УДК 626.80 (571.621)

АНАЛИЗ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛЫХ РЕК, ПОДВЕРЖЕННЫХ ВЛИЯНИЮ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ МЕЛИОРАЦИИ, НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕАМУРСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

Зубарев Виталий Александрович,
мл. науч. сотр. лаборатории региональной геоэкологии
Института комплексного анализа региональных проблем ДВО РАН,
Россия, 679000, ЕАО, г. Биробиджан, ул. Шолом-Алейхема, 4.
E-mail: Zubarev_1986@mail.ru

Актуальность работы обусловлена необходимостью оценка экологического состояния водотоков по изменению тяжелых металлов в донных отложениях в малых реках, которые вследствие способности к аккумуляции различных поллютантов с территории водосбора в течение длительного промежутка времени могут служить индикатором экологического состояния пойменно-русловых комплексов и интегральным показателем степени загрязнения поверхностных водотоков.

Цель работы: *оценка экологического состояния водотоков по изменению тяжелых металлов в донных отложениях в малых реках, подверженных влиянию мелиорации на территории Среднеамурской низменности, по сравнению с фоновыми значениями и в течение сельскохозяйственного сезона.*

Методы исследования: *метод атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрометре «Solaar 6M» и расчет суммарных коэффициентов загрязнения донных отложений в водотоках.*

Результаты: *в ходе работы выявлено, что в водотоках содержание тяжелых металлов в донных отложениях в фоновых точках значительно различаются друг от друга, и концентрация природных поллютантов на несколько порядков выше, чем природно-антропогенных. Наибольшие суммарные коэффициенты загрязнения имеют донные отложения, отобранные в фоновых точках, когда наблюдалась значительная миграция тяжелых металлов из затопленных пойменных почв. В исследуемых точках на снижение суммарного коэффициента загрязнения донных отложений, по сравнению с фоном, влияет увеличение водности, вследствие суммарного действия поверхностного и дренажного стоков. Осушительная сельскохозяйственная мелиорация оказывает непосредственное действие на донные отложения, при этом они могут превращаться в источник вторичного загрязнения поверхностных вод.*

Ключевые слова:
Донные отложения, осушительная мелиорация, тяжелые металлы, малые водотоки, Среднеамурская низменность.

Хозяйственное освоение Среднеамурской низменности характеризуется, прежде всего, развитием сельскохозяйственного производства, и приоритетным направлением для получения высоких и устойчивых урожаев в сложных почвенно-климатических условиях является проведение осушительных работ на тяжелых по механическому составу, переувлажненных почвах [1]. Например, на равнинной части Еврейской автономной области (ЕАО) насчитывается более 5000 поверхностных водотоков, некоторые из них, в основном малые, используются как водоприемники мелиоративных стоков, при этом возможно изменение качества воды вследствие различных процессов, связанных с гидрологическим режимом и смывом поллютантов с почвенных горизонтов осушаемых массивов.

Малые реки имеют большое экологическое значение, являются основой гидрографической сети, формируют сток больших водотоков, определяют качество их вод, и при этом они очень чувствительны к различным видам антропогенной нагрузки и отвечают на нее негативными изменениями, которые ухудшают или ограничивают водопользование [2]. Формирование качества воды в них может быть обусловлено непосредственным (сброс сточных вод) и опосредованным (осушение, орошение, вырубка лесов, распашка) влиянием антропогенных источников, расположенных на данной территории, и ландшафтными особенностями конкретных водосборных бассейнов [3].

Для оценки возможного антропогенного воздействия на речные экосистемы необходимо знать не только концентрацию и формы нахождения тяжелых металлов в водной толще, но и содержание загрязняющих веществ в донных отложениях и пойменных почвах. Поэтому нами ранее было проведено исследование влияния осушительных мелиоративных работ на качество поверхностных вод и пойменных почв [4, 5], поскольку дренажные и поверхностные воды выносят из почв различные химические соединения, поступающие в водотоки, оседающие в донных отложениях, при этом часть соединений может аккумулироваться, а часть вымываться из них, вторично загрязняя поверхностные воды. Одним из наиболее информативных объектов исследований в этой цепочке могут являться донные отложения (ДО) [6], которые вследствие способности к аккумуляции различных поллютантов с территории водосбора в течение длительного промежутка времени могут служить индикатором экологического состояния пойменно-русловых комплексов и интегральным показателем степени загрязнения поверхностных водотоков. Наибольший интерес вызывает уровень содержания в них токсичных тяжелых металлов (ТМ) таких как свинец, медь, железо, цинк, ртуть, кадмий, и ряд других, концентрации которых регламентированы санитарно-гигиеническими нормативами. Особенностью ТМ является их способ-

