

## **ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КРУПНОГО ПАВОДКА НА СОДЕРЖАНИЕ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В АЛЛЮВИАЛЬНЫХ ПОЧВАХ В СРЕДНЕМ ТЕЧЕНИИ р. АМУР**

**© 2018 г. А. В. Мартынов**

*Институт геологии и природопользования ДВО РАН,*

*Россия, 675000, Благовещенск, пер. Речелный, 1*

*e-mail: lex\_1981@list.ru*

Определено содержание микроэлементов в аллювиальных почвах прирусловой поймы среднего течения р. Амур и выявлены последствия катастрофического паводка 2013 г. на них. Микроэлементы определяли в пробах, отобранных по генетическим горизонтам, методом масс-спектрометрии. Для характеристики взаимоотношений между микроэлементами, свойствами аллювиальных почв и макроэлементным составом использовалась статистическая обработка данных с применением метода – принцип главных компонент. Выделены ассоциации накопления (Rb, Sr, Ba) и рассеивания (Zr, Ta), имеющие литогенную природу. Содержание остальных микроэлементов ниже, чем в среднем по почвам мира, но закономерно увеличивается вглубь поймы. Установлено, что микроэлементы под влиянием паводковых вод могут не только накапливаться, но и вымываться. На характер их миграции большое влияние оказывают свойства самих почв и пойменный рельеф, в почвах расположенных вблизи русла реки микроэлементы больше подвержены вымыванию. Некоторые микроэлементы (Sr, Cd, Ba, Pb) вымывается из всех типов почв, другие (Y, Sc и Cr) только накапливаются. Влияние паводка сильнее всего сказалось на содержании Mo (+43% в среднем по почвам), Sc (+38%) и Cu (+27%), Cd (–23%), Pb (–12%) и Sr (–12%). До паводка достоверные коэффициенты корреляции с микроэлементами выявлены только у обменного марганца и оксидов алюминия и магния. После длительного затопления в почвах проявились устойчивые связи с гранулометрическим составом, органическим веществом и реакцией среды. Вероятно, эти изменения вызваны понижением редокс-потенциала во время затопления и вымыванием оксида кальция.

*Ключевые слова:* аллювиальные почвы, микроэлементы, наводнение, метод масс-спектрометрии, метод главных компонент

**DOI:** 10.19047/0136-1694-2018-91-110-131

## ВВЕДЕНИЕ

Поймы вместе с аллювиальными почвами, формирующимися на них – уникальный природный объект. Они выполняют функцию природных дренах на пути глобального круговорота веществ, так как через них осуществляется транспорт макро- и микроэлементов с суши в реки, а затем в моря и океаны ([Izquierdo, 2013](#)). Часть мигрирующего вещества задерживается в пределах поймы на латеральных и радиальных физических и геохимических барьерах. Это обеспечивает повышенную биологическую продуктивность аллювиальных почв и обуславливает их высокую вовлеченность в хозяйственную деятельность человека ([Bednarova, 2015](#)). Вместе с тем в поймах загрязняющие вещества способны аккумулироваться более интенсивно, чем в других природных ландшафтах ([Кузнецов, 2011](#); [Lair, 2009](#); [Schulz-Zunkel, 2015](#))

Главным фактором, регулирующим транспорт веществ в пойменных массивах, являются паводковые воды ([Шпар, 1969](#), [Shrestha, 2014](#)). Их роль в формировании геохимического фона пойм неоспорима. Паводки привносят в пойму наилки, различные по химическому и гранулометрическому составу ([Добровольский и др., 2011](#); [Junk, 1989](#)), питают грунтовые воды, которые являются основной движущей силой, ответственной за транспортировку макро- и микроэлементов в почвенном покрове пойм ([Pirastru, 2013](#)), влияют на процессы почвообразования, изменяя окислительно-восстановительный потенциал, реакцию среды почв, микробиологическую активность, что оказывает значительное воздействие на подвижность элементов ([Florian, 2015](#)). В свою очередь характер самих паводков, их интенсивность и частота, а также состав транспортируемого вещества обусловлены природными условиями региона (геологическим строением, климатическими условиями, характером растительного покрова, типом речной сети) и антропогенным влиянием ([Шпар, 1969](#)). Поэтому последствия влияния паводков на содержание микроэлементов (МЭ) в аллювиальных почвах в каждом случае индивидуальны и неповторимы. Несмотря на наличие подобных исследований в других регионах мира, аналогичные работы остаются актуальны, так как данные о влиянии паводковых вод на содержание элементов в почвах пойм, полученные

в поймах одних рек или лабораторно, зачастую не применимы для почв других рек, функционирующих в иных природных условиях.

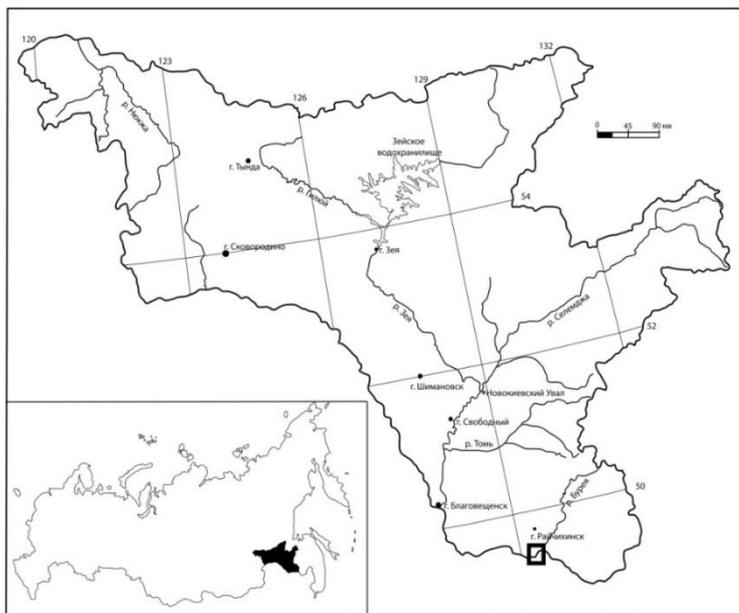
Река Амур входит в десятку крупнейших рек мира. При этом природные ландшафты Амура и его компоненты, в том числе аллювиальные почвы, слабо изучены, особенно в верхнем и среднем течении реки. Это связано с ее трансграничным положением, разделением по фарватеру между Россией и Китаем, затрудняющим проведение научных работ, слабой заселенностью ее берегов, особенно на русской стороне, и труднодоступностью. Большая часть поймы в Китае активно используется в сельском хозяйстве и мало пригодна для изучения естественных процессов. В России, благодаря пограничной зоне, достигающей местами нескольких километров, часть поймы сохранилась в первозданном состоянии. Но за последние 20 лет исследования почв поймы р. Амур фактически не проводились. Есть только несколько работ по геохимии аллювиальных почв притоков р. Амур ([Сорокина и др., 2013](#); [Сорокина, Гусев, 2014](#), [Сорокина и др., 2014](#)). В пределах среднего течения р. Амур почвенные исследования проводились только на ключевом участке, заложенном в 2011 г., и оценить влияние паводка 2013 г., крупнейшего с 1984 г. ([Соколова, 2015](#)), на содержание МЭ в аллювиальных почвах можно только используя данные с этого участка.

