

ЭКОЛОГИЯ / ECOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.16>**ИЗМЕНЕНИЕ СОДЕРЖАНИЯ ОБЩЕГО ЖЕЛЕЗА В РЕКЕ АМУР НА ТРАНСГРАНИЧНОМ УЧАСТКЕ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ РЕЖИМЕ**

Научная статья

Голубева Е.М.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-4285-9345;¹ Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (evg8302[at]yandex.ru)

Аннотация

В статье показана сезонная динамика изменений концентраций общего железа по поперечному профилю р. Амур на участке от г. Благовещенск до зоны влияния стока р. Сунгари (КНР) в разные сезоны 2012 и 2013 гг., отличающихся уровнем водности. В работе использованы материалы, полученные в ходе совместного российско-китайского мониторинга качества воды трансграничных водных объектов. По данным российско-китайского мониторинга показана роль взвешенных веществ и трудноминерализуемых органических соединений в миграции железа в период экстремального паводка летом 2013 г. В работе были проанализированы корреляционные связи между расходами воды, количеством взвешенных веществ, содержанием железа и органических веществ.

Ключевые слова: железо, паводок, река Амур, коэффициент корреляции.**CHANGES IN TOTAL IRON CONTENT IN THE AMUR RIVER AT THE TRANSBOUNDARY SITE UNDER DIFFERENT HYDROLOGICAL REGIME**

Research article

Golubeva Y.M.^{1,*}¹ ORCID : 0000-0002-4285-9345;¹ Pacific National University, Khabarovsk, Russian Federation

* Corresponding author (evg8302[at]yandex.ru)

Abstract

The article shows the seasonal dynamics of changes in total iron concentrations along the cross-sectional profile of the Amur River in the section from Blagoveshchensk to the zone of influence of the Sungari River (PRC) flow in different seasons of 2012 and 2013, differing in the level of water availability. Materials obtained during the joint Russian-Chinese monitoring of water quality of transboundary water bodies were used in the work. According to the Russian-Chinese monitoring data, the role of suspended solids and hard-to-mineralise organic compounds in iron migration during the extreme flood in the summer of 2013 was shown. The correlations between water discharge, suspended solids, iron and organic matter content were analysed.

Keywords: iron, flood, Amur River, correlation coefficient.**Введение**

В связи с изменением климата в последние десятилетия в мире отмечается увеличение количества обильных осадков и вызванных ими наводнений, особенно в Северном полушарии [26]. Катастрофические последствия таких наводнений связаны не только с многомиллионным ущербом для экономики стран, но и с изменением качества воды в связи с поступлением органических и минеральных веществ с затопленных территорий.

Местоположение р. Амур определяет ее трансграничный характер и сказывается на качестве воды. На гидрологические и гидрохимические показатели в Амуре основное влияние оказывают его притоки: левобережные – реки Зeya и Бурея и правобережные – р. Сунгари (КНР) и р. Уссури. В р. Амур с водосборной территории поступают вещества различного генезиса. У левого берега преобладают соединения гумусовой природы, поступающие с водосборов рек Зeya и Бурея [12]. Кроме того, водохранилища, расположенные на этих реках, ниже плотин увеличивают количество биогенных веществ, фенольных соединений, содержание ионов железа [7].

Развитие промышленного производства, агрохимического комплекса, горнодобывающей промышленности на территории Китая приводит к поступлению в р. Амур со стоком р. Сунгари органических веществ (ОВ) различного строения и происхождения, ионов биогенных элементов и тяжелых металлов [7], [23].

Крупнейшее наводнение за всю историю наблюдений на р. Амур произошло в августе-сентябре 2013 г. Его особенность состояла в выпадении на всей территории бассейна обильных атмосферных осадков (на некоторых участках за июль-август они превышали годовую норму) и в формировании последовательных паводков с наложениями пиков на всех основных притоках Амура [1]. Эти явления усугубились переувлажнением почвогрунтов на территории бассейна Амура в 2012 – начале 2013 гг., что привело к снижению их впитывающей способности. Несмотря на то, что Зейское и Бурейское водохранилища аккумулировали паводочные воды (8 и 5 км³ соответственно) [2], уровень воды в Амуре поднялся настолько, что затопленными оказались пойменные и прилегающие к ним равнинные территории [15].

Глубокое и длительное затопление пойменных и низменных территорий не могло не сказаться на качестве воды р. Амур. В период затопления почвогрунтов изменяются физико-химические условия, происходит смена микробных

сообществ. Эти процессы приводят к образованию устойчивых органических соединений, изменяют формы миграции металлов с переменной валентностью (железо, марганец).

В р. Амур повышенные содержания железа в поверхностных водах зависят от гидрогеологических особенностей территории водосбора, характера почвообразования, антропогенного преобразования ландшафтов и аэрогенного переноса [10], [3], [9], [14]. Высокая подвижность железа в бассейне р. Амур обусловлена формированием кислого (фульватного) гумуса в горно-таежных почвах и торфообразованием, а выщелачивание железа из минералов и миграция макроэлемента происходит в составе тонкодисперсных фракций почв и осадочных пород в виде суспензий [14], [19].

Одна из основных проблем изучения генезиса железа в поверхностных водах связана со сложностью разделения его форм из-за их нестабильного состояния. Выделяют три основные миграционные формы этого металла: растворенная, взвешенная и коллоидная.

В реках в растворенной форме находится железо в двухвалентном состоянии. Трехвалентное железо нерастворимо, однако оно может переходить в свободное состояние путем связывания с растворенным органическим веществом (РОВ) в комплексной форме [27].

Исследование распределения различных форм железа в основном русле р. Амур позволит определить вклад водотоков в формировании качества воды в паводковый период на р. Амур.