ность накапливаться в донных отложениях, превращая их в потенциальный источник вторичного загрязнения водоёма, этот процесс наблюдается, когда ранее перешедшие из воды загрязняющие вещества в результате изменения различных физико-химических процессов (pH, Eh, биохимические реакции и т. д.) могут переходить из ДО в воду, вновь загрязняя ее [7]. Активно включаясь в миграционные циклы, ТМ аккумулируются в различных компонентах водных экосистем [8], причем особая опасность заключается в том, что, в отличие от токсикантов органической природы, в большей или меньшей степени разлагающихся в природных водах, металлы стабильны и изменяют только формы нахождения в них.

Исследования содержания ТМ только в поверхностных водах не всегда дают возможность полноценно охарактеризовать загрязнение пойменно-руслового комплекса. Как правило, концентрации в воде ТМ ниже предельно-допустимых концентраций (ПДК) для питьевого водоснабжения, что во многом определяется их быстрым переходом из растворенного во взвешенное состояние. Речные наносы, обладая высокой сорбционной способностью (особенно мелкие фракции) в процессе своего перемещения и отложения в русле реки, накапливают весь комплекс химических элементов, присутствующих в воде, поэтому целью данной работы является оценка экологического состояния водотоков по изменению тяжелых металлов в донных отложениях в малых реках, подверженных влиянию мелиорации на территории Среднеамурской низменности, по сравнению с фоновыми значениями и в течение сельскохозяйственного сезона.

Основные районы проведения осушительных работ расположены в поймах малых рек, которые питают средние левобережные притоки р. Амур. На основе картографических данных выделены районы малых водотоков: Ульдура, Грязнушка, Вертопрашиха, Солонечная, Осиновка (рис. 1), в которые поступают поверхностные воды, и дренажные стоки из отводных каналов осушительных мелиоративных систем по магистральным отводящим каналам. Пробы были отобраны во время полевых работ в 2009–2011 гг., которые отличались погодными условиями весенне-летних периодов, влияющих на затопление пойм: все исследуемые поймы подвергались периодическому затоплению в 2010 и 2011 гг., и постоянному затоплению в 2009 г.

Отбор проб производился выше и ниже районов проведения мелиоративных работ на каждом водотоке по ГОСТ 17.1.5.01–80, весной ($C_{fв}$ и $C_{iв}$) и осенью ($C_{fо}$ и $C_{iо}$). Первые из них считались фоновыми (C_f), а вторые – исследуемыми (C_i).

Из группы тяжелых металлов выбраны типичные для Буреинской ландшафтно-геохимической провинции железо и марганец, и характерные антропогенные загрязнители данной территории: медь, никель, кобальт, свинец и цинк, обладающие различными физико-химическими, биохимическими и токсикологическими свойствами.

Пробоподготовка образцов проводилась по стандартным методикам [9]. В каждой пробе определялось содержание водорастворимых форм ТМ

