

**ВЛИЯНИЕ КРУПНЫХ ПРИТОКОВ НА СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ВОДЕ И ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕКИ АМУР**

*Л.М. Кондратьева<sup>1</sup>, В.С. Канцыбер<sup>1</sup>, В.Е. Зазулина<sup>2</sup>, Л.С. Боковенко<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>*Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, г. Хабаровск*

<sup>2</sup>*Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, г. Хабаровск*

Представлены результаты исследования содержания тяжелых металлов в воде и донных отложениях (ДО) р. Амур на участках, подверженных влиянию стока крупных притоков: двух левобережных – Зеи и Буреи, водосборы которых расположены на российской территории, и правобережного – Сунгари, находящегося в пределах густонаселенного района КНР. Со стоком рек Бурей и Зея в амурские воды поступали главным образом Fe, Zn, Cu и Pb. В зоне максимального влияния р. Сунгари в воде возле правого берега были зарегистрированы высокие концентрации Fe, Mn, Ni и Co. В поверхностных слоях ДО, отобранных в устьевой зоне р. Буреи, встречались повышенные концентрации токсичных элементов (мг/кг): Pb – 15,5; Hg – 0,067; Cd – 0,6. Согласно проведенным исследованиям, несмотря на разнообразие токсичных элементов, поступающих со стоком р. Сунгари, уровень загрязнения ДО тяжелыми металлами в зоне ее влияния был значительно ниже, чем в донных отложениях, отобранных в устьевой зоне р. Буреи. Концентрации Cu, Pb и Cd в ДО устья р. Зеи были минимальными. Максимальное содержание Hg было отмечено в 10–15 см слое ДО (0,093 мг/кг) и влекомых наносах (0,140 мг/кг) в устье р. Буреи.

**Ключевые слова:** вода, донные отложения, тяжелые металлы, Амур, Сунгари, Зея, Бурей.

Отличительной чертой р. Амур является ее пограничный статус. Бассейн реки расположен на территории трех стран – России, Китая и Монголии. На участке от г. Благовещенска до г. Хабаровска в формировании качества воды и химического состава донных отложений принимают участие три крупных притока. На левобережной российской территории расположены бассейны двух рек: Зеи и Буреи, на которых построены гидроэлектростанции и созданы водохранилища. Крупнейшим правобережным притоком р. Амур является р. Сунгари, бассейн которой полностью находится на территории КНР. Рост промышленного производства в бассейне р. Сунгари, интенсивное развитие сельского хозяйства, активное освоение территории амурского правобережья способствуют поступлению в р. Амур значительных количеств биогенных элементов, органических веществ различного происхождения, включая стойкие полиароматические углеводороды, а также тяжелые металлы (ТМ).

Экологическое состояние водных экосистем можно оценить по химическому составу воды, взвешенных веществ, гидробиологическим показателям,

а также по характеру загрязнения донных отложений (ДО). ДО способны накапливать из речной воды весь комплекс химических веществ различного генезиса, поэтому их рассматривают в качестве интегрального индикатора загрязнения водных экосистем [3].

Интенсивность и специфика загрязнения любого водного объекта обусловлены многими факторами. Большое значение имеют геологические и ландшафтные особенности территории водосбора, степень антропогенного воздействия и характер природопользования. Среди токсичных веществ, загрязняющих все компоненты водных экосистем (вода, лед, донные отложения, гидробионты), особое внимание уделяется ионам тяжелых металлов. Это обусловлено высокой токсичностью ТМ для живых организмов даже в относительно низких концентрациях, их активным участием в биологических процессах, способностью к биоаккумуляции и передаче по трофическим цепям.

Имеются данные о том, что в ДО бассейна Нижнего Амура на отдельных участках аккумулируются такие ТМ, как Cr, Mn, Zn, Pb, а в ряде случаев Ni и Fe [15]. Следует отметить, что ДО р. Амур заметно обо-

гащены тяжелыми металлами в зоне влияния крупных промышленных центров (гг. Хабаровск, Амурск, Комсомольск-на-Амуре), особенно возрастает доля наиболее мобильных и токсичных фракций Hg [9].

Проведенные в Хабаровском крае исследования содержания тяжелых металлов в макрофитах, водорослях и рыбе показали, что в макрофитах активно накапливаются Co, Ni, Pb, а в водорослях – Zn, Pb, Cd. В рыбе наблюдаются повышенные концентрации тех же элементов, что и в водорослях. Высокие концентрации ТМ в гидробионтах характеризуют локальные участки загрязнения водотоков и водоемов в местах наибольшего техногенного влияния, например, в р. Амур ниже по течению от промышленных узлов и городов [5].

Устье – наиболее загрязненный участок реки, так как здесь интегрируются загрязняющие вещества, поступающие со всего бассейна. Изучение биогеохимических процессов, происходящих в устьевых участках рек, подверженных интенсивному антропогенному воздействию, можно отнести к приоритетным направлениям исследования механизмов формирования качества природных вод.

Цель данной работы заключается в выявлении роли крупных притоков Зeya, Бурея и Сунгари в формировании локальных зон загрязнения воды и донных отложений реки Амур токсичными тяжелыми металлами.

Сравнительный анализ влияния стока трех крупных притоков на загрязнение р. Амур ТМ проводится впервые. Актуальность исследований обусловлена необходимостью оценки трансграничного воздействия р. Сунгари на уровень загрязнения р. Амур токсичными элементами с целью принятия адекватных мер по улучшению экологической обстановки в Приамурье, сохранению биоразнообразия, снижению риска для здоровья населения и созданию благоприятных условий для устойчивого развития Тихоокеанского региона России.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Устьевые участки дальневосточных рек характеризуются специфическими особенностями: долины рек сложены мощным слоем галечно-валунных аллювиальных отложений, и только лишь местами русла водотоков проходят в коренных породах; по мере удаления от истоков долины рек расширяются, толщина аллювиальных отложений становится мощнее, крупность наносов уменьшается. В русловом аллювии преобладают мелкие фракции. Сильное влияние на развитие устьевых участков рек оказывают процессы аккумуляции наносов, выносимых реками,

а в период летне-осенних паводков активизируются процессы эрозии дна и размывания берегов.

На Среднем Амуре, на участке г. Благовещенск–г. Хабаровск протяженностью около 1000 км в формировании качества воды принимают участие два левобережных притока (Зeya и Бурея) и один правобережный приток (Сунгари). На этом участке р. Амур течет в широкой долине, в русле, обрамленном низменными и местами болотистыми берегами; русло дробится на многочисленные протоки.

Зeya – одна из крупнейших рек бассейна Амура; площадь водосбора 23300 км<sup>2</sup>. Зeya берет начало на южных склонах Станового хребта. В верхнем течении, от истока до устья р. Селемджи, она имеет преимущественно горный характер; затем река выходит на равнину, ее долина расширяется, а русло расчленяется на многочисленные рукава. Река Зeya отличается высокой водностью: средний годовой расход воды равен 1800 м<sup>3</sup>/сек, что соответствует модулю стока 7,7 л/сек·км<sup>2</sup>. Многолетняя амплитуда колебания уровня воды достигает 9–10 м. В районе узла слияния для выпуклого берега характерны процессы аккумуляции, которые быстро затухают вниз по течению. Вогнутый берег на всем протяжении узла слияния характеризуется процессами размыва. Ширина устья р. Зеи в зависимости от гидрологического режима изменяется от 500 м до 1,2–1,5 км. Распределение глубин в устьевой зоне относительно равномерное (на период наблюдения в июле 2005 г в среднем от 2 до 3,5 м). Максимальные глубины отмечаются у левого берега при непосредственном выходе в Амур. Сложена устьевая зона р. Зеи преимущественно песчаными, песчано-щебнистыми и галечными отложениями, встречаются косы, осередки. Берега сложены песчаными и песчано-галечными отложениями.