Цель работы состояла в комплексной оценке сезонных изменений содержания железа при различных гидрологических режимах, в том числе во время паводка 2013 г. Установление закономерностей корреляционных связей между содержанием железа, взвешенными веществами и органическими соединениями на трансграничном участке среднего течения реки Амур.

Объекты и методы исследования

В работе были использованы данные, полученные в ходе совместного российско-китайского мониторинга качества воды трансграничных водных объектов. Российскими и китайскими представителями были проведены отборы проб поверхностных и придонных слоев воды в соответствии с «Программой мероприятий по осуществлению совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов». В этой работе использованы и проанализированы данные за 2012 и 2013 гг., опубликованные Министерством природных ресурсов Хабаровского края [4], [5]. В данном исследовании использовали результаты мониторинга качества воды в р. Амур на трех створах, расположенных в районе г. Благовещенск, а также выше (Амурзет – Миньшань) и ниже (Нижнеленинское – Тундзяндунган) впадения реки Сунгари (рис.1). Пробы воды отбирали в разные сезоны: зимняя межень (февраль); в весенне-летний период открытого русла (май, июнь и август) 2012 и 2013 года.



Рисунок 1 - Карта-схема района исследования
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.16.1>

Примечание: черные треугольники — места отбора проб

Пробы были отобраны по поперечному профилю реки у левого берега, на середине и у правого берега, по всей ширине реки по 3 вертикалям с двух горизонтов – поверхностного (0,3–0,5 м) и придонного (0,5 м от дна) слоев в соответствии с ГОСТ 31861-2012. Исползованные данные были получены в результате применения утвержденных Росгидрометом методик, согласованных с китайской стороной, в том числе: ХПК (РД 52.24.421-2007) и ВВ (ПНД Ф 14.1; 2.110-97). Для определения растворенного железа пробы фильтровали через мембранные фильтры с размером

пор 0,45 мкм, затем подкисляли азотной кислотой до $\text{pH} \leq 2$ (ПНД Ф 14.1: 2:4.143-98) и определяли методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой (Elan 900 фирмы PerkinElmer).

В нашем исследовании внимание было уделено выявлению закономерностей в сезонных изменениях концентраций железа в воде р. Амур и определению возможных связей с содержанием взвешенных веществ (ВВ) и стойких органических веществ (ОВ) (анализ показателей ХПК), с учетом расходов воды за период наблюдений (2012-2013 гг.), который совпал с катастрофическим наводнением на Дальнем Востоке. Корреляционный анализ был проведен с использованием функции КОРРЕЛ в Microsoft Excel 2010.

Результаты и обсуждения

Сложная природная система р. Амур образована несколькими областями со специфическими особенностями гидрологического режима. Доля каждой из этих территорий в формировании стока р. Амур различна и изменяется в зависимости от водного режима [20], [6], [8].

Содержание железа в 2012 году изменялось от 0,03 до 0,92 мг/л в пробах воды, отобранных за весь период наблюдения и на всех створах. Максимальные концентрации железа за весь период наблюдений были зафиксированы у правого берега в мае 2012 году как вне, так и в зоне влияния р. Сунгари (0,92 и 0,86 мг/дм³ соответственно). На поступление исследуемого металла в основное русло р. Амур оказывал влияние поверхностный сток с территории КНР.

Содержание железа в 2013 году изменялось от 0,12 до 0,48 мг/л в пробах воды, отобранных за весь период наблюдения и на всех створах. Повышенные содержания железа зафиксированы в феврале 2013 г. на створах Амурзет – Миньшань и Нижнеленинское – Тунцзяндунган (рис. 2), причем максимальные концентрации были в пробах воды, отобранных у правого берега. По-видимому, содержание железа связано с его сезонными особенностями миграции. Как было отмечено в исследованиях 2010 года, повышенное содержание железа в зимний период определяется тем, что водное питание реки осуществляется за счет 100% разгрузки подземных железосодержащих вод [11].

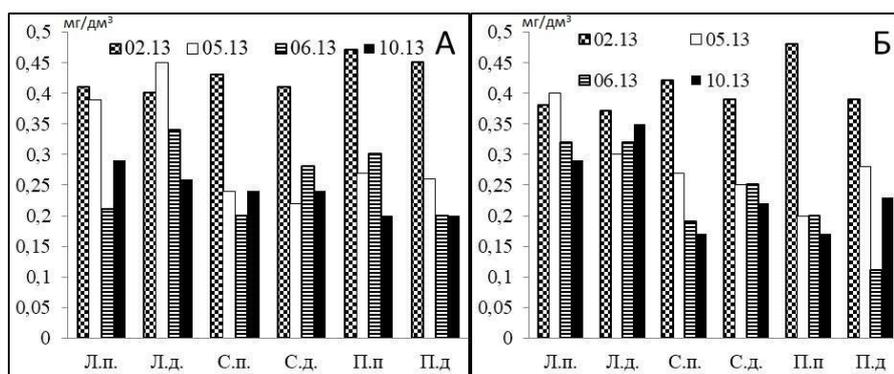


Рисунок 2 - Сезонная динамика содержания железа в воде р. Амур в 2013 году
DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.16.2>

Примечание: А – створ Амурзет – Миньшань; Б – створ Нижнеленинское – Тунцзяндунган. Л., С., П. – левый берег, середина, правый берег; п. – поверхностные слои, д. – придонные слои

В июне, с увеличением расходов воды (12141 и 15460 м³/с, выше и ниже устья р. Сунгари соответственно), зафиксировано понижение содержания железа на обоих створах. В октябре после прохождения паводка концентрации железа снизились по поперечному профилю реки от левого берега к правому, как вне зоны, так и в зоне влияния р. Сунгари. Повышенные содержания металла у левого российского берега могут свидетельствовать о его поступлении из Зейского и Бурейского водохранилищ. Так, в 2003-2004 гг. концентрация общего железа в воде Бурейского водохранилища колебалась от 0,42-0,27 мг/дм³ [16].