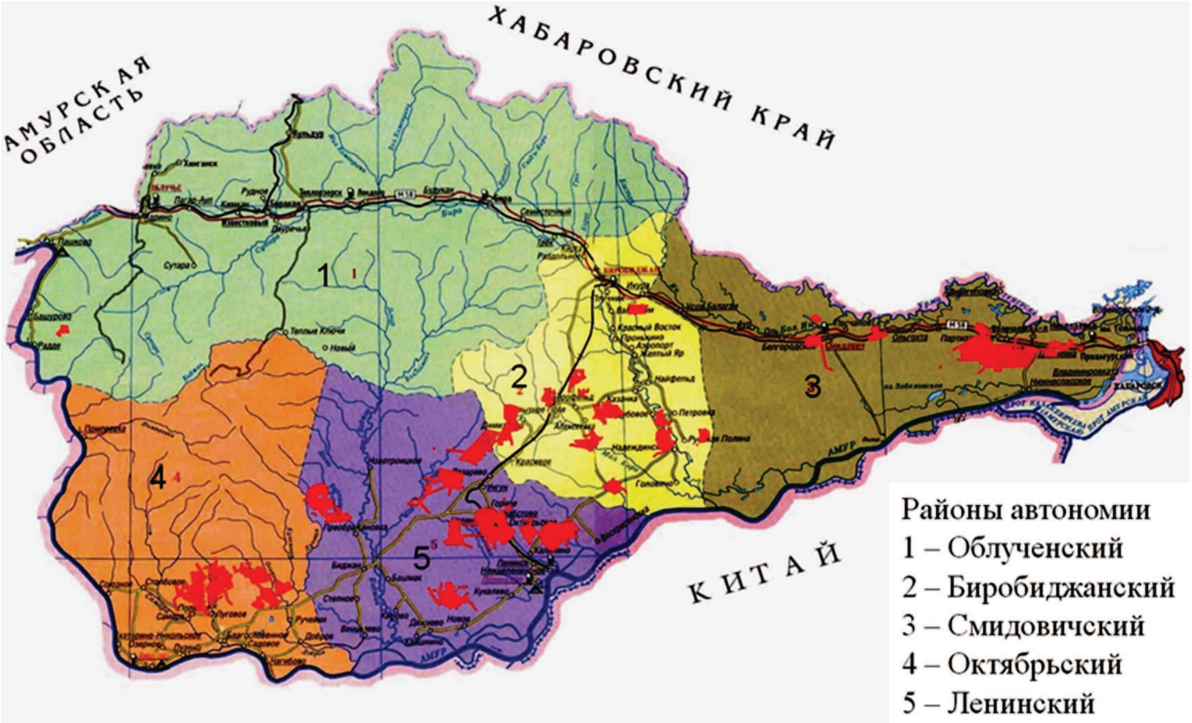

Рис. 1. *Районы проведения осушительных мелиорационных работ на малых водотоках в Еврейской автономной области*

методом атомно-абсорбционной спектрометрии на спектрометре «Solaar 6M» [10].

Для анализа поэлементного техногенного загрязнения рассчитан показатель накопления (ПН) [11], который основан на нормировании приращения содержания каждого из поллютантов к фону:

$$ПН = \frac{C_i - C_f}{C_f}, \quad (1)$$

где C_i – концентрация ТМ в донных отложениях в исследуемой точке; C_f – концентрация ТМ в фоновой точке на том же водотоке.

Для анализа суммарного техногенного воздействия рассчитан суммарный коэффициент загрязнения:

для фоновых (Z_{cf})

$$Z_{cf} = \Sigma(K_c) - (n-1), \quad (2)$$

где K_c – коэффициент загрязнения;

$$K_c = C_{f0}/C_{fв}, \quad (3)$$

исследуемых (Z_{ci}) точек

$$Z_{ci} = \Sigma(K_c) - (n-1), \quad (4)$$

где

$$K_c = C_{i0}/C_{iв}. \quad (5)$$

В ДО региональное содержание ТМ и процессы их переноса и аккумуляции для фоновых точек неизвестны, поэтому предварительно был проведен анализ изменения их химического состава (табл. 1).

Как видно из данных, приведенных в табл. 1, во всех водотоках содержание ТМ в ДО в фоновых точках значительно отличается друг от друга, концентрация природных поллютантов на несколько порядков выше, чем природно-антропогенных. Так, в весенний период наибольшие концентрации (мг/кг) Fe (26,0), Mn (9,0), Cu (4,0), Pb (0,8) и Zn (0,14) обнаружены в донных отложениях р. Грязнушка; Ni (0,9) – в р. Ульдура; и Co (0,9) – в р. Солонечная. К осени происходит снижение концентрации ТМ практически во всех донных отложениях, но в р. Вертопрашиха содержание Fe увеличивается в 2 раза. Возможно, это детерминируется различными типами почв, уклонами русел, скоростями течения и интенсивностью поверхностного и подземного стоков в различные временные периоды, и физико-химическими свойствами самих элементов. Так, поймы р. Ульдура и Грязнушка относятся к подзолисто-буроземным глинистым и суглинистым, р. Вертопрашиха и Солонечная – к лугово-глинистым, р. Осиновка – к лугово-болотным типам почв с глинистыми фракциями, миграция ТМ с которых зависит от прочности их связи с почвенными комплексами.

Переменный характер химического состава ДО в фоновых точках определяет необходимость синхронного отбора проб в них и в исследуемых точках для проведения сравнительного анализа влияния дренажных вод с мелиорированных систем на состояние водотоков.