Цель работы – определить содержание микроэлементов в аллювиальных почвах поймы р. Амур и оценить влияние на них последствий длительного затопления паводковыми водами в результате крупного паводка 2013 г.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объект исследования расположен в среднем течении р. Амур, между селами Куприяново и Калинино, перед устьем р. Буря (рис. 1).

Пойменный массив в пределах ключевого участка достигает 15 км ширины и 14 м высоты относительно уреза воды условной межени. В ходе экспедиции 2014 г. установлено, что подъем воды на данном участке составил около 6 м, что привело к полному затоплению семи заложённых в 2011 г. почвенных разрезов, расположенных в пределах прирусловой поймы. Четыре из них – гидроморфные почвы, повторный отбор проб из которых оказался невозможен из-за сильного подтопления грунтовыми водами. Поэтому



**Рис. 1.** Карта-схема расположения ключевого участка на территории Амурской области.

образцы отобрали только из трех разрезов. Образцы отобрали по генетическим горизонтам: восемь образцов до паводка и девять после. Почвы идентифицировали в соответствии с Классификацией и диагностикой почв России (2004). Выделены аллювиальная слоистая почва, аллювиальная серогумусовая почва и аллювиальная серогумусовая глееватая почва. Исследуемые почвы, несмотря на то что часть поймы в пределах ключевого участка распахана, прямому антропогенному влиянию не подвергались.

Аллювиальная слоистая почва (АС) – наиболее примитивный тип из исследуемых почв. Представляет собой толщу однородного песка слабогумифицированного в верхней части профиля мощностью до 40 см. Реакция среды близкая к нейтральной, ЕКО достигает 6 мг-экв/100 г почвы с преобладанием катионов кальция. Содержание углерода органического вещества до 1%.

Аллювиальная серогумусовая почва (АСГ) характеризуется песчаным составом и мощным (до 30 см) гумусово-

аккумулятивным горизонтом с содержанием углерода органического вещества до 1.5%. Реакция среды от слабокислой до кислой, ЕКО до 6 мг-экв/100 г почвы с преобладанием катионов кальция.

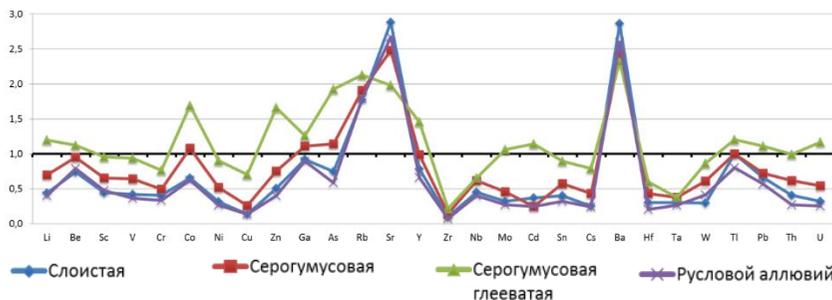
Аллювиальная серогумусовая глееватая почва (АСГг) – супесчаная с органическим горизонтом мощностью до 20 см и содержанием углерода органического вещества до 10%. В средней части почвенного профиля проявляются признаки процесса оглеения, достигающие 10% от площади горизонта. Реакция среды от близкой к нейтральной в органическом горизонте до кислой в глееватом горизонте. ЕКО до 17 мг-экв/100 г почвы с преобладанием кальция.

В исследуемых почвах были определены валовые формы V, Cr, Co, Ni, Cu, Ga, Rb, Zr, Mo, Cs, Li, Zn, As, Nb, Sn, Hf, Ta, W, Th, U, Y, Sc, Be, Sr, Cd, Ba, Pb. Содержание микроэлементов определялось методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в аналитическом центре коллективного пользования на базе ДВГИ ДВО РАН под руководством Н.В. Зарубиной.

При определении валовых содержаний элементов для разложения исследуемых образцов и перевода их в раствор применяли метод открытого кислотного разложения в смеси кислот HF, HNO<sub>3</sub>, HClO<sub>4</sub> (Suprapur, Merck) ([Карандашев и др., 2007](#)) в соотношении 2.5 : 1 : 0.5. Навеска пробы составляла 0.05 г. Концентрацию элементов исследовали на ИСП-МС спектрометре Agilent 7700x (Agilent Technologies, Япония). Правильность результатов определения подтверждали анализом стандартных образцов JR-1 и JB-3 (Геологическая служба Японии). Средние квадратичные отклонения результатов определения не превышали 10–15%, что соответствует критериям качества выполнения количественного элементного анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Все почвы расположены в прирусловой части поймы и характеризуются слабо выраженными признаками процессов почвообразования. Это отражается в их микроэлементном составе, который почти не отличается от состава руслового аллювия. По данным о среднем содержании МЭ в почвах мира ([Kabata-Pendias, 2011](#)) исследуемые аллювиальные почвы характеризуются повышенным содержанием Rb, Sr и Ba, которые формируют ассоциацию накопления, обусловленную литогенным фактором. В содержании большинства ос-



**Рис. 2.** Отношение содержания микроэлементов в аллювиальных почвах поймы среднего течения р. Амур к почвам мира по Kabata-Pendias (2011).

тальных элементов прослеживается четкая закономерность, заключающаяся в повышении концентрации по мере удаления от русла реки и утяжеления гранулометрического состава (рис. 2). Можно предположить, что ближе к центральной пойме содержание большинства МЭ в аллювиальных почвах будет превышать среднемировые значения. Исключение составляют Zr и Ta, представляющие ассоциацию рассеивания, так как их содержание почти неизменно в разных типах почв и сопоставимо с русловым аллювием.

Паводок 2013 г. вызвал значительные изменения в физико-химических и химических свойствах исследуемых аллювиальных почв. В них повысилась кислотность, увеличилось содержание марганца и магния, снизилось содержание обменного железа, кальция, калия, подвижного фосфора и органического вещества. В макроэлементном составе в зависимости от приуроченности почв к пойменному рельефу наблюдается как вынос, так и привнос элементов, изменения достигают до 20% от до паводковых значений. Часть почв, сформированных недалеко от русла, была перекрыта слоем руслового аллювия мощностью до 30 см, сформировавшим новый гор. W (Мартынов, 2016). Подобные изменения не могли не сказаться на содержании МЭ (табл. 1, 2).