При анализе коэффициентов корреляции между содержанием железа и расходами воды выявлены некоторые особенности (табл. 1). Так, в 2012 г. на створе Благовещенск-Хэйхэ по поперечному профилю реки установлены отрицательные связи между парой Fe – расход воды в поверхностных и придонных слоях.

Таблица 1 - Изменение коэффициента корреляции между содержанием железа и расходами воды в р. Амур (2012 и 2013 гг.)

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.16.3>

Название створа	Место отбора	2012		2013	
		Fe1	Fe2	Fe1	Fe2
Благовещенск-Хэйхэ	ЛБ	-0,956	-0,961	0,213	0,587
	Сerp.	-0,81	-0,841	0,357	0,674

	ПБ	-0,846	-0,9	-0,407	-0,276
Амурзет - Миншань	ЛБ	-0,071	-0,105	-0,747	-0,408
	Сер.	-0,134	-0,225	-0,995	-0,886
	ПБ	-0,044	0	-0,897	-0,993
Нижнеленинское - Тундзяндунган	ЛБ	-0,119	-0,118	-0,739	-0,458
	Сер.	-0,211	0,025	-0,999	-0,957
	ПБ	0,111	0,377	-0,945	-0,856

Примечание: ЛБ – левый берег; Сер. – середина; ПБ – правый берег. Fe1 – содержание железа в поверхностных слоях; Fe2 – содержание железа в придонных слоях

В 2013 г. на двух створах Нижнеленинское – Тундзяндунган и Амурзет – Миншань установлены строгие обратные зависимости между содержанием железа в поверхностных и придонных слоях с расходами воды. Такая зависимость может быть обусловлена разбавляющим эффектом паводковых вод, поступающих с Верхнего Амура.

На рис. 3 показаны данные по содержанию железа в придонных и поверхностных водах р. Амур в период максимальных расходов воды в августе 2012 (7640 и 10100 м³/с, выше и ниже устья р. Сунгари соответственно) и в июне 2013 г. (12141 и 15460 м³/с, соответственно на двух створах). В 2013 г. содержание железа по всему профилю реки на обоих створах увеличилось. Стоит обратить внимание на то, что максимальные концентрации металла отмечены в придонных слоях воды у левого берега ниже устья р. Сунгари (0,35 мг/дм³) и были почти в 2 раза выше, чем у правого берега и на середине реки. Резкие колебания содержания железа в северных притоках Амура в 1995-2000 гг., наблюдали при изменениях гидрологических условий. В основном это было связано с деградацией мерзлотных водоупорных горизонтов, приводящей к поступлению гуминовых веществ, связанных с железом, в толщу подстилающих пород [21].

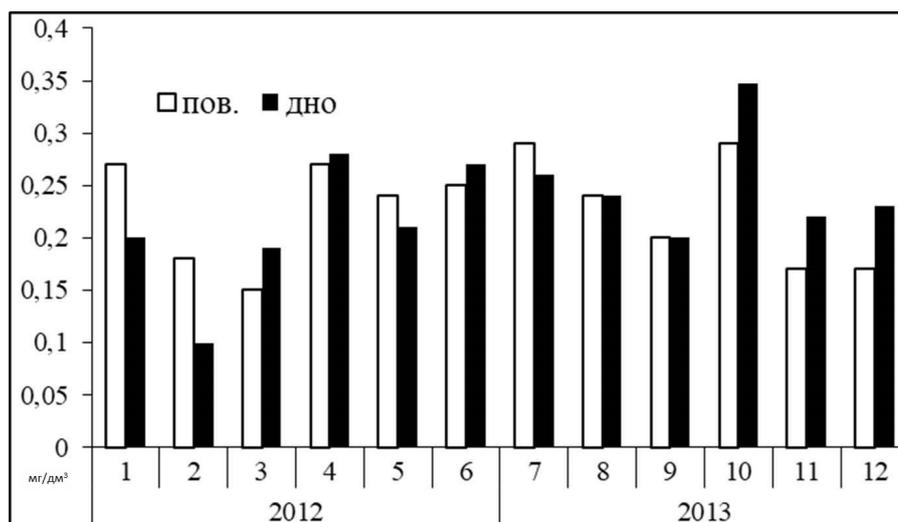


Рисунок 3 - Содержание железа в поверхностных и придонных слоях воды при высоких расходах в августе 2012 и июне 2013 гг.

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.16.4>

Примечание: 1-3 и 7-9 – выше, 4-6 и 10-13 – ниже р. Сунгари; 1, 4, 7, 10 – левый берег; 2, 5, 8, 11 – середина; 3, 6, 9, 12 – правый берег

На рис. 4 показано распределение взвешенных веществ (ВВ) выше и ниже зоны влияния р. Сунгари в период максимальных расходов воды.

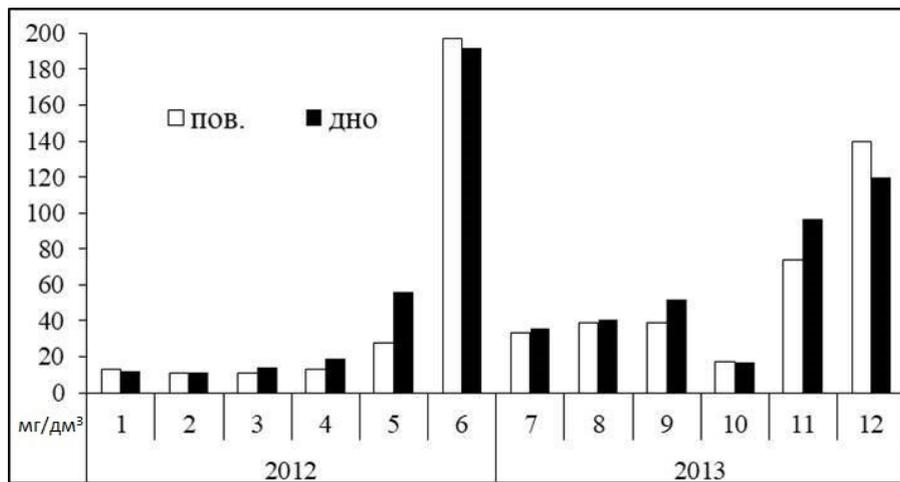


Рисунок 4 - Содержание взвешенного вещества в поверхностных и придонных слоях воды при высоких расходах в августе 2012 и октябре 2013 гг.

