются в воде рек, которые дренируют образованные верховыми пожарами гари, а главных ионов – воде рек, водосборы которые были пройдены валежными пожарами.

Низкие концентрации нитратного азота характерны для речных вод восточного макросклона, которые дренируют гари, образовавшихся после катастрофических лесных пожаров 1976 г.

Список литературы

Иванов А.В., Кашин Н.П., Куклина Н.М., Таловская В.С., Парфенов Ю.С., Шестеркин В.П. 1978. Роль лесных пожаров в формировании химического состава атмосферных осадков, снежного покрова и поверхностных вод. – В сб.: Формирование химического состава природных вод Приамурья и Забайкалья. – Владивосток, ДВНЦ АН СССР, с. 28-38.

Иванов А.В., Кашин Н.П. 1989. Лесные пожары и многолетняя изменчивость химического состава атмосферных осадков и снежного покрова. – Гидрохимические материалы, т. 95, с. 3-14.

Соколов Б.Л. 1996. Новые результаты экспериментальных исследований литогенной составляющей речного стока. – Водные ресурсы, т. 23, № 3, с. 278-287.

Федеральный перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению при выполнении работ в области мониторинга загрязнения окружающей природной среды РД 52.18.595–96 (в ред. Изм. № 1, утв. Росгидрометом 11.10.2002, Изм. № 2, утв. Росгидрометом 28.10.2009).

Форина Ю.А., Шестеркин В.П. 2010. Особенности химического состава речных вод восточного макросклона северного Сихотэ-Алиня. – География и природные ресурсы, № 3, с. 81-87.

Форина Ю.А., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Таловская В.С. 2011. Гидрохимия вод малых рек западного склона Сихотэ-Алиня. – В сб.: Биогео-

химические и геоэкологические параметры наземных и водных экосистем, вып. 19. – Хабаровск, ИВЭП ДВО РАН, с. 125-135.

Форина Ю.А., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. 2013. Фосфор в воде рек северного Сихотэ-Алиня. – Тихоокеанская геология, т. 32, № 1, с. 116-119.

Цветков П.А., Прокушин С.Г., Сорокин Н.Д., Каверзина Л.Н., Сорокина О.А., Цветкова Г.М. 1998. Биологические свойства почв на гарях и ход роста послепожарного возобновления в северо-таежных лиственничниках Средней Сибири. – Лесоведение, № 6, с. 24-32.

Шестеркин В.П., Матрошилов Ю.А., Шестеркина Н.М. 2001. Влияние крупных лесных пожаров на химический состав почв и вод Приамурья. – В сб.: Материалы науч. конф. «Природные ресурсы Забайкалья и проблемы природопользования». – Чита, с. 149-150.

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

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Форина Ю.А. 2005. Особенности формирования химического состава снежного покрова южных районов Приамурья. – В сб.: Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов. Материалы научн. конф. – Иркутск, Изд-во ИГ СО РАН, с. 155-157.

Шестеркин В.П. 2015. Гидрохимия рек южной части о. Феклистова (Шантарские острова). – Тихоокеанская Геология, т. 34, № 6, с. 108-110.

Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М. 2016. Влияние катастрофических лесных пожаров на химический состав воды рек бассейна р. Анюй (Северный Сихотэ-Алинь). – Вестник СВНЦ ДВО РАН, № 3, с. 47-54.

Шестеркин В.П., Костомарова И.В. 2016. Особенности химического состава вод рек государственного природного заказника «Тумнинский». – В сб.: Научные исследования в заповедниках и национальных парках России. Тез. Всерос. научн.-практ. конф. с международ. участием. – Петрозаводск, КНЦ РАН, с. 258-259.

Шешуков М.А., Савченко А.П., Пешков В.В. 1992. Лесные пожары и борьба с ними на севере Дальнего Востока. – Хабаровск, 95 с.

Шешуков М.А., Голдаммер Й.Г., Телицин Г.П., Сапожников А.П., Выводцев Н.В., Бруслова Е.В., Джурвелиус М., Кондрашов Л.Г., Любякин А.П., Острошенко В.В., Панкратова Н.Н., Соколова Г.В., Шестеркин В.П., Шестеркина Н.М., Винокуров В.М., Никитин С.П. 2006. Северо-Восточная Азия: вклад в глобальный лесопожарный цикл. – Хабаровск, GFMC, 415 с.

Ahlgren I.F., Ahlgren C.E. 1960. Ecological effects of forest fires. – Botanical Review, vol. 26, pp. 483-533.

Bayley S.E., Schindler D.W., Beaty K.G. et al. 1992. Effects of multiple fires on nutrient yields from streams draining boreal forest and fen watersheds: nitrogen and phosphorus. – Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences, vol. 29, pp. 584-596.

Earl S.R., Blinn D.W. 2003. Effects of wildfire ash on water chemistry and biota in South-Western U.S.A. streams. – *Freshwater biology*, vol. 48, pp. 1015-1030.

Gluns D.R., Toews D.A. 1989. Effect of a major wildfire on water quality in southeastern British Columbia. – *Proceedings of the Symposium on Headwaters Hydrology*. – American Water Resources Association, Bethesda, Maryland, pp. 487-499.