Принято считать, что паводок обогащает аллювиальные почвы наилком, с которым поступают различные макро- и микроэлементы (Фашевский, 2007). Но сравнительный анализ данных о содержании микроэлементов в аллювиальных почвах среднего те-

**Таблица 1.** Содержание микроэлементов в аллювиальных почвах поймы среднего течения р. Амур до паводка, мг/кг

Микроэлементы	Среднее содержание в почвах Мира	Аллювиальная почва/горизонт							
		слоистая		серогумусовая			серогумусовая глееватая		
		W	C	AY1	AY2	C	AY	C1g	C2g
Li	32	16.2	11.7	22.0	22.2	22.6	37.0	44.0	33.7
Be	1.9	1.5	1.3	1.8	1.8	1.8	1.9	2.4	2.1
Sc	9.5	5.4	3.0	6.6	6.1	5.9	7.6	10.9	8.7
V	90	48.3	27.0	60.0	56.7	56.5	69.3	99.6	84.0
Cr	60	36.0	13.0	31.4	29.6	27.6	38.1	56.7	43.1
Co	8	6.5	3.9	8.4	8.7	8.8	11.6	15.3	13.7
Ni	29	11.5	6.7	15.0	15.7	14.5	27.0	28.3	22.9
Cu	38.9	7.1	3.1	10.8	10.7	8.9	37.2	25.0	20.0
Zn	70	49.5	21.4	57.9	51.1	49.3	168.1	101.1	78.8
Ga	15.2	15.0	13.0	17.3	16.5	16.7	15.6	22.3	19.6
As	6.83	5.3	4.9	7.6	7.7	8.1	10.1	14.7	14.6
Rb	50	91.8	85.2	98.9	94.2	93.2	101.7	114.0	103.8
Sr	147	418.1	428.8	396.6	356.7	341.4	295.8	261.2	316.8
Y	12	11.0	7.8	12.8	12.2	10.5	17.0	19.5	16.0
Zr	300	40.1	17.4	38.1	42.8	43.1	50.9	75.5	63.9
Nb	12.5	6.8	4.4	7.9	7.5	7.6	7.2	9.9	7.5
Mo	1.1	0.4	0.3	0.5	0.5	0.5	1.0	1.4	1.1
Cd	0.41	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1.1	0.2	0.1
Sn	2.5	1.3	0.7	1.5	1.4	1.4	2.2	2.5	2.0
Cs	7.5	2.3	1.5	3.0	3.4	3.3	5.6	6.9	5.2
Ba	362	973.0	1103.0	915.0	858.0	850.0	835.3	792.2	891.0
Hf	3	1.2	0.6	1.2	1.4	1.3	1.5	2.2	1.7
Ta	1.5	0.5	0.4	0.6	0.5	0.6	0.5	0.7	0.5
W	1.7	0.6	0.4	0.9	1.2	1.0	1.4	1.7	1.3
Tl	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
Pb	27	19.2	16.3	20.5	18.7	19.1	39.2	25.2	25.3
Th	9.55	4.2	3.5	5.5	6.1	6.0	8.3	11.1	9.0
U	3.15	1.2	0.8	1.6	1.7	1.8	3.2	4.2	3.6

**Таблица 2.** Содержание микроэлементов в аллювиальных почвах поймы среднего течения р. Амур после паводка, мг/кг

Микроэлемент	Аллювиальная почва/горизонт								
	слоистая		серогумусовая				серогумусовая глееватая		
	W	C	W	AY1	AY2	C	AY	C1g	C2g
Li	15.3	12.1	12.7	19.5	23.3	14.8	37.2	48.5	49.9
Be	1.6	1.6	1.5	1.7	2.0	1.6	2.1	2.7	2.9
Sc	6.8	4.1	4.5	8.1	7.8	6.8	12.4	14.9	15.8
V	49.6	30.6	32.6	56.5	56.5	45.1	93.4	105.3	116.3
Cr	28.1	16.2	20.0	33.9	32.9	24.7	56.4	65.3	68.4
Co	6.5	4.6	5.0	8.1	8.9	7.2	13.8	15.1	17.5
Ni	11.0	13.4	7.7	13.4	19.4	12.2	27.2	31.3	32.1
Cu	6.5	8.3	5.1	7.7	13.4	8.0	25.6	26.0	28.4
Zn	41.3	31.8	28.0	47.5	57.4	41.8	102.7	102.0	102.3
Ga	14.9	14.1	13.6	16.5	16.8	15.8	20.4	23.8	24.2
As	6.0	4.4	4.0	6.7	7.4	4.9	13.5	11.5	22.1
Rb	87.0	96.4	89.5	93.9	95.3	94.9	113.5	110.2	110.6
Sr	375.5	382.9	392.6	376.8	323.4	391.9	226.1	206.1	202.4
Y	11.5	8.5	7.9	13.8	12.5	11.8	18.4	21.7	25.7
Zr	37.6	25.7	21.0	42.9	42.1	31.6	68.6	77.9	85.0
Nb	6.5	4.6	5.0	6.3	6.3	5.9	9.1	10.4	10.1
Mo	0.4	0.9	0.3	0.5	0.4	0.3	1.3	1.4	2.4
Cd	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1
Sn	1.1	0.8	0.8	1.3	1.3	1.2	2.3	2.4	2.5
Cs	2.2	1.9	1.8	2.8	3.5	2.0	6.4	7.3	7.6
Ba	844.1	904.0	941.4	829.6	865.5	906.4	700.9	705.2	691.7
Hf	1.0	0.7	0.6	1.4	1.1	0.9	1.8	2.0	2.2
Ta	0.4	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	0.7
W	0.7	0.4	0.7	0.8	0.9	0.7	1.5	1.6	1.8
Tl	0.4	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.6	0.6	0.6
Pb	15.6	14.7	15.3	17.2	17.7	21.7	22.2	23.3	24.7
Th	4.0	3.5	2.6	5.2	6.1	4.7	9.4	11.4	12.4
U	1.2	0.9	0.8	1.5	1.5	1.2	3.0	4.2	5.0

чения р. Амур до и после паводка 2013 г. показал, что элементы под влиянием паводковых вод способны не только накапливаться, но и вымываться.

Все МЭ по характеру влияния паводка на их аккумуляцию были разделены на четыре группы:

1. Накапливаются во всех анализируемых типах почв – Y (+14% в среднем по почвам), Sc (+38%) и Cr (+15%).

2. В среднем по почвам накапливаются, но в некоторых типах наблюдается их вымывание – Be (+11%), Li (2%), V (+9%), Co (+6%), Ni (+21%), Cu (+27%), Ga (+7%), Rb (+3%), Zr (+13%), Mo (+43%), Cs (+6%), Zn (2%), As (1%), Nb (1%), Hf (1%), Th (2%).

3. Преимущественно вымываются из почв или их среднее содержание не изменилось – Sn (–1%), Ta (–10%), Tl (–3%), W (0%), U (0%).

4. Вымываются из всех почв – Sr (–12%), Cd (–23%), Ba (–11%), Pb (–12%).

Характер изменения содержания МЭ в аллювиальных почвах после паводка показывает, что геохимическая деятельность паводковых вод во многом определяется пойменным рельефом. Максимальный вынос МЭ отмечается в АСГ почве, расположенной на вершине берегового вала, т.е. в области интенсивного воздействия паводковых вод. В АС почве, несмотря на ее расположение в области бечевника, который также подвержен активному воздействию паводковых вод, потери МЭ менее значимы. Это обусловлено тем, что у дна скорость потока более низкая ([Михайлов др., 2007](#)), и во время паводка АС, расположенная у подножья берегового вала, испытывала меньшее воздействие водного потока. В АСГ почве, расположенной на удалении от русла реки, в понижении бывшей протоки, скорость водного потока изначально была достаточно высокой, чтобы незначительно размывать органический горизонт. Но при спаде паводковых вод, их длительное стояние в понижении привело к осаждению аллохтонного материала. Следовательно, в почвах, расположенных возле русла реки и на возвышенностях пойменного рельефа, будет преобладать вынос МЭ. В почвах, сформированных в понижениях пойменного рельефа и на удалении от русла, МЭ будут преимущественно накапливаться. Это полностью согласуется с имеющимися литературными данными о распределения аллохтонного вещества по пойме во время паводков ([Шпарг, 1969](#); [Гафуров и др., 1992](#)).