DOI: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.144.16.5>

Примечание: 1-3 и 7-9 – выше, 4-6 и 10-13 – ниже р. Сунгари; 1, 4, 7, 10 – левый берег; 2, 5, 8, 11 – середина; 3, 6, 9, 12 – правый берег

Высокие концентрации ВВ пришлись на месяцы, когда уровни воды были не высокими. Так в 2012 году их повышенное содержание было установлено в пробах воды, отобранных в июне у правого берега в придонных слоях в зоне влияния р. Сунгари (409 мг/дм³). В 2013 г. была отмечена тенденция возрастания концентраций ВВ по поперечному профилю от левого к правому берегу р. Амур, как вне, так и в зоне влияния р. Сунгари. Наиболее интенсивное поступление ВВ в р. Амур в весенне-летний период 2012 и 2013 гг. происходило со стоком реки Сунгари, исключение составляли пробы воды, отобранные в феврале [8].

Проведенный сравнительный анализ корреляционных связей между содержанием железа, органических соединений, определяемых по интегральному показателю ХПК и взвешенных веществ, показал, что в 2012 и 2013 годах они существенно изменялись на разных створах в течение сезонов. На створе Благовещенск – Хэйхе в 2012 г. в течение всего периода наблюдений не выявлены коэффициенты корреляции между железом и показателем ХПК. При этом в мае была выявлена слабая корреляционная связь между железом и взвешенными веществами. Это может свидетельствовать о поступлении металла в р. Амур в растворенной форме с вышерасположенных участков. На створе Амурзет-Миньшань в период с февраля по август коэффициент корреляции между железом и ХПК изменялся от положительных значений ($R=0,77$) до строго отрицательных ($R=-0,99$). К летнему сезону, в паводковый период (май, август), исследуемый металл присутствовал в составе минеральных ВВ, о чем свидетельствуют положительные корреляции в паре Fe-ВВ ($R=0,65$, $R=0,62$) и отрицательная связь между взвешенными веществами и трудноминерализуемыми органическими соединениями ($R=-0,87$). В зоне влияния р. Сунгари, с февраля по май, показатель коэффициента корреляции между ХПК и взвешенными веществами изменялся от $R=0,61$ до $R=-0,8$. Это может означать, что в мае с увеличением расходов воды снижалась доля органических веществ, входящих в состав ВВ. Для показателей Fe-ВВ и Fe-ХПК не были выявлены значимые связи, что может свидетельствовать о поступлении металла в растворенной форме.

В 2013 году, вне зоны влияния реки Сунгари, отмечены отрицательные корреляционные связи между железом и трудно минерализуемыми органическими веществами. В феврале на створах Благовещенск – Хэйхе ($R=-0,62$) и в мае Амурзет – Миньшань ($R=-0,89$). На створе Нижнеленинское – Тундзяндунган только в мае наблюдали прямую корреляционную связь в паре Fe-ХПК ($R=0,75$), что может указывать на то, что железо находилось в составе слабоминерализованных органических веществ. С ростом расходов воды наблюдали отрицательную корреляционную зависимость между железом и взвешенным веществом ($R=-0,87$ и $-0,8$), а слабые положительные связи ХПК-ВВ свидетельствуют о миграции железа в растворенной форме.

Корреляционный анализ связей в паре ХПК-ВВ показал их существенное варьирование по годам и зависимость от гидрологического режима. Во время паводка 2013 г. существенное количество трудно минерализуемых органических веществ переносилось в составе взвешенных веществ на участке от Благовещенска до с. Амурзет. В зоне влияния р. Сунгари в мае, несмотря на высокую водность, была выявлена обратная зависимость для пары ХПК-ВВ ($R=-0,97$). Это свидетельствует о том, что в паводковый период с водами р. Сунгари поступали ВВ в основном минерального состава.

До сих пор остается спорным вопрос о форме железа, поступающего со стоком р. Сунгари. Некоторые исследователи отмечают, что перенос железа в составе взвесей резко преобладает над его переносом в растворенной форме, особенно ниже устья р. Сунгари [13], [23]. Однако по наблюдению китайских авторов в период экстремального наводнения высокие концентрации общего растворенного железа (ОРЖ) были связаны с его поступлением из водно-болотных угодий при разливе рек бассейна Сунгари [25]. По данным китайских исследователей резкое увеличение содержания ОРЖ произошло в паводковый период (среднее значение 1,11 мг/дм³). В это время железо поступало

преимущественно в составе растворимых низкомолекулярных комплексных соединений, которые доминировали над коллоидными и ионными формами металла [25]. Миграционная подвижность железа возрастает в регионах с обширными заболоченными территориями [17]. Активное освоение болотных угодий в долине р. Сунгари привело к изменению гидрологических условий и повлияло на биогеохимический цикл железа таким образом, что содержание общего растворимого железа в реке увеличилось [24], [29]. В пресноводных экосистемах общая скорость окисления Fe (II) может быть ускорена в присутствии растворимых органических веществ, таких как гуминовые кислоты, более того, образовавшиеся органические комплексы с Fe (III) могут замедлять образование коллоидов железа и стабилизировать его растворенную фракцию [30]. Анализ водно-болотных угодий равнины Санцзян на северо-востоке Китая показал, что органические соединения обладают высоким сродством к трехвалентному железу. В результате более 90% содержащегося металла, образует растворимые низкомолекулярные комплексы с органическими лигандами. Растворимые органические вещества, включая коллоидные и комплексные формы, подвергаются фотохимической трансформации, в результате чего увеличивается содержание растворимого железа в составе низкомолекулярных органических соединений. Обильные осадки также приводят к разбавлению растворенного железа и повышают мутность в болотных водах, что ведет к увеличению концентрации подвижных соединений железа [29].