Бурея – второй по величине приток Амура – берет начало на северных склонах Буреинского хребта, имеет длину 716 км и площадь водосбора около 70 000 км<sup>2</sup>. Верхнее течение Буреи имеет горный характер; берега реки местами скалистые. В низовье русло р. Буреи ограничено низкими берегами, расчленяется на рукава и протоки, образуя многочисленные острова. Бурея – одна из наиболее водоносных рек Дальнего Востока; средний годовой расход воды равен 950 м<sup>3</sup>/сек, а соответствующий ему модуль стока равен 13 л/сек·км<sup>2</sup>. В 2003 г. начато заполнение Буреинского водохранилища. В пределах узла слияния с Амуром отмечаются старичные образования и затоны, не имеющие течения, а также аккумуляция выносимого материала. Формируются обширные, до 200–300 м, отмели, песчаные косы, осередки. Литология русла в пределах узла слияния представлена песча-

но-щебнистыми и галечными отложениями. Ширина р. Буреи в месте впадения составляет до 500–750 м. На момент отбора проб глубина составляла в среднем до 1,2–2 м. Береговые откосы в пределах узла слияния по правому берегу представлены ступенчато-обрывистыми образованиями, частично заросшими травянистой растительностью и кустарниками. В некоторых местах откосы перекрыты дерновым горизонтом, на мелководьях отмечаются отложения илilка. Левобережье – это пологие выровненные образования, постепенно переходящие в пойменные массивы. В целом береговые откосы сложены песчано-глинистыми, песчаными и песчано-щебнистыми породами. В пределах узла слияния существует остров, характеризующийся значительной сезонной и годовой динамикой. Это свидетельствует о значительном выносе р. Буреи взвешенных наносов.

Сунгари – первый по величине правобережный приток Амура. Протяженность Сунгари 1870 км, площадь бассейна 524 000 км<sup>2</sup>, пересекает Маньчжуро-Корейские горы, равнины Сунляо и Саньцзян. Средний расход воды около 2500 м<sup>3</sup>/с. Во время летнего половодья бывают катастрофические наводнения. Несет много взвешенных наносов. Река Сунгари впадает в Амур одним потоком, без разделения на рукава. В то же время, в пределах узла слияния формируется сложный островной комплекс из системы 4–5 больших и множества мелких островов. Ширина Сунгари в месте впадения в Амур в среднем составляет около 800 м. Литология русла представлена в основном песчаными, песчано-щебнистыми наносами, не имеющими определенной структуры. Береговые откосы в пределах узла слияния в значительной степени антропогенно изменены. В послевоенные годы на р. Сунгари построено водохранилище Сунхуаху с полным объемом около 10,8 км<sup>3</sup>.

Пробы воды и донных отложений в р. Амур и устьевых зонах притоков Зея, Бурея и Сунгари были отобраны в июле 2005 г. во время комплексной экспедиции, организованной Центром ООН-ХАБИТАТ программы “Север-Север” в г. Хабаровске. Для оценки влияния стока р. Сунгари на пограничном участке пробы отбирали в 4 км ниже устья на середине и в 100 м от правого и левого берегов. Карта-схема мест отбора проб представлена на рисунке 1. Пробы поверхностных и придонных вод отбирали батометром БМ-48, донные отложения – штанговым дночерпателем. Послойный отбор ДО проводили на мелководьях с помощью специального бура. Характеристика образцов ДО представлена в таблице 1.

Определение содержания ТМ проводили методом атомно-абсорбционной спектроскопии с элект-

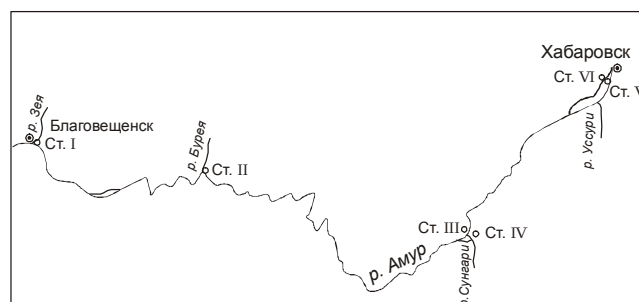


Рис. 1. Карта-схема мест отбора проб донных отложений.

Ст. I – устье р. Зея, Ст. II – устье р. Бурея, Ст. III – 4 км ниже устья р. Сунгари (левый берег), Ст. IV – 4 км ниже устья р. Сунгари (правый берег), Ст. V – 7 км выше г. Хабаровска (правый берег), Ст. VI – 7 км выше г. Хабаровска (левый берег).

ротермической атомизацией [22] на анализаторе “Hitachi Z-9000”. Содержание ртути определяли стандартным методом “холодного пара” (непламенной ААС) на приборе “Юлия-2”.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Содержание тяжелых металлов в воде

Проведенные исследования показали, что со стоком р. Сунгари в амурские воды поступают следующие тяжелые металлы: железо, медь, марганец, никель и кобальт (табл. 2). Самые высокие концентрации Ni обнаружены в поверхностных водах возле правого берега и на середине реки. Его количество сохраняется фактически на всем протяжении реки вдоль правого берега до г. Фуюань. Присутствие Ni в повышенных концентрациях обнаружено на середине реки в придонных слоях воды. Это может быть связано с оседанием взвешенных веществ, содержащих в своем составе Ni. Доминирующими элементами, поступающими с водами рек Зея и Бурея, являются Fe, Zn, Pb и Cu.

Содержание Fe в устьевых зонах левобережных притоков было в 10 раз меньше, чем в воде, распространяющейся вдоль правого берега ниже устья р. Сунгари. Следует подчеркнуть, что в устьевой зоне р. Зея была установлена максимальная концентрация Zn в воде (0,0065 мг/л). Средняя концентрация этого элемента в зоне влияния р. Сунгари в поверхностных и придонных водах составляла около 0,0022 мг/л. Однако в результате динамического перераспределения ТМ между взвесями, ДО и водной средой ниже по течению вновь происходит увеличение в воде концентрации Zn. Так, в 5 км выше г. Хабаровска максимальные концентрации Zn

Таблица 1. Расположение мест отбора проб и характеристика донных отложений.