Помимо непосредственного влияния на содержание МЭ путем вымывания их из аллювиальных почв или внесения с

аллохтонным взвешенным или растворенным веществом, паводковые воды изменяют почвенные свойства, что также влияет на характер миграции МЭ.

К почвенным свойствам, влияющим на миграцию МЭ в аллювиальных почвах, относится гранулометрический состав, содержание органического вещества, емкость катионного обмена, реакция среды почвенного раствора, окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) и др. (DuLaing, 2009; Sabry, 2013; Florian, 2015). В настоящей работе, чтобы оценить влияние почвенных свойств на миграцию МЭ до и после паводка использовали метод – принцип главных компонент с применением программы Statistica v.6, позволяющий сгруппировать и выделить главные факторы, влияющие на содержание МЭ в почвенном профиле В качестве переменных использовали содержание МЭ, гранулометрический состав, реакцию среды, обменную кислотность, содержание органического вещества, обменных катионов, подвижного фосфора, обменного марганца, железа и макроэлементов (табл. 3).

До паводка все МЭ по наличию достоверных коэффициентов корреляции ( $r$ ) объединили в первом факторе вместе с обменным марганцем и валовыми формами алюминия, натрия и магния. Выделялись две группы: 1 – стронций, барий и калий; 2 – остальные МЭ, валовые формы алюминия, натрия и магния. Во втором факторе достоверных связей не выявлено, и в работе он не учитывался.

После паводка отношения между МЭ и свойствами почв значительно поменялись. В первом факторе вместе с МЭ, кроме кадмия и тория, достоверные  $r$  формируют гранулометрический состав, реакция среды, обменная кислотность, содержание органического вещества, насыщенные основания, обменное железо и валовая форма кремния. Также сохранились хорошо выраженные связи с валовым содержанием алюминия, магния и натрия, тогда как отношения с обменным марганцем ослабли. Как и до наводнения переменные первого фактора делятся на две группы. В первую группу входят большинство МЭ, обменная кислотность, содержание насыщенных оснований, органического вещества, FeO, физической глины, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO. Во вторую группу первого фактора входят содержание St, Ba, реакция среды, содержание физического песка, Si<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O. Во второй факторе выделяются Cd, органическое вещество, MnO, CaO.

Основываясь на связях переменных, видно, что до и после паводка большую роль в содержании МЭ играют глинистые минералы. В данной работе они не были определены, но на это указывают стабильно хорошие отношения МЭ с валовой формой Al и Mg. По данным Чижиковой и др. (2011) и Шалдыбина и др. (2016), в донных отложениях р. Амур, которые в значительной мере формируют пойменную фацию, служащую субстратом для аллювиальных почв, содержится большое количество гидрослюд, в состав которых всегда входит Al и Mg (Добровольский, 1989).

Выявленная отрицательная связь МЭ с кварцем средней интенсивности обусловлена его минимальной поглотительной способностью (Ремезов, 1957). Содержание валового K, входящего в состав силикатных минералов группы калиевых полевых шпатов и плагиоклазов, положительно коррелирует с содержанием Si. Увеличение отрицательного коэффициента связи между МЭ и Si<sub>2</sub>O после паводка обусловлено внесением аллохтонного руслового аллювия в почвенный профиль.

Связи между физико-химическими и химическими свойствами аллювиальных почв и содержанием в них МЭ до паводка проявляются слабо, за исключением обменного марганца. Оксиды и гидроксиды марганца обладают высоким сорбционным потенциалом и служат геохимическим барьером по отношению ко многим микроэлементам (Koretsky, 2007; Borch, 2010). Но отсутствие связи между МЭ и MnO показывает, что обменный марганец скорее служит индикатором других процессов, протекающих в почвах. Поведение и форма нахождения Mn в почве определяется соотношением двух величин pH и Eh (Frohne, 2011). С реакцией среды у большинства МЭ наблюдается отрицательная связь, т.е. с увеличением кислотности усиливается вымывание МЭ из почв (Calmano, 1993). Следовательно, через содержание обменного марганца выражается влияние ОВП на содержание МЭ в почве.

Работ по определению ОВП в аллювиальных почвах Амурской области никогда не проводилось, и о колебаниях Eh можно судить только по литературным данным, приведенным для аналогичных почв Приморского края (Костенков, 1987). В них указано, что

**Таблица 3.** Результаты факторного анализа по выявлению связей между свойствами аллювиальных почв и содержанием микроэлементов до и после паводка

Показатель	До паводка		После паводка	
	фактор 1 (91.82)	фактор 2 (3.21%)	фактор 1 (92.38%)	фактор 2 (3.38%)
Li	<b>-0.99</b>	0.12	<b>-0.99</b>	0.08
Be	<b>-0.93</b>	0.27	<b>-0.96</b>	0.24
Sc	<b>-0.98</b>	0.11	<b>-0.99</b>	0.05
V	<b>-0.99</b>	0.04	<b>-0.99</b>	0.01
Cr	<b>-0.99</b>	0.06	<b>-0.99</b>	-0.00
Co	<b>-0.99</b>	0.05	<b>-0.99</b>	0.03
Ni	<b>-0.97</b>	0.01	<b>-0.98</b>	-0.00
Cu	<b>-0.98</b>	-0.10	<b>-0.98</b>	-0.08
Zn	<b>-0.99</b>	-0.09	<b>-0.98</b>	-0.15
Ga	<b>-0.98</b>	0.17	<b>-0.99</b>	0.11
As	<b>-0.96</b>	-0.23	<b>-0.92</b>	0.10
Rb	<b>-0.91</b>	-0.22	<b>-0.92</b>	-0.21
Sr	<b>0.98</b>	0.05	<b>0.98</b>	0.07
Y	<b>-0.98</b>	0.11	<b>-0.98</b>	0.12
Zr	<b>-0.99</b>	0.02	<b>-0.99</b>	-0.00
Nb	<b>-0.98</b>	0.08	<b>-0.98</b>	-0.02
Mo	<b>-0.86</b>	-0.22	<b>-0.89</b>	0.16
Cd	<b>-0.70</b>	-0.69	-0.57	<b>-0.81</b>
Sn	<b>-1.00</b>	-0.03	<b>-0.99</b>	-0.08
Cs	<b>-0.99</b>	-0.00	<b>-0.99</b>	-0.02
Ba	<b>0.96</b>	0.16	<b>0.96</b>	0.18
Hf	<b>-0.96</b>	0.00	<b>-0.97</b>	-0.02
Ta	<b>-0.97</b>	0.13	<b>-0.98</b>	0.07
W	<b>-0.98</b>	0.04	<b>-0.99</b>	0.01
Tl	<b>-0.95</b>	0.01	<b>-0.97</b>	0.07
Pb	<b>-0.82</b>	0.17	<b>-0.88</b>	0.08
Th	<b>-0.99</b>	0.09	-1.00	0.06
U	<b>-0.99</b>	0.12	<b>-0.98</b>	0.15
pH <sub>KCl</sub>	0.52	-0.07	<b>0.69</b>	-0.37
Ca <sup>2+</sup> +Mg <sup>2+</sup>	-0.42	-0.01	<b>-0.75</b>	-0.64
H <sup>+</sup> +Al <sup>3+</sup>	-0.35	0.40	<b>-0.85</b>	0.36
C	0.06	0.23	<b>-0.70</b>	<b>-0.70</b>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.25	0.26	0.35	-0.68
MnO <sub>2</sub>	<b>-0.94</b>	-0.09	-0.61	-0.58
FeO	0.22	0.09	<b>-0.90</b>	-0.34