Таким образом, в течение 2013 года в р. Амур независимо от увеличения расходов воды железо поступало и мигрировало в растворенном состоянии. Об этом свидетельствуют обратные зависимости между содержанием железа и взвешенных веществ.

Заключение

Содержание ионов железа выступает фактором, формирующим качество поверхностных вод в р. Амур. Однако на территории Приамурья сложились геологические, биогеохимические и гидрологические предпосылки увеличения концентраций данного элемента, которые не поддаются регулированию.

Корреляционный анализ данных по содержанию общего железа, трудноминерализуемых органических веществ (по ХПК) и взвешенных веществ в поверхностных и придонных слоях воды р. Амур в 2012 и 2013 гг. позволил выявить различные связи между этими показателями на разных створах в зависимости от гидрологического режима. Характерным является то, что в 2013 г. на всех створах наблюдения с увеличением расходов воды концентрация железа снижалась.

Разнохарактерные связи установлены между содержанием железа и показателем ХПК, который может отражать присутствие в воде не только природных, но и стойких органических веществ техногенного происхождения. Это отразилось на корреляционных связях при анализе сезонного поступления железа в составе трудно минерализуемых органических веществ со стоком левобережных притоков (р. Зeya и р. Бурей) и реки Сунгари.

Взаимосвязь содержания железа и взвешенных веществ в исследуемые сезоны в основном была отрицательной. Прямые корреляционные связи были обнаружены в мае и августе 2012 г. на одном створе Амурзет – Миньшань. Можно предположить, что в эти месяцы железо в основном поступало в составе минеральных соединений. В 2013 г. в зоне влияния р. Сунгари между этими показателями была установлена строгая обратная зависимость. Такой показатель корреляции связан с миграцией железа не в виде комплексных соединений с органическими веществами. Природные воды, содержащие повышенные концентрации железа распространялись в основном вдоль левого берега, где определяющую роль играет сток рек Зeya и Бурей, а соответственно сбросы с водохранилищ.

Корреляционные связи ХПК-ВВ существенно варьировали по годам и зависели от гидрологического режима. Во время максимальных расходов воды 2013 г., трудно минерализуемые органические вещества поступали в воду р. Амур в составе взвешенных веществ на участке от Благовещенска до с. Амурзет. В зоне влияния р. Сунгари в мае обратная зависимость свидетельствовала о том, что в период паводка 2013 г. с водами правобережного притока поступали ВВ в основном минерального состава.