Станция	№ пробы	Глубина отбора, см	Характеристика донных отложений	Влажность, %
I – устье р. Буреи	1	0–5	глинистый ил	32,1
	2	5–10	песок	19,8
	3	10–15	глинистый ил	35,7
	4	0–5	ил с песком	30,5
	5	5–10	ил с песком	18,1
	6	0–5	глинистый ил	48,2
	7	–	влекомые глинистые наносы	53,6
II – устье р. Зей	8	0–5	мелкий песок + детрит	34,3
	9	0–5	ил с песком	22,4
	10	0–5	ил с водорослями	21,8
III – р. Амур ниже устья р. Сунгари вблизи левого берега ---<---<--- ---<---<---	11	0–5	глинистый ил с песком	22,8
	12	5–10	ил с песком	29,6
	13	–	влекомые глинистые наносы	37,2
IV – р. Амур ниже устья р. Сунгари вблизи правого берега ---<---<--- ---<---<---	14	0–5	песок	18,1
	15	5–10	ил с песком	28,2
	16	–	влекомые глинистые наносы	32,7
V – р. Амур выше г. Хабаровска вблизи правого берега ---<---<---	17	0–5	песок	16,8
	18	5–10	ил с песком	29,7
VI – р. Амур выше г. Хабаровска вблизи левого берега ---<---<---	19	0–5	ил с песком	23,4
	20	5–10	ил с песком	29,2

(0,0063 мг/л и 0,0065 мг/л) отмечены в поверхностных водах возле правого берега и на середине реки. Содержание Pb в водах рек Зей и Бурея было в 3–4 раза ниже, чем в сунгарийских водах, распространяющихся вдоль правого берега. Содержание Cd в пробах воды на обследованном участке было ниже пределов обнаружения (0,0002 мг/л).

Информация о масштабах трансформации природных комплексов в бассейне р. Сунгари весьма ограничена. Однако, анализируя общую ситуацию в бассейне р. Буреи, можно представить масштабы антропогенного влияния на окружающую среду и гидросферу правобережного притока р. Амур.

Так, в бассейне р. Буреи выделяются три крупных природно-техногенных комплекса (ПТК) с наиболее значительными уровнями техногенной нагрузки (Чегдомынский, Бурейский и Талаканский) [23]. Модуль техногенной нагрузки в пределах Чегдомынского ПТК составляет 60,4 т/км<sup>2</sup> в год. На долю загрязняющих веществ, поступающих в водную среду в этом районе, приходится 6171 т. Горная промышленность в пределах Бурейского ПТК является одним

из мощных факторов преобразования природной среды. Здесь же негативную роль на состояние окружающей среды оказывают предприятия машиностроения, металлообработки, строительных материалов и деревообработки, химической и легкой промышленности, локомотивное депо, ГРЭС, отопительные котельные. Степень загрязнения поверхностных вод характеризуется от умеренно опасной до чрезвычайно опасной. Модуль техногенной нагрузки Бурейского ПТК равен 103,8 т/км<sup>2</sup> в год. Специфика влияния Талаканского инженерно-строительного ПТК на окружающую среду обусловлена строительством Бурейской ГЭС и созданием водохранилища. Условный модуль техногенной нагрузки в пределах этого ПТК составляет 330,7 т/км<sup>2</sup> в год. Антропогенные изменения природной среды в бассейне р. Буреи оказывают негативное влияние на экзогенные геологические процессы (гравитационные, криогенные, элювиальные, полигенетические и др.). Доказательством служат явления деградации почвенного покрова, состояния растительности, изменение водного баланса, теплового и водного режима почв и грунтов в преде-

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в поверхностных (П) и придонных (Д) водах р. Амур и в устьевых зонах крупных притоков (июль, 2005 г.).

№ пробы	Место отбора проб воды	Концентрация тяжелых металлов, мг/л									
		Fe	Zn	Cu	Cd	Pb	Mn	Ni	Co		
1	Устье р. Зей	0,16	<b>0,0062</b>	0,0058	<0,0002	0,0005	<0,01	<0,001	<0,001		
2	Устье р. Буреи	0,18	0,0045	0,0038	<0,0002	0,0012	<0,01	<0,001	<0,001		
3	Середина, Д	0,25	0,0045	0,0023	<0,0002	0,0010	<0,01	<0,001	<0,001		
4	р. Амур, 100 м от правого берега, П	<b>1,76</b>	<0,0005	0,0018	<0,0002	0,0043	<b>0,110</b>	<b>0,005</b>	<b>0,004</b>		
5	4 км ниже 100 м от правого берега, Д	0,25	0,0032	0,011	<0,0002	0,0032	0,020	<0,001	<0,001		
6	Устье р. Сунгари	<b>1,05</b>	0,0032	<b>0,0150</b>	<0,0002	0,0087	<b>0,080</b>	<b>0,005</b>	<0,001		
7	Середина, Д	0,17	0,0014	0,0080	<0,0002	0,0034	<0,01	<0,001	<b>0,004</b>		
8	100 м от левого берега, П	0,19	0,0012	<0,0006	<0,0002	<0,0002	0,020	<0,001	<0,001		
9	100 м от левого берега, Д	0,14	0,0025	0,0074	<0,0002	0,0016	<b>0,090</b>	<0,001	<0,001		
10	р. Амур, 100 м от левого берега, П	0,30	0,0019	0,0070	<0,0002	0,0024	<0,01	<0,001	<0,001		
11	5 км выше г. Хабаровска	0,32	0,0022	<b>0,0170</b>	<0,0002	0,0011	<0,01	<0,001	<0,001		
12	Середина, П	0,37	<b>0,0065</b>	<b>0,0190</b>	<0,0002	0,0020	<0,01	0,002	<0,001		
13	Середина, Д	0,45	0,0050	0,0120	<0,0002	0,0020	<0,01	0,002	<0,001		
14	100 м от правого берега, П	0,52	<b>0,0063</b>	0,0110	<0,0002	0,0020	<0,01	0,003	<0,001		
15	100 м от правого берега, Д	0,40	<0,0005	0,0087	<0,0002	<b>0,0100</b>	<0,01	0,002	<0,001		

Примечание. Жирным шрифтом выделены повышенные содержания.

лах природных ландшафтов. Около 13 % территории бассейна р. Бурея считается весьма неблагоприятной в экологическом плане. Здесь в значительной мере выражены интенсивное развитие экзогенных геологических процессов, наличие гарей, вырубок леса и участков с обработанными россыпями месторождений. В бассейне р. Буреи встречаются 165 аномалий с опасным и 43 – чрезвычайно опасным содержанием токсичных веществ. Доминирующими среди них являются Mo, Sn, Be, Pb, Ag, Cu, Cr, Zn, Ni, которые относятся по степени токсичности к I–III классам опасности. Преобладающими природными загрязнителями являются Be, Mo, Cu, Zn, Pb, реже Cr, Ni, Co, Sr. Водные массы гидросети и донные отложения загрязнены в основном этими же элементами.