Показатель	До паводка		После паводка	
	фактор 1 (91.82)	фактор 2 (3.21%)	фактор 1 (92.38%)	фактор 2 (3.38%)
Физ. песок	0.30	-0.41	<b>0.82</b>	0.47
Физ. глина	-0.30	0.41	<b>-0.82</b>	-0.46
Si <sub>2</sub> O	0.40	-0.14	<b>0.93</b>	0.06
TiO <sub>2</sub>	0.10	-0.24	-0.62	-0.13
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	<b>-0.92</b>	0.09	<b>-0.97</b>	0.12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-0.40	-0.16	-0.58	-0.29
MnO	0.18	0.14	-0.29	<b>-0.69</b>
CaO	0.50	0.17	0.18	<b>-0.96</b>
MgO	<b>-0.68</b>	0.11	<b>-0.98</b>	-0.05
Na <sub>2</sub> O	<b>-0.90</b>	-0.08	-0.21	0.13
K <sub>2</sub> O	<b>0.76</b>	-0.26	<b>0.92</b>	-0.01
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.27	0.35	-0.61	-0.33

для автоморфных аллювиальных почв характерно преобладание окислительной обстановки (Eh 510–740), а для полугидроморфных почв характерен переменный режим увлажнения (Eh 150–675). Следовательно, в исследуемых почвах преобладает окислительный режим, являющийся одним из основных факторов, определяющих поведение МЭ в аллювиальных почвах в пределах прирусловой поймы.

Также в почвах Дальнего Востока, особенно в аллювиальных (что зачастую связано с их избыточным увлажнением), большое распространение получили микрзоональные окислительно-восстановительные явления, когда в пределах почвенного профиля и даже горизонта может наблюдаться большой разброс значений Eh при сохранении общей обстановки. В результате в почвах формируется множество локальных участков с разным потенциалом на границе. Марганец хорошо аккумулируется на подобных границах ([Перельман, Касимов, 1999](#)). Можно предположить, что часть МЭ ведет себя также ([Frohne, 2011](#)). Интенсивность микрзоональных окислительно-восстановительных явлений, как и окислительно-восстановительной обстановки, зависит от содержания органического вещества, гранулометрического состава и интенсивности увлажнения, поэтому они наиболее развиты в более тяжелой с хорошо развитым гумусово-аккумулятивным горизонтом АСГт почве.

Железо, хоть и обладает химическими свойствами, схожими со свойствами марганца, но его подвижная форма, вероятно, более активна при кислой реакции среды, что проявляется в усилении его отношений с МЭ после паводка, когда рН во всех почвах снизилась. Вместе с тем в отличие от MnO, с которым МЭ не проявляют взаимодействия, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> показывает отношения с МЭ средней интенсивности, усиливающиеся после паводка. Следовательно, в аллювиальных почвах аморфные и кристаллические формы железа имеют более важное значение в сорбции МЭ, чем оксиды и гидроксиды марганца.

Паводки, обуславливая длительное затопление всего почвенного профиля исследуемых почв, приводят к изменению окислительной обстановки на восстановительную ([Borch, 2010](#); [Frohne, 2011](#); [Florian, 2015](#)). В результате, растворяются оксиды и гидроксиды Fe и Mn, высвобождая адсорбированные МЭ ([Sipos, 2011](#)), в почвах исчезают микроразональные барьеры, подвижность МЭ повышается, и они могут вымываться с паводковыми водами или мигрировать по почвенному профилю. В этих условиях повышается значимость других почвенных свойств, обладающих сорбционными свойствами по отношению к МЭ: гранулометрического состава и органического вещества ([DuLaing, 2009](#)). Тем не менее, изменение ОВ обстановки под влиянием паводка – временное явление, и в дальнейшем можно предполагать восстановление существующих до паводка закономерностей, связанных с содержанием МЭ в почвенном профиле.

Помимо ОВП на способность МЭ адсорбироваться различными оксидами и на их подвижность, сильное влияние оказывает реакция среды. Это связано с воздействием рН на видообразование металлов ([Zeng, 2011](#)). Паводок привел к вымыванию оксидов кальция, и как следствие, к повышению кислотности почв. Это негативно повлияло на способность МЭ формировать малоподвижные комплексы и привело к усилению миграция МЭ.

Отдельно следует рассмотреть элементы, характеризующиеся исключительно только выносом или только приносом после паводка. Стронций и барий, активно вымывающиеся из всех типов почв – единственные элементы, которые находятся в сильной отрицательной зависимости от содержания обменного марганца и валового алюминия и, следовательно, от ОВП и глинистых минералов.

Вместе с тем они проявляют положительную связь с реакцией среды и оксидами калия до паводка, а после – с оксидом кремния и содержание физического песка. Эти отношения дают основание считать, что Sr и Ba аккумулируются преимущественно на поверхности первичных минералов, но сорбционные связи легко разрушаются в водной среде. Кадмий и свинец проявляют, наряду с остальными МЭ, зависимость от ОВП и глинистыми минералами. Вместе с тем кадмий – единственный элемент, находящийся после паводка во втором факторе вместе с органическим веществом, что указывает на его высокую биофильность. На содержание свинца влияет катионная способность почв, что подчеркивается его отношениями с поглощенными основаниями и физической глиной. Вымывание органического вещества, илистых и глинистых частиц привело к значительному снижению этих элементов. Иттрий, хром и скандий проявляют те же зависимости по отношению к свойствам почв, что и другие МЭ, поэтому единственное объяснение накопления этих элементов после паводка – их высокое содержание в растворенном и взвешенном веществе, переносимом паводковыми водами. Об этом косвенно свидетельствует накопление Y и Sc в донных отложениях р. Зея, притока р. Амур, расположенного выше по течению относительно ключевого участка ([Сорокина, 2014](#)).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для аллювиальных почв прирусловой поймы среднего течения р. Амур характерны ассоциация накопления, представленная Rb, Sr и Ba, и ассоциация рассеивания, сформированная Zr и Ta, имеющие литогенную природу. Содержание остальных определенных МЭ увеличивается по мере удаления от русла реки и утяжеления гранулометрического состава. Катастрофический паводок 2013 г. привел к значительным изменениям в микроэлементном составе аллювиальных почв прирусловой поймы и, если оценивать его влияние в экологическом аспекте, то паводковые воды оказали скорее благоприятное воздействие. Наблюдается значительный вынос элементов, обладающих токсичными свойствами – Sr, Cd, Pb. Увеличивается содержание таких жизненно важных микроэлементов, как Cr, Co, Cu, Mo, Zn. Влияние паводковых вод на содержание МЭ во многом определяется расположением почвы в пойме и характером пойменного рельефа. Наиболее сильные потери МЭ