Таким образом, наши исследования показали, что железо в р. Амур при различных гидрологических режимах независимо от расходов воды мигрировало в свободной форме в составе растворимых органических веществ. Это подтверждается исследованиями японских авторов, которые установили, что основная часть железа поступает в Амур в составе гуматных комплексов. Установлено, что общее количество стока растворенного железа в прибрежную часть Охотского моря составляет $1,1 \pm 0,7 \cdot 10^{11}$ гр./год [31]. В исследованиях, выполненных рамках Амур-Охотского Проекта, была показана лимитирующая роль растворенного железа на первичную продукцию Северной Пацифики [28], [31], [32]. Таким образом, увеличение содержания растворимых форм железа в воде р. Амур в период исторического паводка могло повлиять на сток металла в воды прибрежных акваторий Охотского моря, тем самым создать условия для увеличения биологической продуктивности морских экосистем.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Данилов-Данильян В. И. Катастрофическое наводнение 2013 года в бассейне реки Амур: условия формирования, оценка повторяемости, результаты моделирования / В. И. Данилов-Данильян, А. Н. Гельфан, Ю. Г. Мотовилов и др. // Водные ресурсы. — 2014. — Т. 41. — № 2. — с. 111–122.
2. Дугина И.О.. Выдающееся наводнение на Амуре 2013 года и его особенности. Взгляд гидролога / И.О. Дугина // Наводнение-2013; — Талакан: Русгидро, 2014. — с. 41–57.
3. Ивашов П.В.. Тяжелые металлы в биообъектах водных экосистем бассейна р. Амур / П.В. Ивашов // Геолого-геохимические и биогеохимические исследования на Дальнем Востоке; — Владивосток: Дальнаука, 1998. — с. 49 – 59.
4. Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2012 году; — Хабаровск: МПР Хабаровского края, 2013.— 240 с.
5. Итоговый отчет о проведении совместного российско-китайского мониторинга качества вод трансграничных водных объектов в 2013 году; — Хабаровск: МПР Хабаровского края, 2014. —158 с.
6. Ким В.И.. Влияние Зейского водохранилища на водный режим р. Амур / В.И. Ким // Амур на рубеже веков. Ресурсы, проблемы, перспективы; — Хабаровск: ФГБУН ИВЭП ДВО РАН, 1999. — с. 90-91.
7. Кондратьева Л.М. Влияние крупных притоков на биогеохимические процессы в реке Амур / Л.М. Кондратьева, Д.В. Андреева, Е.М. Голубева // География и природные ресурсы. — 2013. — № 2. — с. 36 - 43.
8. Кондратьева Л.М. Сезонные изменения содержания марганца в р. Амур при различном гидрологическом режиме / Л.М. Кондратьева, Е.М. Голубева // Тихоокеанская геология. — 2015. — Т. 34. — № 3. — с. 93-103.
9. Кондратьева Л.М. Влияние крупных притоков на содержание тяжелых металлов в воде и донных отложениях реки Амур / Л.М. Кондратьева, В.С. Канцыбер, В.Е. Зазулина, Л.С. Боковенко // Тихоокеанская геология. — 2006. — Т. 25. — № 6. — с. 103 - 114.
10. Кот Ф.С.. Тяжелые металлы в донных отложениях Среднего и Нижнего Амура / Ф.С. Кот // Биогеохимические и экологические оценки техногенных экосистем бассейна реки Амур; — Владивосток: Дальнаука, 1994. — с. 123 - 135.
11. Кулаков В.В. Геологические и биогеохимические условия формирования повышенного содержания железа и марганца в воде р. Амур / В.В. Кулаков, Л.М. Кондратьева, Е.М. Голубева // Тихоокеанская геология. — 2010. — Т. 29. — № 6. — с. 66 - 76.
12. Левшина С.И. Распределение марганца в поверхностных водах Среднего и Нижнего Приамурья / С.И. Левшина // Тихоокеанская геология. — 2012. — Т. 31. — № 4. — с. 113 - 119.
13. Левшина С.И. Роль гумусовых кислот в миграции металлов в речных водах Приамурья / С.И. Левшина // Водные ресурсы. — 2015. — Т. 42. — № 6. — с. 635 - 646.
14. Матюшкина Л.А. О миграции железа в почвах и поверхностных водах Нижнего Приамурья / Л.А. Матюшкина, С.И. Левшина, Д.Н. Юрьев // Биогеохимические и экологические исследования наземных и водных экосистем; — Вып. 16. — Владивосток: Дальнаука, 2006. — с. 185 -194.
15. Махинов А.Н. Наводнение в бассейне Амура 2013 г.: причины и последствия / А.Н. Махинов, В.И. Ким, Б.А. Воронов // Вестник ДВО РАН. — 2014. — № 2. — с. 5-14.
16. Медведева Л.А. Оценка состояния водной экосистемы Бурейского водохранилища по данным анализа фитопланктонных сообществ / Л.А. Медведева, Т.В. Никулина, С.Е. Сиротский // Водные ресурсы. — 2015. — Т. 42. — № 2. — с. 199 - 212.
17. Моисеенко Т.И. Водная экотоксикология: Теоретические и прикладные аспекты / Т.И. Моисеенко — Москва: Наука, 2009. — 400 с.
18. Новороцкий П.В. Климатические изменения в бассейне Амура за последние 115 лет / П.В. Новороцкий // Метеорология и гидрология. — 2007. — 2. — с. 43 - 53.
19. Труфанов А.И.. Железистые подземные воды юга Дальнего Востока / А.И. Труфанов, К.П. Караванов // Вопросы географии Дальнего Востока; — Хабаровск: Приамурский филиал Географического Общества СССР, 1973. — с. 263 - 273.
20. Факторы формирования качества воды на Нижнем Амуре / под ред. Л.М. Кондратьевой; — Владивосток: Дальнаука, 2008. — 217 с.
21. Шамов В.В. Сток растворенного железа в реках бассейна Амура в конце XX века / В.В. Шамов, Т. Ониши, В.В. Кулаков // Водные ресурсы. — 2014. — Т. 41. — № 2. — с. 206 - 215.
22. Шестеркин В.П. Изменение химического состава вод Амура в период исторического наводнения в 2013 году / В.П. Шестеркин // Водные ресурсы. — 2016. — Т. 43. — № 3. — с. 287 - 296.
23. Шестеркин В.П. Пространственная и сезонная динамика содержания железа в водах среднего Амура / В.П. Шестеркин, Н.М. Шестеркина // Вестник ДВО РАН. — 2016. — № 5. — с. 21-30.
24. Chi G.Y. Forms and profile distribution of soil Fe in the Sanjiang Plain of Northeast China as affected by land uses / G.Y. Chi, X. Chen, Y. Shi et al. // Journal Soils Sediments. — 2010. — V.10. — Iss. 4. — p. 787 - 795.
25. Guan J. Flux characteristics of total dissolved iron and its species during extreme rainfall event in the midstream of the Heilongjiang River / J. Guan, B. Yan, H. Zhu et al. // Journal of Environmental Science. — 2015. — V. 30. — p. 74 - 80.
26. IPCC Summary for policy makers / In: Field C.B., Barros V., Stocker T.F., et al. (Eds.) // Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change; — Cambridge: Cambridge University Press, 2012. — p. 1–19.
27. Meunier L. Effects of size and origin of natural dissolved organic matter compounds on the redox cycling of iron in sunlit surface waters / L. Meunier, H. Laubscher, S.J. Hug et al. // Aquatic Science. — 2005. — V. 67. — Iss.3. — p. 292 - 307.
28. Nishioka J. Iron supply to the western subarctic Pacific: importance of iron export from the Sea of Okhotsk / J. Nishioka, T. Ono, H. Saito, T. Nakatsuka et al. // Journal of Geophysical Research. — 2007. — 112. — p. C10012.