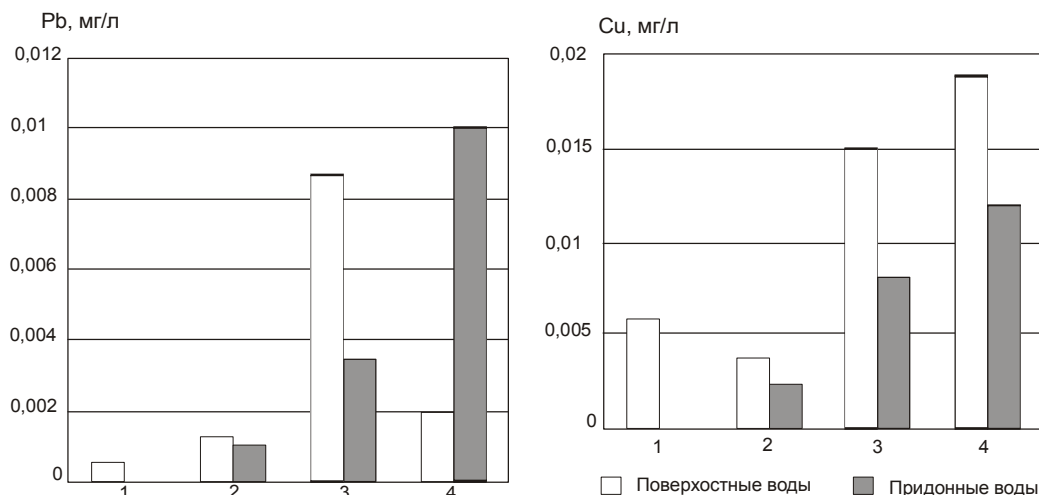
Значительное количество ТМ может поступать в природные воды во время весеннего снеготаяния. Согласно проведенным в бассейне р. Буреи исследованиям, взвешенные вещества снежного покрова содержат повышенные концентрации Mn (312 мг/кг), Ba (182,2 мг/кг), Zn (116,9 мг/кг), Pb (31,5 мг/кг) и Cu (25,5 мг/кг); Co, Ni и Cd встречались лишь в отдельных пробах [17].

Анализ динамики концентраций Pb в воде р. Амур на участке от устья р. Зеи до г. Хабаровска (рис. 2) дает основание полагать, что уменьшение его концентрации в поверхностных водах связано с его миграцией в составе взвешенных веществ (ВВ), постепенным оседанием ВВ в придонные воды и дальнейшим депонированием в ДО. Известно, что ВВ вносят существенный вклад в формирование качества воды в придонных слоях и определяют динамику накопления ТМ в ДО.

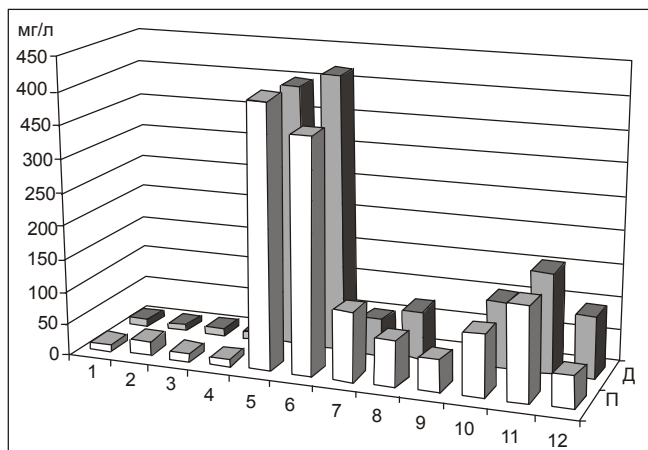
В составе ВВ и ДО тяжелые металлы чаще всего связаны с глинистыми компонентами, поступающими с территории водосбора или с автохтонным органическим веществом (отмирающие гидробионты). Так, отдельные группы тяжелых металлов аккумулируются фито- и зоопланктоном – Cd, Pb, Cu, Zn. Представителями перифитона поглощается другая группа элементов – Ni, Co, Cr и Fe. Макрофиты в большей степени концентрируют Cu, Ni, Cr и Fe [12].

Иная закономерность проявляется в поведении Cu. В отличие от Pb ее концентрация постоянно увеличивается как в поверхностных, так и в придонных водах вниз по течению р. Амур. Такой эффект может наблюдаться при хроническом поступлении в водную среду этого элемента.

Принимая во внимание, что сток р. Зеи примерно на 30 % формируется водами Зейского водохранилища, можно предполагать, что в р. Амур будут поступать растворенные формы ТМ, а также входящие



**Рис. 2.** Содержание Pb и Cu в поверхностных и придонных водах на различных участках экосистемы р. Амур. 1 – устье р. Зеи, 2 – устье р. Буреи, 3 – 4 км ниже устья р. Сунгари, 4 – 5 км выше г. Хабаровска.



**Рис. 3.** Особенности загрязнения поверхностных (П) и придонных (Д) вод р. Амур ВВ: ниже устья р. Зеи (1–3); ниже устья р. Сунгари (4–6); ниже г. Фуюань (7–9); выше г. Хабаровска (10–12); возле левого берега – 1, 4, 7, 10; на середине – 2, 5, 8, 11; возле правого берега – 3, 6, 9, 12.

в состав взвесей, поступающих из этого водохранилища. По имеющимся данным [14], воды Зейского водохранилища обогащены Mn и Fe, а взвешенные вещества – Cu и Zn, которые поступают во время весенних паводков из районов золотодобычи. Содержание Fe в пределах акватории водохранилища изменяется от 0,23 мг/л до 1,13 мг/л, причем средние значения содержания Fe в придонных водах были выше (0,64–0,83 мг/л), чем в поверхностных (0,27–0,46 мг/л); Mn в повышенных концентрациях (0,016–0,054 мг/л) отмечается в придонных водах до глуби-

ны 41 м. Медь поступает вместе с грунтовыми водами, питающими водоем, при размыве горных пород, слагающих берега и ложе водохранилища.

Время отбора проб в июле 2004 г. на р. Сунгари совпало с паводком средней величины. С ее стоком в р. Амур поступало большое количество взвешенных веществ (рис. 3). Содержание взвесей в водах устьевых зон левобережных притоков было незначительным.

Как видно на рисунке 3, максимальное поступление ВВ происходило со стоком р. Сунгари. Поток ВВ распространялся вдоль правого берега и до середины реки. Возле левого берега вода по своему качеству соответствовала амурским водам, поступающим с выше расположенных участков. На участке от устья р. Сунгари до г. Фуюань происходило интенсивное оседание ВВ. За счет них могли формироваться поверхностные горизонты ДО. Есть основание полагать, что качественное содержание ТМ, обнаруженных в ДО ниже устья р. Сунгари возле правого берега и на середине р. Амур, определяется составом сунгарийских взвесей.

#### Содержание тяжелых металлов в донных отложениях

В ДО р. Амур максимумы содержания для большинства рассеянных металлов обнаружены в поверхностных горизонтах, где происходят наиболее активные процессы окисления. Однако максимальное обогащение поверхностного слоя ТМ не всегда является результатом антропогенного влияния. Чаще всего это связано с постседиментационным перераспределением элементов [10].

Как показали наши исследования ДО устьевых зон крупных притоков Среднего Амура, они в значительной степени отличаются по уровню содержания отдельных ТМ (табл. 3). Максимальные концентрации таких элементов, как Cu, Pb, Hg и Cd обнаружены в ДО устья р. Буреи, а минимальные – в устье р. Зеи.

Предыдущие исследования, проведенные на Среднем и Нижнем Амуре, показали, что состав ДО р. Амур по отношению к ТМ находится в большом соответствии с уровнем их содержания в почвогрунтах дренируемой территории. Такие элементы, как Hg, Pb и Mo имеют терригенное происхождение и переносятся с тонкими фракциями взвесей на значительные расстояния [8, 19].