Hauer F.R., Spenser C.N. 1998. Phosphorus and nitrogen dynamics in streams associated with wildfire: A study of immediate and long-term effects – *Wildland Fire*, vol. 8, No. 4, pp. 183-198.

Lewis W.M. 1974. Effects of fire on nutrient movement in a South Carolina pine forest. – *Ecology*, vol. 55, pp. 1120-1127.

Minshall G.W., Robinson C.T., Royer T.V. 1998. Stream Ecosystem Responses to the 1988 Wildfires. – *Yellowstone Science*, vol. 6, pp. 15-22.

Spenser C.N., Gabel K.O., Hauer F.R. 2003. Wild re effects on stream food webs and nutrient dynamics in Glacier National Park, USA. – *Forest Ecology and Management*, vol. 178, pp. 141-153.

Tiedemann A.R., Hervey J.D., Anderson T.D. 1978. Stream chemistry and watershed nutrient economy following wildfire and fertilization in Eastern Washington – *J. of Environmental Quality*, vol. 7, No. 4, pp. 580-588.

References

Ivanov A.V., Kashin N.P., Kuklina N.M., Talovskaya V.S., Parfenov YU.S., Shesterkin V.P. 1978. Rol' lesnyh pozharov v formirovanii himicheskogo sostava atmosferyh osadkov, snezhnogo pokrova i poverhnostnyh vod [The role of forest fires in the formation of chemical composition of atmospheric precipitation, snow cover and surface waters]. *Formirovanie himicheskogo sostava prirodnyh vod Priamur'ja i Zabajkal'ja* [The formation of the chemical composition of natural waters of the Amur region and Transbaikalia], Vladivostok, pp. 28-38.

Ivanov A.V., Kashin N.P. 1989. Lesnye pozhary i mnogoletnjaja izmenchivost' himicheskogo sostava atmosferyh osadkov i snezhnogo pokrova [Forest fires and long-term variability of the chemical composition of atmospheric precipitation and snow cover]. *Gidrohimicheskie materialy – Hydrochemical materials*, vol. 95, pp. 3-14.

Sokolov B.L. 1996. Novye rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij litogennoj sostavljajushhej rechnogo stoka [New results of experimental studies of the lithogenic component of river flow]. *Vodnye resursy – Water Resources*, vol. 23, no. 3, pp. 278-287.

Federal'nyj perechen' metodik vypolnenija izmerenij, dopushhennyh k prime-neniju pri vypolnenii rabot v oblasti monitoringa zagryaznenija okruzhajushhej prirodnoj sredy RD 52.18.595–96 [The federal list of measurement techniques allowed for use in the performance of work in the field of monitoring of environmental pollution RD 52.18.595-96].

Forina Ju.A., Shesterkin V.P. 2010. Osobennosti himicheskogo sostava rechnyh vod vostochnogo makrosklona severnogo Sihotje-Alinja [Features of chemical com-

position of river waters of the Eastern macroslope of Northern Sikhote-Alin]. *Geografija i prirodnye resursy – Geographical and Natural Resources*, no. 3, pp. 81-87.

Forina Ju.A., Shesterkin V.P., Shesterkina N.M., Talovskaya V.S. 2011. Hidrohimija vod malyh rek zapadnogo sklona Sihotje-Alinja [Hydrochemistry of minor rivers of the Sikhote-Alin western slope]. *Biogeohimicheskie i geojekologicheskie parametry nazemnyh i vodnyh jekosistem* [Biogeochemical and geocological parameters of terrestrial aquatic ecosystems], vol. 19, Khabarovsk, pp. 125-135.

Forina Ju.A., Shesterkin V.P., Shesterkina N.M. 2013. Fosfor v vode rek severnogo Sihotje-Alinja [Phosphorus in the waters of the taiga rivers of the northern Sikhote-Alin]. *Tihookeanskaja geologija*. *Tihookeanskaja Geologija – Russian J. of Pacific Geology*, vol. 32, no. 1, pp. 116-119.

Cvetkov P.A., Prokushin S.G., Sorokin N.D., Kaverzina L.N., Sorokina O.A., Cvetkova G.M. 1998. Biologicheskie svojstva pochv na garjah i hod rosta posledzharnogo vozobnovlenija v severo-taezhnyh listvennichnikah Srednej Sibiri [Biological properties of soils on burned and progress growth poslevoennogo resume in the North-taiga larch forests of Central Siberia]. *Lesovedenie – Contemporary Problems of Ecology Russian Forest Sciences*, no. 6, pp. 24-32.

Shesterkin V.P., Matroshilov Ju.A., Shesterkina N.M. 2001. Vlijanie krupnyh lesnyh pozharov na himicheskij sostav pochv i vod Priamur'ja [The impact of large forest fires on the chemical composition of soils and waters of the Amur region]. *Materialy nauch. konf. «Prirodnye resursy Zabajkal'ja i problemy prirodopol'zovanija»* ["Natural resources of Transbaikalia and problems of nature"], Chita, pp. 149-150.