29. Pan X. Temporal variability of iron concentrations and fractions in wetland waters in Sanjiang Plain, Northeast China / X. Pan, B. Yan, M. Yoh, L. Wang, X. Liu // *Journal of Environmental Science*. — 2010. — V. 22. — Iss.7. — p. 968 - 974.
30. Pullin M.J. The effects of pH, ionic strength, and iron-fulvic acid interactions on the kinetics of non-photochemical iron transformations. I. Iron (II) oxidation and iron (III) colloid formation / M.J. Pullin, S.E. Cabaniss // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. — 2003. — V. 67. — Iss. 21. — p. 4067 - 4077.
31. Terashima M.. Removal and fractionation characteristics of dissolved iron in estuarine mixing zone / M. Terashima, S. Nagao; — Issue 4. — Kyoto: Research Institute for Humanity and Nature, 2007. — p. 69 - 74.
32. Yoshimura T. Iron nutritional status of the phytoplankton assemblage in Okhotsk Sea during summer / T. Yoshimura, J. Nishioka, T. Nakatsuka // *Deep-Sea Research*. — 2010. — 57. — p. 1454 - 1464.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Danilov-Danil'jan V. I. Katastroficheskoe navodnenie 2013 goda v bassejne reki Amur: uslovija formirovaniya, otsenka povtorjaemosti, rezul'taty modelirovaniya [Disastrous flood of 2013 in the Amur basin: genesis, recurrence assessment, simulation results] / V. I. Danilov-Danil'jan, A. N. Gel'fan, Ju. G. Motovilov et al. // *Water Resources*. — 2014. — V. 41. — № 2. — p. 111–122. [in Russian]
2. Dugina I.O.. Vydajuscheesja navodnenie na Amure 2013 goda i ego osobennosti. Vzgljad gidrologa [Outstanding flood on the Amur in 2013 and its features. A hydrologist's view] / I.O. Dugina // *Flood-2013*; — Talakan: Rusgidro, 2014. — p. 41–57. [in Russian]
3. Ivashov P.V.. Tjzhelye metally v bioob'ektah vodnyh ekosistem bassejna r. Amur [Heavy metals in biological objects of aquatic ecosystems of the Amur river basin] / P.V. Ivashov // *Geological-geochemical and biogeochemical research in the Far East*; — Vladivostok: Dal'nauka, 1998. — p. 49 – 59. [in Russian]
4. Itogovyj otchet o provedenii sovmestnogo rossijsko-kitajskogo monitoringa kachestva vod transgranichnyh vodnyh ob"ektov v 2012 godu [Final report on the joint Russian-Chinese monitoring of water quality in transboundary water bodies in 2012]; — Khabarovsk: Ministry of Natural Resources of the Khabarovsk Territory, 2013. — 240 p. [in Russian]
5. Itogovyj otchet o provedenii sovmestnogo rossijsko-kitajskogo monitoringa kachestva vod transgranichnyh vodnyh ob"ektov v 2013 godu [Final report on the joint Russian-Chinese monitoring of water quality in transboundary water bodies in 2013]; — Khabarovsk: Ministry of Natural Resources of the Khabarovsk Territory, 2014. — 158 p. [in Russian]
6. Kim V.I.. Vlijanie Zejskogo vodohranilisha na vodnyj rezhim r. Amur [Influence of the Zeya Reservoir on the water regime of the Amur river] / V.I. Kim // *Amur river at the turn of the century. Resources, problems, prospects*; — Khabarovsk: FGBUN IVEP DVO RAN, 1999. — p. 90-91. [in Russian]
7. Kondrat'eva L.M. Vlijanie krupnyh pritokov na biogeohimicheskie protsessy v reke Amur [The influence of large tributaries on biogeochemical processes in the Amur River] / L.M. Kondrat'eva, D.V. Andreeva, E.M. Golubeva // *Geography and Natural Resources*. — 2013. — № 2. — p. 36 - 43. [in Russian]
8. Kondrat'eva L.M. Sezonnnye izmeneniya sodержaniya margantsa v r. Amur pri razlichnom gidrologicheskom rezhime [Seasonal changes in manganese content in the Amur river under different hydrological regimes] / L.M. Kondrat'eva, E.M. Golubeva // *Pacific Geology*. — 2015. — V. 34. — № 3. — p. 93-103. [in Russian]
9. Kondrat'eva L.M. Vlijanie krupnyh pritokov na sodержanie tjzhelyh metallov v vode i donnyh otlozhenijah reki Amur [The influence of large tributaries on the content of heavy metals in water and bottom sediments of the Amur River] / L.M. Kondrat'eva, V.S. Kantsyber, V.E. Zazulina, L.S. Bokovenko // *Pacific Geology*. — 2006. — V. 25. — № 6. — p. 103 - 114. [in Russian]
10. Kot F.S.. Tjzhelye metally v donnyh otlozhenijah Srednego i Nizhnego Amura [Heavy metals in bottom sediments of the Middle and Lower Amur] / F.S. Kot // *Biogeochemical and environmental assessments of technogenic ecosystems of the Amur River basin*; — Vladivostok: Dal'nauka, 1994. — p. 123 - 135. [in Russian]
11. Kulakov V.V. Geologicheskie i biogeohimicheskie uslovija formirovaniya povyshennogo sodержaniya zheleza i margantsa v vode r. Amur [Geological and biogeochemical prerequisites for high Fe and Mn contents in the Amur river water] / V.V. Kulakov, L.M. Kondrat'eva, E.M. Golubeva // *Pacific Geology*. — 2010. — T. 29. — № 6. — p. 66 - 76. [in Russian]
12. Levshina S.I. Raspredelenie margantsa v poverhnostnyh vodah Srednego i Nizhnego Priamur'ja [Distribution of manganese in surface waters of the Middle and Lower Amur region] / S.I. Levshina // *Pacific Geology*. — 2012. — V. 31. — № 4. — p. 113 - 119. [in Russian]
13. Levshina S.I. Rol' gumusovyh kislot v migratsii metallov v rechnyh vodah Priamur'ja [The role of humic acids in the migration of metals in river waters of the Amur region] / S.I. Levshina // *Water Resources*. — 2015. — V. 42. — № 6. — p. 635 - 646. [in Russian]
14. Matjushkina L.A. O migratsii zheleza v pochvah i poverhnostnyh vodah Nizhnego Priamur'ja [Migration of iron in soils and surface waters of the Lower Amur region] / L.A. Matjushkina, S.I. Levshina, D.N. Jur'ev // *Biogeochemical and environmental studies of terrestrial and aquatic ecosystems*; — Issue 16. — Vladivostok: Dal'nauka, 2006. — p. 185 -194. [in Russian]
15. Mahinov A.N. Navodnenie v bassejne Amura 2013 g.: prichiny i posledstvija [Floods in the Amur basin in 2013: causes and consequences] / A.N. Mahinov, V.I. Kim, B.A. Voronov // *Vestnik FEB RAS*. — 2014. — № 2. — p. 5-14. [in Russian]
16. Medvedeva L.A. Otsenka sostojaniya vodnoj ekosistemy Burejskogo vodohranilisha po dannym analiza fitoplanktonnyh soobshchestv [Assessing the state of the aquatic ecosystem of the Bureya reservoir based on analysis of phytoplankton community] / L.A. Medvedeva, T.V. Nikulina, S.E. Sirotskij // *Water Resources*. — 2015. — V. 42. — № 2. — p. 199 - 212. [in Russian]
17. Moiseenko T.I. Vodnaja ekotoksikologija: Teoreticheskie i prikladnye aspekty [Aquatic ecotoxicology: Theoretical and applied aspects] / T.I. Moiseenko — Moskva: Nauka, 2009. — 400 p. [in Russian]