Как видно из рисунка 4, максимальные концентрации кадмия обнаружены в донных отложениях устья р. Буреи (0,55–0,60 мг/кг), представленных глинистым илом (пробы № 1 и № 6), а также во влеко-мых наносах (проба № 7). Присутствие песка снижает концентрацию Cd в ДО (пробы № 4 и № 5). В ДО, представленных песком, Cd отсутствовал, независи-

мо от места отбора проб. В устье р. Зеи содержание Cd в ДО было низким. Только в пробе № 10, в которой присутствовали автотрофные организмы, отмечено несколько повышенное содержание Cd (0,20 мг/кг). Ниже устья р. Сунгари возле правого берега содержание Cd в ДО практически не изменялось до г. Хабаровска и составляло 0,15–0,20 мг/кг. Следует отметить, что выше г. Хабаровска повышенные

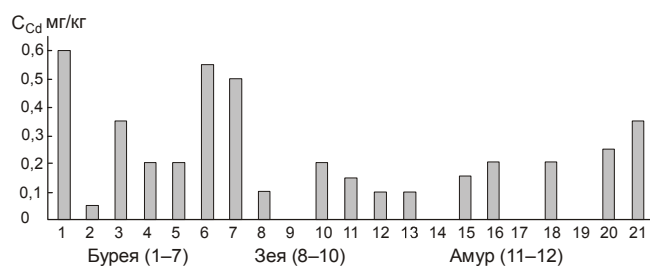


Рис. 4. Содержание кадмия в ДО устьевых зон рек Зея, Бурея и р. Амур на участке от устья р. Сунгари до г. Хабаровска в июле 2005 г., мг/кг сухого вещества (описание проб ДО в табл. 1).

Таблица 3. Содержание ТМ в донных отложениях устьевых зон рек Бурея, Зея и р. Амур на участке от устья р. Сунгари до г. Хабаровска.

Станция	№ пробы	Содержание тяжелых металлов, мг/кг сухого вещества			
		Cu	Pb	Hg	Cd
I – устье р. Буреи	1	16,80	11,15	<b>0,067</b>	<b>0,60</b>
	2	4,25	5,00	<b>0,075</b>	0,05
	3	<b>21,80</b>	10,15	<b>0,093</b>	0,35
	4	6,40	7,45	0,035	0,20
	5	8,15	8,70	0,024	0,20
	6	<b>17,78</b>	<b>15,50</b>	0,058	<b>0,55</b>
	7	<b>16,00</b>	<b>14,60</b>	<b>0,140</b>	<b>0,50</b>
II – устье р. Зеи	8	3,50	3,90	0,030	0,10
	9	2,05	1,85	0,052	н.о.
	10	2,45	1,80	0,050	0,20
III – р. Амур ниже устья р. Сунгари вблизи левого берега	11	7,85	8,50	0,052	0,15
	12	7,50	7,05	0,028	0,10
	13	11,12	11,50	0,032	0,10
IV – р. Амур ниже устья р. Сунгари вблизи правого берега	14	1,50	2,50	0,024	н.о.
	15	6,65	7,30	0,028	0,15
	16	12,90	11,30	<b>0,075</b>	0,20
V – р. Амур выше г. Хабаровска вблизи правого берега	17	1,70	2,75	0,012	<
	18	9,95	11,15	0,014	0,20
VI – р. Амур выше г. Хабаровска вблизи левого берега	19	2,60	3,90	0,026	<
	20	8,20	8,40	<b>0,085</b>	0,25

Примечание. Жирным шрифтом показаны повышенные содержания.

концентрации Cd были выявлены в ДО возле левого берега только в нижнем 5–10 см слое (0,25 мг/кг). В поверхностном слое Cd не обнаружен. Это может быть связано с выносом этого элемента и захоронением в ДО в предыдущий период во время интенсивных паводков на р. Бурея.

Распределение ТМ между водной средой и ДО зависит от многих факторов, в первую очередь, от фракционного состава ДО и содержания в них органических веществ. Большое значение имеют окислительно-восстановительные свойства воды. Установлено, что закисление природных вод вызывает уменьшение концентрации Cu, Cd, Al и Zn в поверхностных слоях ДО. Эта тенденция обусловлена снижением интенсивности аккумуляции металлов вследствие уменьшения адсорбционной способности вод и их десорбцией из осадочного материала [16]. При исследовании механизмов перехода тяжелых металлов из ДО в водную среду было показано, что при снижении pH с 7,3 до 4,9 поток отдельных ТМ из донных отложений увеличивается, например, Co с 43,96 до 119,43 мкг/м<sup>2</sup> и Ni с 28,54 до 71,66 мкг/м<sup>2</sup> [18].

Увеличение концентрации растворимых и обменных форм Cd также может происходить в результате закисления водной среды. Высокие концентрации Cd в ДО наблюдались на глубине 5–7 см. Максимумы концентраций этого элемента совпадали с началом закисления поверхностных горизонтов ДО и его миграцией в водную среду. Особую опасность представляет закисление вод, происходящее на фоне недостатка кислорода в придонных слоях воды. При дефиците кислорода в придонном слое воды и поверхностных слоях ДО создается барьер для захоронения ТМ [4]. Снижение pH, в таком случае, является источником дополнительного экологического риска, так как может привести к вторичному загрязнению водной среды за счет увеличения концентраций ТМ.

Принимая во внимание повышенные концентрации Cd в поверхностных слоях ДО устья р. Буреи, можно прогнозировать вероятность поступления в р. Амур растворенных форм этого токсиканта при изменении окислительно-восстановительного потенциала в результате деструкции органических веществ.

### Особенности загрязнения донных отложений ртути

Проведенные исследования содержания ртути в донных отложениях экосистемы р. Амур показали, что максимальные концентрации этого элемента обнаружены в поверхностных слоях ДО в устьевых зонах рек Бурея и Зея (рис. 5). В р. Амур на различных участках близкие по значению концентрации Hg в

ДО были отмечены только в пробе № 11, отобранной возле левого берега ниже устья р. Сунгари, где сосредоточены в основном амурские воды, сформированные под влиянием стока рек Зея и Бурея. В зоне влияния р. Сунгари, особенно возле правого берега, концентрации Hg в ДО были значительно ниже. Минимальные концентрации Hg (0,012 мг/кг) обнаружены в р. Амур выше г. Хабаровска вблизи правого берега (проба № 17).

Необходимо отдельно обратить внимание на повышенное содержание Hg в ДО устья р. Буреи в связи с созданием в 2003 г. Бурейского водохранилища. Известно, что ртуть всегда присутствует в затопленных почвах и растительности, оседающем взвешенном материале водохранилищ. В результате биогеохимических процессов, включая микробиологическую деструкцию органических веществ, Hg переходит в метилированную форму (метилртуть). Это резко увеличивает не только ее миграционную способность, поступление в воду и последующее накопление в биоте, но и повышает токсичность [20]. Метилртуть по сравнению с неорганическими формами ртути обладает способностью проникать через биологические мембраны и накапливаться в живых организмах [24].