Shesterkin V.P., Shesterkina N.M. 2002. Vlijanie krupnyh lesnyh pozharov na gidrohimicheskij rezhim taezhnyh rek Priamur'ja [The impact of large forest fires on the hydrochemical regime of the taiga rivers of the Amur region]. *Geografija i prirodnye resursy – Geographical and Natural Resources*, no. 2, pp. 47-52.

Shesterkin V.P., Shesterkina N.M., Forina Ju.A. 2005. Osobennosti formirovanija himicheskogo sostava snezhnogo pokrova juzhnyh rajonov Priamur'ja [Features of the snow cover chemical composition formation of southern areas of Priamurye]. *Fundamental'nye problemy izuchenija i ispol'zovanija vody i vodnyh resursov: Materialy nauchn. konf.* [Fundamental problems in water resources research and Utilization: Proc. of scientific conf.], Irkutsk, pp. 155-157.

Shesterkin V.P. 2015. Hidrohimija rek juzhnoj chasti o. Feklistova (Shantarskie ostrova) [Hydrochemistry of rivers in the southern part of the Feklistov Island (Shantar Islands)]. *Tihookeanskaja Geologija – Russian J. of Pacific Geology*, vol. 34, no. 6, pp. 108-110.

Shesterkin V.P., Shesterkina N.M. 2016. Vlijanie katastroficheskikh lesnyh pozharov na himicheskij sostav vody rek bassejna r. Anjuz (Severnyj Sihotje-Alin) [Catastrophic Forest Fire Impact on the Water Chemical Composition in the Anuy River Basin, North Sikhote-Alin]. *Vestnik SVNC DVO RAN –Bulletin of the North-East Scientific Center, Russia Academy of Sciences Far East Branch*, no. 3, pp. 47-54.

Shesterkin V.P., Kostomarova I.V. 2016. Osobennosti himicheskogo sostava vod rek gosudarstvennogo prirodnogo zakaznika «Tuminskij» [Features of chemical composition of water of the rivers state nature reserve "Tumnin"]. *Tez. Vseros. nauchn.-prakt. konf. s mezhdunarod. uchastiem «Nauchnye issledovanija v zapovednikah i nacional'nyh parkah Rossii»* [Scientific researches in reserves and national parks of Russia], Petrozavodsk, pp. 258-259.

Sheshukov M.A., Savchenko A.P., Peshkov V.V. 1992. *Lesnye pozhary i bor'ba s nimi na severe Dal'nego Vostoka* [Forest fires and fighting them in the North of the Far East]. Khabarovsk, 95 p.

Sheshukov M.A., Goldammer J.G., Telicin G.P., Sapozhnikov A.P., Vyvodcev N.V., Brusova E.V., Dzhurvelius M., Kondrashov L.G., Lyubyakin A.P., Ostroschenko V.V., Pankratova N.N., Sokolova G.V., Shesterkin V.P., Shesterkina N.M., Vinokurov V.M., Nikitin S.P. 2006. *Severo-Vostochnaja Azija: vklad v global'nyj lesopozharnyj cikl* [North-East Asia: a contribution to the global forest fire cycle]. Khabarovsk, 415 p.

Ahlgren I.F., Ahlgren C.E. 1960. Ecological effects of forest fires. – *Botanical Review*, vol. 26, pp. 483-533.

Bayley S.E., Schindler D.W., Beaty K.G. et al. 1992. Effects of multiple fires on nutrient yields from streams draining boreal forest and fen watersheds: nitrogen and phosphorus. – *Canadian J. of Fisheries and Aquatic Sciences*, vol. 29, pp. 584-596.

Earl S.R., Blinn D.W. 2003. Effects of wildfire ash on water chemistry and biota in South-Western U.S.A. streams. – *Freshwater biology*, vol. 48, pp. 1015-1030.

Gluns D.R., Toews D.A. 1989. Effect of a major wildfire on water quality in south-eastern British Columbia. – *Proceedings of the Symposium on Headwaters Hydrology*. – American Water Resources Association, Bethesda, Maryland, pp. 487-499.

Hauer F.R., Spenser C.N. 1998. Phosphorus and nitrogen dynamics in streams associated with wildfire: A study of immediate and long-term effects – *Wildland Fire*, vol. 8, No. 4, pp. 183-198.

Lewis W.M. 1974. Effects of fire on nutrient movement in a South Carolina pine forest. – *Ecology*, vol. 55, pp. 1120-1127.

Minshall G.W., Robinson C.T., Royer T.V. 1998. Stream Ecosystem Responses to the 1988 Wildfires. – *Yellowstone Science*, vol. 6, pp. 15-22.

Spenser C.N., Gabel K.O., Hauer F.R. 2003. Wild re effects on stream food webs and nutrient dynamics in Glacier National Park, USA. – *Forest Ecology and Management*, vol. 178, pp. 141-153.

Tiedemann A.R., Hervey J.D., Anderson T.D. 1978. Stream chemistry and watershed nutrient economy following wildfire and fertilization in Eastern Washington – *J. of Environmental Quality*, vol. 7, No. 4, pp. 580-588.

Статья поступила в редакцию: 03.04.2017

После переработки: 13.04.2017