В исследуемых точках в весенний период наибольшие концентрации Fe и Mn обнаружены в ДО р. Солонечная; Ni, Pb и Zn – в р. Ульдура; Cu – в р. Грязнушка; Co – в р. Вертопрашиха. К осени происходит изменение содержания ТМ: в р. Ульдура – снижение концентрации Fe в 1,5, Mn в 4 и Pb в 1,4 раза, в р. Грязнушка увеличивается концентрация Zn в 5, Fe, Mn и Pb в 2 раза, содержание Ni, Co и Cu снижается в 1,5 раз; в р. Вертопрашиха происходит снижение содержания Mn, Ni, Co, примерно в 4 раза, увеличение концентрации Zn в 7 раз; в р. Солонечной, Осиновка наблюдается снижение содержания практически всех поллютантов, кроме Zn (табл. 2).

***Таблица 1**. Фоновые концентрации водорастворимых форм тяжелых металлов в донных отложениях малых водотоков*

ТМ	Период	Водотоки				
		Ульдура	Грязнушка	Вертопрашиха	Солонечная	Осиновка
		Концентрация, мг/кг				
Fe	весна	7,0–24,0 / 14,6	6,0–26,0 / 14,4	6,0–11,0 / 9,0	4,0–18,0 / 9,6	5,0–28,0 / 14,5
	осень	6,0–11,0 / 8,6	3,0–21,0 / 12,0	4,0–57,0 / 22,0	3,0–6,0 / 5,0	2,0–10,0 / 7,0
Mn	весна	1,0–5,0 / 3,2	0,3–9,0 / 3,3	0,6–4,5 / 2,0	1,0–2,0 / 1,4	0,7–5,0 / 2,1
	осень	5,0–13,0 / 6,3	0,3–22,0 / 8,5	0,2–2,0 / 1,0	0,1–1,0 / 0,7	0,2–11,0 / 3,0
Ni	весна	0,2–0,9 / 0,5	0,2–0,6 / 0,4	0,3–0,7 / 0,4	0,2–0,5 / 0,4	0,3–0,5 / 0,3
	осень	0,1–0,2 / 0,1	0,4–1 / 0,5	0,1–0,4 / 0,2	0,1–0,3 / 0,2	0–0,3 / 0,2
Co	весна	0,2–0,6 / 0,4	0,1–0,8 / 0,5	0–0,7 / 0,4	0–0,9 / 0,4	0–0,8 / 0,4
	осень	0,2–0,4 / 0,3	0,2–0,5 / 0,3	0,2–0,3 / 0,2	0,1–0,2 / 0,2	0,1–0,3 / 0,2
Cu	весна	0,2–0,9 / 0,5	0,8–4 / 2,2	0–0,2 / 0,1	0,1–0,2 / 0,1	0,2–0,5 / 0,3
	осень	0–0,6 / 0,3	0–2 / 0,6	0–1 / 0,5	0–0,3 / 0,1	0–0,3 / 0,2
Pb	весна	0,2–0,5 / 0,3	0,1–0,8 / 0,4	0–0,5 / 0,3	0–0,2 / 0,1	0–0,1 / 0,1
	осень	0–0,4 / 0,3	0–0,7 / 0,3	0–0,3 / 0,2	0–0,2 / 0,1	0–0,1 / 0,1
Zn	весна	0,1–0,3 / 0,2	0,2–0,4 / 0,3	0–0,3 / 0,1	0–0,2 / 0,1	0–0,2 / 0,1
	осень	0,1–0,3 / 0,2	0,1–0,3 / 0,2	0,1–0,1 / 0,6	0,1–3 / 1,5	0,1–3 / 1,5

Примечание: числитель – минимальное и максимальное значение, знаменатель – среднее значение концентраций ТМ.

Для сравнения процессов концентрирования каждого из ТМ в исследуемых и фоновых точках, проведен анализ показателей накопления ПН по внутригодовым сезонам (рис. 2)

Показатели накопления, как весной, так и осенью, в основном имеют отрицательные значения, т. е. в исследуемых точках по сравнению с фоновыми превалируют процессы миграции ТМ из ДО в воду; положительные значения ПН (седиментация) характерны только для весенних периодов в р. Солонечной для Fe, Cu и Mn, в р. Ульдура для Zn; осенью в р. Грязнушка для Fe и Zn и в р. Ульдура для Ni (рис. 2). Такие процессы могут быть связаны с различным изменением pH воды в водо-