18. Novorotskij P.V. Klimaticheskie izmenenija v bassejne Amura za poslednie 115 let [Climatic changes in the Amur basin over the past 115 years] / P.V. Novorotskij // *Meteorology and Hydrology*. — 2007. — 2. — p. 43 - 53. [in Russian]
19. Trufanov A.I. Zhelezistye podzemnye vody juga Dal'nego Vostoka [Ferrous groundwater in the south of the Far East] / A.I. Trufanov, K.P. Karavanov // *Voprosy Geography of the Far East*; — Habarovsk: Priamurskij filial Geograficheskogo Obschestva SSSR, 1973. — p. 263 - 273. [in Russian]
20. Faktory formirovaniya kachestva vody na Nizhnem Amure [Factors shaping water quality in the Lower Amur] / ed. by L.M. Kondratjeva; — Vladivostok: Dalnauka, 2008.— 217 p. [in Russian]
21. Shamov V.V. Stok rastvorennogo zheleza v rekah bassejna Amura v kontse XX veka [Dissolved iron runoff in Amur basin rivers in the late XX century] / V.V. Shamov, T. Onishi, V.V. Kulakov // *Water Resources*. — 2014. — V. 41. — № 2. — p. 206 - 215. [in Russian]
22. Shesterkin V.P. Izmenenie himicheskogo sostava vod Amura v period istoricheskogo navodnenija v 2013 godu [Variations of Amur water chemistry during the historical 2013 flood] / V.P. Shesterkin // *Water Resources*. — 2016. — V. 43. — № 3. — p. 287 - 296. [in Russian]
23. Shesterkin V.P. Prostranstvennaja i sezonnaja dinamika sodержaniya zheleza v vodah srednego Amura [Spatial and seasonal dynamics of iron in the water of the middle Amur] / V.P. Shesterkin, N.M. Shesterkina // *Bulletin of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. — 2016. — № 5. — p. 21-30. [in Russian]
24. Chi G.Y. Forms and profile distribution of soil Fe in the Sanjiang Plain of Northeast China as affected by land uses / G.Y. Chi, X. Chen, Y. Shi et al. // *Journal Soils Sediments*. — 2010. — V.10. — Iss. 4. — p. 787 - 795.
25. Guan J. Flux characteristics of total dissolved iron and its species during extreme rainfall event in the midstream of the Heilongjiang River / J. Guan, B. Yan, H. Zhu et al. // *Journal of Environmental Science*. — 2015. — V. 30. — p. 74 - 80.
26. IPCC Summary for policy makers / In: Field C.B., Barros V., Stocker T.F., et al. (Eds.) // *Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change*; — Cambridge: Cambridge University Press, 2012. — p. 1–19.
27. Meunier L. Effects of size and origin of natural dissolved organic matter compounds on the redox cycling of iron in sunlit surface waters / L. Meunier, H. Laubscher, S.J. Hug et al. // *Aquatic Science*. — 2005. — V. 67. — Iss.3. — p. 292 - 307.
28. Nishioka J. Iron supply to the western subarctic Pacific: importance of iron export from the Sea of Okhotsk / J. Nishioka, T. Ono, H. Saito, T. Nakatsuka et al. // *Journal of Geophysical Research*. — 2007. — 112. — p. C10012.
29. Pan X. Temporal variability of iron concentrations and fractions in wetland waters in Sanjiang Plain, Northeast China / X. Pan, B. Yan, M. Yoh, L. Wang, X. Liu // *Journal of Environmental Science*. — 2010. — V. 22. — Iss.7. — p. 968 - 974.
30. Pullin M.J. The effects of pH, ionic strength, and iron-fulvic acid interactions on the kinetics of non-photochemical iron transformations. I. Iron (II) oxidation and iron (III) colloid formation / M.J. Pullin, S.E. Cabaniss // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. — 2003. — V. 67. — Iss. 21. — p. 4067 - 4077.
31. Terashima M.. Removal and fractionation characteristics of dissolved iron in estuarine mixing zone / M. Terashima, S. Nagao; — Issue 4. — Kyoto: Research Institute for Humanity and Nature, 2007. — p. 69 - 74.
32. Yoshimura T. Iron nutritional status of the phytoplankton assemblage in Okhotsk Sea during summer / T. Yoshimura, J. Nishioka, T. Nakatsuka // *Deep-Sea Research*. — 2010. — 57. — p. 1454 - 1464.