Осаждение обогащенных Hg органических веществ растительного происхождения и отмирающих гидробионтов может являться причиной довольно высокой концентрации ртути в ДО. Этим можно объяснить повышенное содержание ртути в поверхностных слоях ДО (рис. 5), отобранных в устье р. Буреи. Здесь же, по сравнению с устьевой зоной р. Зеи, чаще всего встречались повышенные концентрации меди, свинца и кадмия (табл. 3). Причиной может быть некачественная подготовка ложа водохранилища и затопляемых территорий. Так, биогеохимические исследования техногенного рассеивания ТМ показали, что древесная растительность по сравнению с травянистой в большей степени накапливает такие элементы, как Cd, Pb, Ba и Sr [6]. Эти ТМ при

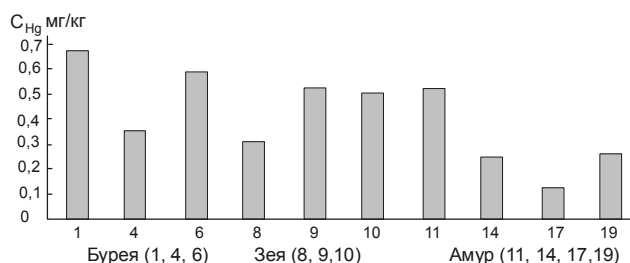


Рис. 5. Содержание ртути в поверхностном горизонте ДО (0–5 см) устьевых зон рек Бурея, Зея и р. Амур на участке от устья р. Сунгари до г. Хабаровска, мг/кг сухого вещества (описание проб ДО в табл. 1).



деструкции затопленной древесины могут хронически загрязнять воды водохранилища и поступать со стоком в устьевые зоны рек Зея и Бурея, а затем в р. Амур.

Миграция Hg из затопленных почв может происходить при активизации процессов разложения органических веществ (почвенного гумуса). Подтверждением могут служить результаты исследования содержания Hg в водных почвенных вытяжках [11]. Максимальное содержание этого элемента установлено в поверхностных горизонтах, обогащенных лесным опадом (0,01 мг/кг). Большая часть Hg была связана с гуминовыми кислотами. Наиболее мобильные формы Hg были связаны с фульвокислотами, которые относятся к сравнительно легко гидролизуемой составляющей гуминовых веществ. В нижних горизонтах Hg была связана в основном с неорганическими фракциями, предположительно с минералами Fe (Mn).

Феномен повышенного содержания ртути в донных отложениях и рыбе в недавно созданных водохранилищах является их универсальным свойством. Данное явление отмечалось при отсутствии антропогенных источников ртути или ее геохимических аномалий. Как правило, накопление Hg в ДО и рыбе в формирующихся экосистемах новых водохранилищ происходит при ее низком фоновом содержании. Ртуть встречается повсеместно во всех компонентах природной среды, но наиболее значительные концентрации связаны с районами ее месторождений и рудопроявлений. Однако подавляющая часть ртути находится в рассеянном состоянии, создавая природный геохимический фон. Пространственная миграция Hg происходит по двум каналам – водному и атмосферному. В глобальном масштабе более значимым является атмосферный перенос. В пресные воды этот элемент попадает при разрушении коренных пород, выщелачивании из рыхлых отложений и почв, деструкции растительности и гидробионтов, а также с атмосферными осадками. Создание водохранилищ не вызывает какого-либо возрастания ее суммарного содержания, однако происходит изменение ее подвижности и биологической активности (токсичности). В первые годы формирования экосистем новых водохранилищ очень часто отмечаются высокие концентрации Hg в рыбе. Уровень содержания Hg в водохранилищах сопоставим с наблюдавшимся ее содержанием в водоемах, загрязненных промышленными отходами [21].

Самая радикальная мера снижения риска ртутной проблемы связана с удалением растительного покрова и верхнего горизонта почв зоны затопления. Существующая информации по другим водохрани-

лищам [2, 25–27] свидетельствует о том, что при отказе от такого рода мероприятий у государств увеличиваются затраты на развертывание сети надежного мониторинга за содержанием Hg в ДО и рыбе. При этом возрастает угроза ртутной нагрузки на местное население. Особенно это важно для регионов с традиционным природопользованием, основанном на рыболовстве.

Большую роль играет уровень трофности водного объекта. Так, при повышении трофического статуса водной экосистемы может увеличиваться эффективность сорбции ртути из воды с осаждающимся автохтонным органическим веществом с ее последующим захоронением на дне или перемещением в составе влекомых наносов (ВН). Вероятно, такой механизм можно наблюдать в устьевой зоне р. Буреи, где самые высокие концентрации ртути были выявлены в ВН (0,140 мг/кг) и в нижнем (10–15 см) слое ДО пробы №3 (0,093 мг/кг).

До создания Бурейского водохранилища количество выносимых р. Бурея взвешенных и влекомых веществ составляло около 60 кг/сек. В 2004 году расход ВВ в июле–августе увеличился до 600–650 кг/сек за счет затопления новых территорий и размыва почвогрунтов. В устьевых зонах рек происходит регулярное поступление взвесей, перераспределение ВН и динамичные процессы миграции ТМ в контактной зоне вода–дно.

Ртуть, находящаяся в ДО на глубине более 2 см, как правило, не включается в биогеохимические процессы и трофические цепи водоемов. Поэтому предпринимается послойное исследование содержания химических элементов в ДО, т.к. только поверхностный слой активно влияет на гидробионты. Однако, в зависимости от гранулометрического состава и гидрологического режима, например во время паводков, может происходить размывание и перераспределение ДО. В этом случае возможна активизация биогеохимических процессов в “погребенных” слоях ДО.

#### **Содержание тяжелых металлов во влекомых наносах**

Одним из важных факторов, влияющих на формирование качества воды в р. Амур, является миграция влекомых наносов (ВН). Особый интерес представляет сравнение содержания ТМ в ВН, поступающих со стоком различных притоков р. Амур. Наибольшие концентрации всех исследованных ТМ характерны для ВН, поступающих с водами р. Буреи (табл. 4). На участке от устья р. Буреи до г. Хабаровска в ВН уменьшается содержание Cu (с 16 до 6,95 мг/кг) и Pb (с 14,6 до 8,2 мг/кг). При этом ниже устья р. Сунгари более высокое содержание Cu

(12,9 мг/кг) наблюдается только в составе ВН, отобранных у правого берега (т.е. поступающих со стоком р. Сунгари). Для наносов, отобранных у левого берега р. Амур ниже впадения р. Сунгари (т.е. поступающих с выше расположенных участков р. Амур), соответствующий показатель составляет 11,12 мг/кг. Содержание Pb в ВН у правого и левого берегов ниже устья Сунгари было практически одинаковым и составляло 11,3 и 11,5 мг/кг, соответственно.

Так же, как и в ДО, поведение Hg и Cd во влекомых наносах оказалось более сложным. На участке от устья р. Буреи до устья р. Сунгари концентрация Hg уменьшается с 0,14 до 0,032 мг/кг, а Cd – с 0,5 до 0,1 мг/кг. Ниже устья р. Сунгари содержание Hg в наносах у правого берега заметно превышает соответствующий показатель для наносов, отобранных у левого берега (0,075 мг/кг и 0,032 мг/кг соответственно). Причем содержание Hg в ВН вдоль правого берега сохраняется на достаточно высоком уровне (0,075–0,077 мг/кг) фактически до г. Хабаровска. Несмотря на то, что в поверхностных слоях ДО возле правого берега ниже устья р. Сунгари Cd не обнаружен, его довольно высокое содержание отмечается во влекомых наносах (0,2 мг/кг). По направлению к г. Хабаровску концентрация Cd в составе ВН увеличивается с 0,2 до 0,35 мг/кг, что может свидетель-

ствовать о его сорбции ВН после их выхода из р. Сунгари в ходе миграции по основному руслу р. Амур.