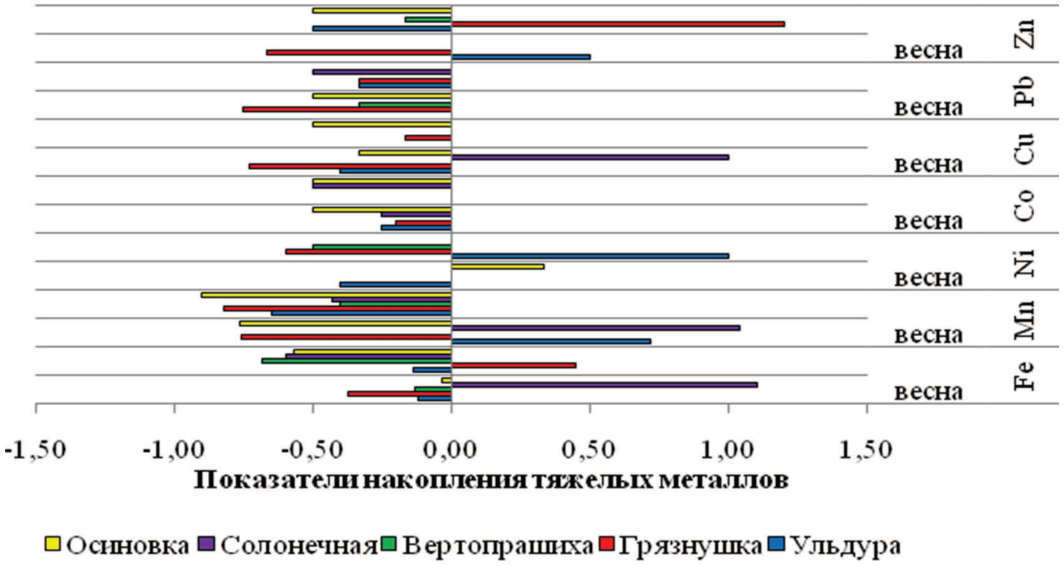

Рис. 2. *Показатели накопления тяжелых металлов в донных отложениях*

токах в зонах мелиорации, которое может влиять на соотношение гидроксоформ ТМ.

Таблица 2. *Концентрации водорастворимых форм тяжелых металлов в донных отложениях малых водотоков в исследуемых точках*

ТМ	Период	Водотоки				
		Ульдура	Грязнушка	Вертопрашиха	Солонечная	Осиновка
		Концентрация, мг/кг				
Fe	весна	6,0–21,0 / 12,8	6,0–12,0 / 9,0	4,0–1,0 / 7,8	6,0–57,0 / 25,0	10,0–18,0 / 14,0
	осень	7,0–12,0 / 9,8	10,0–25,0 / 17,4	2,0–13,0 / 7,0	4,0–11,0 / 8,0	5,0–16,0 / 11,0
Mn	весна	4,0–6,0 / 5,5	0,2–2,0 / 0,8	0,4–5,0 / 2,0	1,0–7,0 / 0,30	0,02–0,1 / 0,05
	осень	0,3–5,0 / 2,2	3,0–4,0 / 3,5	0,4–1,0 / 0,6	0,3–1,0 / 1,0	0,1–0,5 / 0,3
Ni	весна	0,1–0,6 / 0,3	0,2–0,5 / 0,4	0,2–0,5 / 0,4	0,3–0,5 / 0,4	0,2–0,5 / 0,4
	осень	0–0,6 / 0,3	0–0,5 / 0,2	0–0,1 / 0,05	0–0,4 / 0,2	0–0,4 / 0,2
Co	весна	0,1–0,7 / 0,3	0,1–0,8 / 0,4	0–0,9 / 0,4	0–0,9 / 0,3	0–0,5 / 0,2
	осень	0,2–0,5 / 0,3	0,2–0,4 / 0,3	0,1–0,4 / 0,2	0–0,3 / 0,1	0,1–0,2 / 0,1
Cu	весна	0,1–0,6 / 0,3	0,1–1 / 0,6	0–2 / 0,5	0–0,5 / 0,3	0–0,5 / 0,2
	осень	0–0,6 / 0,3	0–1 / 0,5	0–0,2 / 0,1	0–0,4 / 0,1	0–0,4 / 0,1
Pb	весна	0,1–0,6 / 0,3	0,1–0,2 / 0,1	0–0,6 / 0,3	0–0,1 / 0,05	0–0,2 / 0,1
	осень	0–0,3 / 0,2	0–0,3 / 0,2	0–0,4 / 0,2	0–0,1 / 0,1	0–0,2 / 0,1
Zn	весна	0,2–0,4 / 0,3	0,1–0,2 / 0,1	0–0,2 / 0,1	0–0,3 / 0,1	0–0,2 / 0,1,0
	осень	0,2–0,4 / 0,3	0,2–1 / 0,5	0,1–1 / 0,7	0–3,0 / 1,0	0,1–4,0 / 1,5

Примечание: числитель – минимальное и максимальное значение, знаменатель – среднее значение концентраций ТМ.