отмечаются в аллювиальной серогумусовой почве, сформированной на береговом валу, в зоне высокой динамики водного потока. Свойства почв до паводка слабо взаимодействуют с содержанием микроэлементов. Исключение составляют обменный марганец, что косвенно указывает на активное участие в аккумуляции МЭ редокс-потенциала и оксидов алюминия и магния, подтверждающих участие в адсорбции МЭ глинистых минералов. Длительное затопление привело к изменению редокс-потенциала и повышению кислотности почв. В результате сложились условия, в которых усилилось значение гранулометрического состава и органического вещества в аккумуляции МЭ.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гафуров Ф.Г., Фирсова В.П.* Почвообразование в долготермальных ландшафтах высоких широт. Екатеринбург: УроРАН, 1992. 146 с.
2. *Добровольский Г.В., Балабко П.Н., Стасюк Н.В., Быкова Е.П.* Аллювиальные почвы речных пойм и дельт и их зональные отличия // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 3 (48). С. 5-13.
3. *Добровольский В.В.* География почв с основами почвоведения. М.: Высшая школа, 1989. 320 с.
4. *Карандашев В.К., Туранов А.Н., Орлова Т.А., Лежнев А.Е., Носенко С.В., Золотарева Н.И., Москвина И.Р.* Использование метода масс-спектрометрии с индуктивно связанной плазмой в элементном анализе окружающей среды // Заводская лаборатория. 2007. Т. 73. № 1. С. 12-22.
5. *Костенков Н.М.* Окислительно-восстановительные режимы в почвах периодического переувлажнения. М.: Наука, 1987. 192 с.
6. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
7. *Кузнецов В.А.* Самоочищение ландшафтов речных долин от радиоактивного загрязнения // Литасфера. 2011. № 1(14). С. 13-21.
8. *Мартынов А.В.* Изменение свойств аллювиальных почв после крупного паводка на примере среднего течения р. Амур // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 3. С. 405.
9. *Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А.* Гидрология. Москва: Высшая школа, 2007. 463 с.
10. *Перельман А.И., Касимов Н.С.* Геохимия ландшафта. М.: Астрей-2000, 1999. 610 с.
11. *Ремезов Н.П.* Почвенные коллоиды и поглощательная способность почв. М.: Сельхозгиз, 1957. 225 с.

12. *Скрябина О.А.* Минералогический состав почв и почвообразующих пород. Пермь, 2011 117 с.
13. *Соколова Г.В.* Анализ водного режима Амура за период до катастрофического наводнения в 2013 г. // *Метеорология и гидрология.* 2015. № 7. С. 66-69.
14. *Сорокина О.А., Гусев М.Н., Зарубина Н.В.* Особенности распределения химических элементов в русловых отложениях реки Зeya // *География и природные ресурсы.* 2014а. № 4. С. 81-88.
15. *Сорокина О.А., Гусев М.Н.* Содержание редкоземельных элементов в пойменных почвах долины р. Зeya (бассейн р. Амур) // *Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН.* 2014б. № 3. С. 36-40.
16. *Сорокина О.А., Зарубина Н.В.* Содержание химических элементов в аллювиальных почвах и донных отложениях реки Уркан (бассейн реки Амур) // *Почвоведение.* 2013. № 6. С. 681-690. doi: 10.7868/S0032180X13060105
17. *Фацевский Б.В.* Экологическое значение поймы в речных экосистемах // *Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета.* 2007. №5. С. 118-129.
18. *Чижикова Н.П., Сиротский С.Е., Харитонова Г.В., Манучаров А.С., Коновалова Н.С., Уткина Е.В.* Минералогический и химический состав тонкодисперсной части донных отложений р. Амур // *Почвоведение.* 2011. № 7. С. 848-860.
19. *Шалдыбин М.В., Харитонова Г.В., Ким В.И., Лопушняк Ю.М., Уткина Е.В., Дембовецкий А.В., Коновалова Н.С., Юдина А.В., Шмигирилов С.А.* Минералогический состав отложений реки Амур в зоне влияния реки Сунгари // *Тихоокеанская геология.* 2016. Т. 35. № 1. С. 92-108.
20. *Шраг В.И.* Пойменные почвы их мелиорация и сельскохозяйственное использование. М.: Россельхозиздат, 1969. 269 с.
21. *Abgottspon F., Bigalke M., Wilcke W.* Fast colloidal and dissolved release of trace elements in a carbonatic soil after experimental flooding // *Geoderma.* 2015. V. 259-260. P. doi: 156-163. 10.1016/j.geoderma.2015.06.005
22. *Bednarova Z., Komprdova K., Kalabova T., Sanka M.* Impact of Floods and Their Frequency on Content and Distribution of Risk Elements in Alluvial Soils // *Water Air Soil Pollut.* 2015. V.226 №.15. P. 1-21. doi: 10.1007/s11270-014-2253-x
23. *Borch T., Kretzschmar R., Kappler A., Van Cappellen P., Ginder-Vogel M., Voegelin A., Campbell K.* Biogeochemical redox processes and their impact on contaminant dynamics // *Environ. Sci. Technol.* 2010. V. 44. № 1. P. 15-23. doi: 10.1021/es9026248
24. *Calmano W., Hong J., Forstner U.* Binding and mobilisation of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential // *Water Sci Technol.* 1993. V.28. P. 223-235. doi: 10.15480/882.450