Проведенные исследования показали, что вода и донные отложения экосистемы р. Амур обогащены отдельными токсичными элементами, но уровень содержания некоторых из них был довольно низким по сравнению с водными объектами, испытывающими интенсивное антропогенное воздействие в других регионах (табл. 5). Однако содержание таких токсичных элементов, как Hg и Cd оказалось достаточно высоким. Согласно полученным данным, в качестве основного источника поступления Hg выступают р. Бурей и вновь созданное Бурейское водохранилище. Среди доминирующих ТМ, обнаруженных возле правого берега ниже устья р. Сунгари, следует назвать Fe, Cu, Mn, Ni и Co.

#### ВЫВОДЫ

1. В летний период со стоком р. Сунгари в амурские воды поступают Fe, Cu, Mn, Ni и Co. Самые высокие концентрации Ni обнаружены в поверхностных водах возле правого берега и на середине реки. Его количество сохраняется на всем протяжении реки вдоль правого берега до г. Фуюань. Доминирующими элементами, поступающими с водами рек

**Таблица 4. Содержание токсичных элементов в составе влекомых наносов в реках Бурей и Амур.**

Станция	№ пробы	Содержание тяжелых металлов, мг/кг сухого вещества			
		Cu	Pb	Hg	Cd
устье р. Буреи	7	16,00	14,60	0,140	0,50
р. Амур ниже устья р. Сунгари вблизи левого берега	13	11,12	11,50	0,032	0,10
р. Амур ниже устья р. Сунгари вблизи правого берега	16	12,90	11,30	0,075	0,20
р. Амур выше г. Хабаровска вблизи правого берега	21	6,95	8,20	0,077	0,35

**Таблица 5. Сводная таблица средних значений концентраций тяжелых металлов в донных отложениях различных водных экосистем.**

Место отбора проб	Содержание тяжелых металлов, мг/кг сухого вещества			
	Cu	Pb	Hg	Cd
Братское водохранилище [7]	30	20	0,23	-
Новосибирское водохранилище [13]	31,1	19,2	0,064	0,07
Верхняя Волга, фон [1]	35	19	-	-
Р. Амур [10]	23	20	0,18	0,1
Р. Амур [15]	14,3	70,9	0,1	-
Устье р. Зеи (2005 г.)	2,67	2,52	0,044	0,1
Устье р. Буреи (2005 г.)	13,03	10,36	0,070	0,35
Р. Амур, ниже устья р. Сунгари (2005 г.)	7,92	8,03	0,040	0,12
Р. Амур, выше г. Хабаровска (2005 г.)	5,61	6,55	0,034	0,11

Зея и Бурея, являются Fe, Zn, Pb и Cu. Содержание Fe в устьевых зонах левобережных притоков было в 10 раз меньше, чем в воде, распространяющейся вдоль правого берега ниже устья р. Сунгари. Содержание Pb в водах рек Зея и Бурея было в 3–4 раза ниже, чем в сунгарийских водах, распространяющихся вдоль правого берега. В воде устья р. Зеи была установлена максимальная концентрация Zn (0,0065 мг/л). Средняя концентрация этого элемента в зоне влияния р. Сунгари в поверхностных и придонных водах составляла около 0,0022 мг/л.

2. В результате динамического перераспределения ТМ между взвесями, донными отложениями и водной средой ниже по течению вновь происходит увеличение в воде концентрации Zn. Так, в 5 км выше г. Хабаровска максимальные концентрации Zn (0,0063 мг/л и 0,0065 мг/л) отмечены в поверхностных водах возле правого берега и на середине реки. Содержание Cd в пробах воды на обследованном участке г. Благовещенск–г. Хабаровск было ниже пределов обнаружения (0,0002 мг/л).

3. Взвешенные вещества, поступающие со стоком р. Сунгари, распространяются вдоль правого берега и до середины реки. Возле левого берега вода по своему качеству соответствует амурским водам, поступающим с выше расположенных участков. На участке от устья р. Сунгари до г. Фуюань происходит интенсивное оседание ВВ. Есть основание полагать, что качественное и количественное содержание ТМ, обнаруженных в ДО р. Амур ниже устья р. Сунгари возле правого берега, определяется составом сунгарийских взвесей.

4. Максимальные концентрации Cd обнаружены в ДО и влекомых наносах в устье р. Буреи (0,55–0,60 мг/кг). В устье р. Зеи содержание Cd в ДО было низким. Только в присутствии автотрофных организмов отмечено повышение содержания Cd (0,20 мг/кг). Ниже устья р. Сунгари вдоль правого берега содержание Cd в ДО практически не изменялось до г. Хабаровска и составляло 0,15–0,20 мг/кг.

5. Ниже устья р. Сунгари содержание Hg в наносах у правого берега заметно превышает соответствующий показатель для наносов, отобранных у левого берега (0,075 мг/кг и 0,032 мг/кг, соответственно). Причем содержание Hg в ВН вдоль правого берега сохраняется на достаточно высоком уровне (0,075–0,077 мг/кг) фактически до г. Хабаровска.

6. В донных отложениях устьевых зон рек Бурея и Зея происходит накопление Hg, а также существуют предпосылки ее перехода в более токсичную форму. Полученные данные свидетельствуют о том, что присутствует определенный экологический риск ртутного загрязнения экосистемы р. Амур со стоком р. Буреи.

Необходимы расширенные исследования всех компонентов экосистемы р. Буреи, включая Бурейское водохранилище, для оценки возможности возникновения ртутной проблемы, ее вероятных масштабов и временной продолжительности в Приамурье.

Авторы выражают глубокую признательность ведущему научному сотруднику Тихоокеанского океанологического института им. В.И. Ильичева ДВО РАН О.В. Дудареву за ценные рекомендации при подготовке статьи.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бреховских В.Ф., Волкова З.В., Кирпичникова Н.В. и др. Особенности накопления тяжелых металлов в донных отложениях и высшей растительности заливов Иваницкого водохранилища // Водные ресурсы. 2001. Т. 28, № 4. С. 441–447.
2. Васильев О.Ф., Сухенко С.А. Об экологическом риске при создании Катунского водохранилища в связи с наличием ртутных аномалий на площади водосборного бассейна // Гидротехническое строительство. 1993. № 10. С. 9–11.
3. Гусева Т.М., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф. и др. Исследование донных отложений как метод оценки антропогенной нагрузки на водные экосистемы // Вопросы региональной экологии: Тезисы докладов IV-й региональной научно-технической конференции 22–23 июня 2000 года. Тамбов: Изд-во ТГУ им. Г.Р. Державина, 2000. С. 83–84.
4. Даувальтер В.А. Концентрации металлов в донных отложениях закисленных озер // Водные ресурсы. 1998. Т. 25, №3. С. 358–365.
5. Ивашов П.В., Сиротский С.Е. Тяжелые металлы в биообъектах водных экосистем бассейна р. Амур // Геолого-геохимические и биогеохимические исследования на Дальнем Востоке. Владивосток: Дальнаука, 1998. С. 49–59.
6. Ивашов П.В., Сиротский С.Е., Неудачин А.П. и др. Миграция и накопление тяжелых металлов в растениях техногенных экосистем в окрестностях рудника “Многовершинный” // Геохимические и биогеохимические процессы в экосистемах Дальнего Востока. Вып. 9. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 120–128.
7. Карнаухова Г.А. Гидроэкология: степень загрязнения Братского водохранилища тяжелыми металлами // Инженерная экология. 2001. № 4. С. 15–24.
8. Кот Ф.С. Тяжелые металлы в донных отложениях Среднего и Нижнего Амура // Биогеохимические и экологические оценки техногенных экосистем бассейна реки Амур. Владивосток: Дальнаука, 1994. 123–135.
9. Кот Ф.С. Биогеохимия рассеянных металлов в ландшафтах бассейна Нижнего Амура: природный фон и антропогенный фактор // Исследования водных и экологических проблем Приамурья. Владивосток–Хабаровск: Дальнаука, 1999. С. 87–90.
10. Кот Ф.С. Рассеянные металлы в донных отложениях р. Амур и зоны смешения в Охотском море. Оценка антропогенной составляющей // Геохимические и биогеохимические процессы в экосистемах Дальнего Востока. Вып. 9. Владивосток: Дальнаука, 1999. С. 80–91.

11. Кот Ф.С., Матюшкина Л.А., Рапопорт В.Л. и др. К формам ртути в природных и городских почвах Среднего Амура // Биогеохимические и гидроэкологические особенности экосистем бассейна р. Амур. Вып. 11. Владивосток: Дальнаука, 2001. С. 119–130.
12. Леонова Г.А., Бадмаева Ж.О., Ильина В.Н. и др. Биогеохимическая индикация антропогенной химической трансформации водных экосистем бассейна р. Обь // Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби. Томск: Изд-во "РАСКО", 2002. С. 136–156.
13. Леонова Г.А., Аношин Г.Н., Бычинский В.А., Биогеохимические проблемы антропогенной химической трансформации водных экосистем // Геохимия. 2005. № 2. С. 182–196.
14. Лопатко А.С., Карандашов А.И., Юдина И.М. и др. Состав воды Зейского водохранилища спустя 30 лет с начала его заполнения // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Дружининские чтения, вып. 2). Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. С. 69–71.
15. Механизмы образования токсичных соединений, вызывающих загрязнение воды и отравление рыбы в нижнем течении реки Амур / Научный отчет. Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 1999. 132 с.
16. Моисеенко Т.И., Даувальтер В.А., Родюшкин И.В. Механизмы круговорота природных и антропогенно привнесенных металлов в поверхностных водах арктического бассейна // Водные ресурсы. 1998. Т. 25, № 2. С. 231–243.
17. Новороцкая А.Г. Влияние топливно-энергетического комплекса на химию снежного покрова // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Дружининские чтения, вып. 2). Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. С. 193–196.
18. Попов А.Н., Пермяков В.В., Браяловская В.Л. Влияние донных отложений на качество воды // ЭКВАТЕК-2002: Материалы V междунар. конгр. "Вода: Экология и Технология". М., 2002. С. 20–21.
19. Савенко А.В. Экспериментальное изучение сорбции Hg на минеральных взвесах в зоне смешения речных и морских вод // Водные ресурсы, 2000. Т. 27, № 6. С. 755–758.
20. Сухенко С.А. О возможности метилирования и биоаккумуляции ртути в водохранилище проектируемой Катунской ГЭС // Водные ресурсы. 1995. Т. 22, №1. С. 78–84.
21. Сухенко С.А. Ртуть в водохранилищах: новый аспект антропогенного загрязнения биосферы: Аналитич. обзор / ГПНТБ СО РАН, сер. "Экология", вып. 36. Новосибирск: ИВЭП СО РАН, 1995. 59 с.
22. Хавезов И., Цалёв Д. Атомно-абсорбционный анализ / Пер. с болг. Л.: Химия, 1983. 144 с.
23. Шаров Л.А., Анойкин В.И. Комплект картографических материалов масштаба 1:500000 для организации и ведения социально-экологического мониторинга в зоне влияния Бурейского гидроузла // Научные основы экологического мониторинга водохранилищ: Материалы Всерос. науч.-практ. конф. (Дружининские чтения, вып. 2). Хабаровск: ИВЭП ДВО РАН, 2005. С.20–23.
24. Berman M., Bartha R. Levels of chemical versus biological methylation of mercury in sediments // Bull. Environ. Contam. Toxicol., 1986. V. 36, N 3. P.401–404.
25. Cooper J.J. Total mercury in fishes and selected biota in Lahontan reservoir, Nevada // Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1983. V.31, N 1. P. 9–17.
26. Evolution of mercury levels in fish of the La Grande hydroelectric complex, Quebec (1978–1989) // Summary report of Hydro-Quebec and Shoener. Montreal (Canada), 1990. 98 p.
27. Jackson T.A. Biological and environmental control of mercury accumulation by fish in lakes and reservoirs of northern Manitoba // Canad. J. Fish. Aquat. Sci. 1991. V. 48, N 12. P. 2449–2470.

Поступила в редакцию 7 марта 2006 г.

Рекомендована к печати Б.А. Вороновым

*L.M. Kondratyeva, V.S. Kantsyber, V.E. Zazulina, L.S. Bokovenko*

### **The influence of the chief tributaries of the Amur River on the concentration of heavy metals in the water and bottom sediments**

The results of the study of heavy metal concentrations in the water and bottom sediments of the Amur River in the regions affected by the three main tributaries flow are presented in the paper. The watershed of the two of them (the Zeya and Bureya rivers) is located on left bank of the Amur River in the Russian territory. The watershed of the third tributary (the Songhua River) is located on right bank of the Amur River in the densely populated area of the People's Republic of China. The flows of the Zeya and Bureya rivers supplied the Amur river mainly with Fe, Zn, Cu, and Pb. High concentrations of Fe, Mn, Ni and Co were registered in the water near the right bank of the Amur River in the zone maximally affected by the Songhua River. Increased concentrations of toxic elements were noted in the upper layers of the bottom sediments sampled in the mouth of the Bureya River (mg/kg): Pb – 15.5; Hg – 0.067; Cd – 0.6. According to investigation results, the level of heavy metals pollution in the bottom sediments in the zone affected by the Songhua River, in spite of a variety of toxic elements supplied by the river, was considerably less than in the bottom sediments sampled in the mouth of the Bureya River. Cu, Pb and Cd concentrations in the bottom sediments in the mouth of the Zeya River were minimal. Maximal concentrations of mercury were noted in a 10-15 cm layer of the bottom sediments (0.093 mg/kg) and bed load (0.14 mg/kg) in the mouth of the Bureya River.

**Key words:** water, bottom sediments, heavy metals, the Amur, the Songhua, the Zeya, the Bureya.