25. *Du Laing G., Rinklebe J., Vandecasteele B., Tack F.M.G.* Trace metal behavior in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review // *Sci. Total Environ.* 2009. V. 407. P. 3972-3985. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.025
26. *Florian A., Moritz B., Wolfgang W.* Fast colloidal and dissolved release of trace elements in a carbonatic soil after experimental flooding // *Geoderma.* 2015. V.259-260. P. 156-163. doi: 10.1016/j.geoderma.2015.06.005
27. *Frohne T., Rinklebe J., Diaz-Bone R.A., Du Laing G.* Controlled variation of redox conditions in a floodplain soil: Impact on metal mobilization and bi-methylation of arsenic and antimony // *Geoderma.* 2011. V. 160. № 3-4. P. 414-424. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.10.012
28. *Izquierdo M., Tye A.M., Chenery S.R.* Lability, solubility and speciation of Cd, Pb and Zn in alluvial soils of the River Trent catchment UK // *Environmental science. Processes & impacts.* 2013. V. 15. № 10. P. 1844-58. doi: 10.1039/C3EM00370A
29. *Junk W.J., Bayley P.B., Sparks R.E.* The flood pulse concept in river–floodplain systems // *International Large River Symposium / Ed. Dodge D.P. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci.* 1989. P. 110-127. [http://www.nrem.iastate.edu/class/assets/aec1518/Discussion%20Readings/Junk\\_et\\_al\\_1989.pdf](http://www.nrem.iastate.edu/class/assets/aec1518/Discussion%20Readings/Junk_et_al_1989.pdf)
30. *Kabata-Pendias A.* Trace Elements in Soils and Plants. Boca Raton: CRC Press, 2011. 534 p.
31. *Koretsky C.M., Haveman M., Beuving L., Cuellar A., Shattuck T., Wagner M.* Spatial variation of redox and trace metal geochemistry in a minerotrophic fen // *Biogeochemistry.* 2007. № 86. P. 33-62. doi: 10.1007/s10533-007-9143-x
32. *Lair G.J. et al.* How do long-term development and periodical changes of river-floodplain systems affect the fate of contaminants? Results from European rivers // *Environ. Pollut.* 2009. V. 157. № 12. P. 3336–3346. doi: 10.1016/j.envpol.2009.06.004
33. *Pirastru M., Niedda M.* Evaluation of the soil water balance in an alluvial flood plain with a shallow groundwater table // *Hydrological Sciences Journal.* 2013. V.58. № 4. P. 898-911. doi: 10.1080/02626667.2013.783216
34. *Sabry M.S., Jörg R.* Geochemical fractions of chromium, copper, and zinc and their vertical distribution in floodplain soil profiles along the Central Elbe River, Germany // *Geoderma.* 2013. V. 228-229. P. 142-159. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.10.012
35. *Schulz-Zunkel C., Rinklebe J., Bork H.-R.* Trace element release patterns from three floodplain soils under simulated oxidized–reduced cycles // *Ecol. Eng.* 2015. V. 83. P. 485-495. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.05.028
36. *Shrestha J., Niklaus P.A., Pasquale N., Huber B., Barnard R.L., Frossard E., Schlegel P., Tockner K., Luster J.* Flood pulses control soil nitrogen cycling in a

dynamic river floodplain // Geoderma. 2014. V. 228. P. 14-24. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.09.018

37. Sipos P., Nemeth T., May Z., Szalai Z. Accumulation of trace elements in Fe-rich nodules in a neutral-slightly alkaline floodplain soil // Carpathian J. Earth and Environ. Sci. 2011. V. 6. № 1. P. 13-22.

38. Zeng F., Ali S., Zhanga H., Ouyang Y., Qiu B., Wua F., Zhang G. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants // Environmental Pollution. 2011. V.159. №1. P. 84-91. doi:10.1016/j.envpol.2010.09.019

## **THE ASSESSMENT OF THE LARGE FLOOD IMPACT ON THE MICROELEMENTS CONTENT IN ALLUVIAL SOILS IN THE AMUR RIVER MIDDLE STREAM**

**A. V. Martynov**

*Institute of Geology and Nature Management Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Russia 675000 Blagoveshchensk, Relochnyj lane, 1*

The content of microelements is determined within the alluvial soils of the flood plain situated near the river bed in the middle flow of Amur River. The impact of the catastrophic flood of 2013 on their content is also revealed. The microelements were determined by using mass spectrometry in samples collected from genetic horizons. The principal component analysis has been applied to characterize the relationship between microelements, alluvial soil properties and macroelements composition. The associations of accumulation (Rb, Sr, Ba) and association of dispersion (Zr, Ta), having a lithogenic nature, are separated. The content of other microelements is lower than the average one for the world's soils. However, their concentration increases as the distance from the river bed increased. It is revealed that trace elements under the impact of flood waters are not accumulated only. They are also leached. Their migration is influenced significantly by floodplain topography: microelements are more affected to washing out in soils which are located near the river bed. Other factor which affects the microelements migration is the soil properties. Some microelements (Sr, Cd, Ba, Pb) are washed out from all types of soils. While the other ones (Y, Sc and Cr) are accumulated only. Flood affected greatly Mo (+43% average for the soil), Sc (+38%), Cu (+27%), Cd (-23%), Pb (-12%) and Sr (-12%). However, before the flood, significant correlation between microelements were observed only for exchangeable manganese and oxides aluminum and magnesium. Significant correlation between texture, organic matter and soil pH appeared after a long flood in all studied soils. These changes are probably caused by a decrease in the redox potential during flooding and the washing out of calcium oxide.

*Keywords:* Amur river, alluvial soils, trace elements, flood, principal component analysis, mass spectrometry

## REFERENCES

1. Gafurov F.G., Firsov V.P. *Soil formation in dolgopolik landscapes at high latitudes*, Ekaterinburg: Uroran, 1992. 146 p. (in Russian)
2. Dobrovolsky G.V., Balabko P.N., Stasyuk N.B., Bykova E.P. Alluvial soils of river floodplains and deltas and their zonal differences, *Arid ecosystems*, 2011, V. 17, No. 3 (48), pp. 5-13. (in Russian)
3. Dobrovolsky V.V. *Geography of soils with fundamentals of soil science*, Moscow, Higher school Publ., 1989. 320 p.
4. Karandashev V.K., Turanov A.N., Orlova T.A., Lezhnev A.E., Nosenko S.V., Zolotareva N.I., Moskvina I. R. Use the method of mass spectrometry with inductively coupled plasma elemental analysis of the environment, *Zavodskaya laboratoriya*, 2007, V.73, No. 1, pp. 12-22. (in Russian)
5. Kostenkov N.M. *Redox regimes in soils, periodic waterlogging*, Moscow, Nauka Publ., 1987, 192 p. (in Russian)
6. *Classification and diagnostics of soils of Russia*, Smolensk: Oikumena Publ., 2004, 342 p. (in Russian)
7. Kuznetsov V.A. Purification of river valley landscapes from radioactive contamination, *Litosphere*, 2011, No. 1(14), pp. 13-21. (in Russian)
8. Martynov A.V. change in the properties of alluvial soils after major floods on the example of the middle reaches of the Amur river, *Contemporary problems of science and education*, 2016, No. 3, pp. 405. (in Russian)
9. Mikhailov V.N., Dobrovolsky A.D., Dobrolyubov S.A. *Hydrology*. Moscow: Higher school, 2007. 463 p. (in Russian)
10. Perelman A.I., Kasimov N.S. *Geochemistry of landscape*. Moscow: Astrea-2000, 1999. 610 p. (in Russian)
11. Remezov N.P. *Soil colloids and the absorption capacity of the soil*. Moscow: Selkhozgiz, 1957. 225 p. (in Russian)
12. Scriabin O.A. Mineralogical composition of soils and soil-forming rocks, Perm, 2011, 117 p. (in Russian)
13. Sokolova G.V. Analysis of the water regime of the Amur river for the period prior to the catastrophic flooding in 2013, *Meteorology and hydrology*, 2015, No. 7, pp. 66-69. (in Russian)
14. Sorokina O.A., Gusev M.N., Zarubina N.V. Features of distribution of chemical elements in fluvial sediments of the Zeya river, *Geography and natural resources*, 2014a, No. 4, pp. 81-88. (in Russian)
15. Sorokina O.A., Gusev M.N. The contents of rare earth elements in floodplain soils of the valley of the Zeya river (the Amur basin), *Vestnik of North-East scientific center DVO ran*, 2014b, No. 3, pp. 36-40. (in Russian)
16. Sorokina O.A., Zarubina N.V. The Content of Chemical Elements in Alluvial Soils and Bottom Sediments of the Urkan River (the Amur River Basin), *Eurasian soil science*, 2013, No. 6, pp. 644-653. doi: 10.1134/S1064229313060094
17. Tasevski B.V. Ecological importance of floodplains in river ecosystems, *Scientific notes of Russian state hydrometeorological University*, 2007, No. 5, pp. 118-129. (in Russian)

18. Chizhikova N.P., Orphan S.E., Kharitonova G.V., Manucharov A.S., Konovalova N.S., Utkin E.V. Mineralogy and Chemistry of Finely Dispersed Bottom Sediments in the Amur River, *Eurasian Soil Science*, 2011, 44 (7), pp. 781-793. doi: 10.1134/S1064229311070039
19. Shaldybin M.V., Kharitonova G.V., Kim V.I., Lopusnik Y.M., Utkin E.V., Dembovetchkii A.V., Konovalova N.S., Yudin A.V., Snegiryov S.A. Mineralogical composition of sediments of the Amur river in the zone of influence of the Songhua river, *Tihookeanskaja geologija*, 2016, V. 35, No. 1, P. 92-108. (in Russian)
20. Shrag V.I. Floodplain soils their reclamation and agricultural use. Moscow: Rosselkhozizdat, 1969. 269 p. (in Russian)
21. Abgottspon F., Bigalke M., Wilcke W. Fast colloidal and dissolved release of trace elements in a carbonatic soil after experimental flooding, *Geoderma*, 2015, V. 259-260, pp. 156-163, doi:10.1016/j.geoderma.2015.06.005
22. Bednarova Z., Komprdova K., Kalabova T., Sanka M. Impact of Floods and Their Frequency on Content and Distribution of Risk Elements in Alluvial Soils, *Water Air Soil Pollut.*, 2015, V. 226, No. 15, pp. 1-21. doi: 10.1007/s11270-014-2253-x
23. Borch T., Kretzschmar R., Kappler A., Van Cappellen P., Ginder-Vogel M., Voegelin A., Campbell K. Biogeochemical redox processes and their impact on contaminant dynamics, *Environ. Sci. Technol.*, 2010, V. 44, No. 1, pp. 15-23. doi: 10.1021/es9026248
24. Calmano W., Hong J., Forstner U. Binding and mobilisation of heavy metals in contaminated sediments affected by pH and redox potential, *Water Sci Technol.*, 1993, V. 28, pp. 223-235. doi: 10.15480/882.450
25. Du Laing, G., Rinklebe J., Vandecasteele B., Tack F.M.G. Trace metal behavior in estuarine and riverine floodplain soils and sediments: a review, *Sci. Total Environ.*, 2009, V. 407, pp. 3972-3985. doi: 10.1016/j.scitotenv.2008.07.025
26. Florian A., Moritz B., Wolfgang W. Fast colloidal and dissolved release of trace elements in a carbonatic soil after experimental floodin, *Geoderma*, 2015, V. 259-260, pp. 156-163. doi: 10.1016/j.geoderma.2015.06.005
27. Frohne T., Rinklebe J., Diaz-Bone R.A., Du Laing G. Controlled variation of redox conditions in a floodp lain soil: Impact on metal mobilization and biomethylation of arsenic and antimony, *Geoderma*, 2011, V. 160, No. 3-4, pp. 414-424. doi: 10.1016/j.geoderma.2010.10.012
28. Izquierdo M., Tye A.M., Chenery S.R. Lability, solubility and speciation of Cd, Pb and Zn in alluvial soils of the River Trent catchment UK, *Environ. Science. Processes & impacts*, 2013, V. 15, No. 10, pp. 1844-58. doi: 10.1039/C3EM00370A
29. Junk W.J., Bayley P.B., Sparks R.E. The flood pulse concept in river–floodplain systems, *International Large River Symposium / Ed. Dodge D.P. Can.*

Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci. 1989, pp. 110-127.  
[http://www.nrem.iastate.edu/class/assets/aec1518/Discussion%20Readings/Junk et al. 1989.pdf](http://www.nrem.iastate.edu/class/assets/aec1518/Discussion%20Readings/Junk%20et%20al.%201989.pdf)

30. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants, Boca Raton: CRC Press, 2011, 534 p.

31. Koretsky C.M., Haveman M., Beuving L., Cuellar A., Shattuck T., Wagner M. Spatial variation of redox and trace metal geochemistry in a minerotrophic fen, *Biogeochemistry*, 2007, No. 86, pp. 33-62. doi: 10.1007/s10533-007-9143-x

32. Lair G.J. et al. How do long-term development and periodical changes of river-floodplain systems affect the fate of contaminants? Results from European rivers, *Environ. Pollut.*, 2009, V. 157, № 12, pp. 3336–3346. doi: 10.1016/j.envpol.2009.06.004

33. Pirastru M., Niedda M. Evaluation of the soil water balance in an alluvial flood plain with a shallow groundwater table, *Hydrological Sci. J.*, 2013, V. 58, № 4, pp. 898-911. doi: 10.1080/02626667.2013.783216

34. Sabry M.S., Jörg R. Geochemical fractions of chromium, copper, and zinc and their vertical distribution in floodplain soil profiles along the Central Elbe River, Germany, *Geoderma*, 2013, V. 228-229, pp. 142-159. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.10.012

35. Schulz-Zunkel C., Rinklebe J., Bork H.-R. Trace element release patterns from three floodplain soils under simulated oxidized–reduced cycles, *Ecol. Eng.*, 2015, V. 83, pp. 485-495. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.05.028

36. Shrestha J., Niklaus P.A., Pasquale N., Huber B., Barnard R.L., Frossard E., Schlegel P., Tockner K., Luster J. Flood pulses control soil nitrogen cycling in a dynamic river floodplain, *Geoderma*, 2014, V. 228, pp. 14-24. doi: 10.1016/j.geoderma.2013.09.018

37. Sipos P., Nemeth T., May Z., Szalai Z. Accumulation of trace elements in Fe-rich nodules in a neutral-slightly alkaline floodplain soil, *Carpathian J. Earth and Environ. Sci.*, 2011, V. 6, No. 1, pp. 13-22.

38. Zeng F., Ali S., Zhanga H., Ouyang Y., Qiu B., Wua F., Zhang G. The influence of pH and organic matter content in paddy soil on heavy metal availability and their uptake by rice plants // *Environmental Pollution*. 2011. V.159. №1. P. 84-91. doi:10.1016/j.envpol.2010.09.019

### Ссылки для цитирования

Мартынов А.С. Оценка влияния крупного паводка на содержание микроэлементов в аллювиальных почвах в среднем течении р. Амур // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2018. Вып. 91. С. 110-131. doi: 10.19047/0136-1694-2018-91-110-131

Martynov A.V. The assessment of the large flood impact on the microelements content in alluvial soils in the Amur river middle stream, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2018, Vol. 91, pp. 110-131. doi: 10.19047/0136-1694-2018-91-110-131