Оценка изменения экологического состояния донных отложений в течение сезона мелиорации проведена на основе суммарного коэффициента загрязнения (табл. 3).

Таблица 3. *Суммарный коэффициент загрязнения донных отложений малых водотоков*

Водотоки	Год					
	2009		2010		2011	
	Суммарный коэффициент загрязнения					
	Фоновая точка (Z_{cf})	Исследуемая точка (Z_{ci})	Фоновая точка (Z_{cf})	Исследуемая точка (Z_{ci})	Фоновая точка (Z_{cf})	Исследуемая точка (Z_{ci})
Ульдура	0,69	1,32	2,69	1,11	1,17	0,64
Грязнушка	7,06	2,98	3,42	3,06	2,10	1,70
Вертопрашиха	18,89	10,58	4,84	2,58	3,39	5,20
Солонечная	16,33	7,05	2,54	2,93	1,60	2,19
Осиновка	38,09	12,91	4,03	0,83	1,39	0,65

Наибольшие суммарные коэффициенты загрязнения имеют донные отложения, отобранные в фоновых точках, особенно в 2009 г., когда наблюдалась значительная миграция ТМ из затопленных пойменных почв [12]. В исследуемых точках на снижение коэффициента Z_{ci} по сравнению с Z_{cf}, влияет уменьшение концентрации поллютантов (табл. 2), причиной которых может быть увеличение водности вследствие суммарного действия поверхностного и дренажного стоков.

Таким образом, проведенные исследования показали, что во всех водотоках содержание тяжелых металлов в донных отложениях значительно отличаются друг от друга, концентрация природных поллютантов на несколько порядков выше, чем природно-антропогенных. Возможно, это детерминируется различными типами почв, уклонами русел, скоростями течения и интенсивностью поверх-

ностного и подземного стоков в различные временные периоды, и физико-химическими свойствами самих элементов. Вследствие стока дренажных вод с осушаемого массива, особенно в период обильного выпадения атмосферных осадков, происходит увеличение водности суммарного действия поверхностных и дренажных вод, приводящее к интенсивному извлечению тяжелых металлов из донных отложений, при этом они могут превращаться в источник вторичного загрязнения поверхностных вод.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воронов Б.А., Махинов А.Н. Современное состояние водных ресурсов Дальнего Востока и их антропогенное преобразование // 100-летие Камчатской экспедиции Русского географического общества 1908–1910 гг.: Матер. Всеросс. науч. конф. – Петропавловск-Камчатский, 2008. – С. 54–63.
2. Калинин В.М., Ларин С.И., Романова И.М. Малые реки в условиях антропогенного воздействия. – Тюмень: ТюмГУ, 1998. – 220 с.
3. Беляев С.Д. Использование целевых показателей качества воды при планировании водохозяйственной деятельности // Водное хозяйство России. – 2007. – № 3. – С. 3–17.
4. Зубарев В.А., Коган Р.М. Влияние осушительной мелиорации на процессы миграции тяжелых металлов в системе почва – вода – донные отложения // Проблемы агрохимии и экологии. – 2010. – № 3. – С. 29–33.
5. Аношкин А.В., Зубарев В.А. Трансформация пойменно-русловых комплексов рек Среднеамурской низменности в условиях мелиорации // География и природные ресурсы. – 2012. – № 2. – С. 82–86.
6. Кужина Г.Ш., Янтурин С.И. Исследование загрязнения тяжелыми металлами донных отложений верхнего течения р. Белой // Вестник ОГУ. – 2009. Октябрь. Специальный выпуск. – С. 84–86.
7. Отмахов В.И. Методика оценки экологической безопасности водного бассейна по загрязнению донных отложений // Известия Томского политехнического университета. – 2003. – Т. 306. – № 6. – С. 39–41.
8. Третьякова Е.И., Папина Т.С., Эйрих А.Н. Влияние сульфидной фракции на поведение тяжелых металлов в донных отложениях // Ползуновский вестник. – 2008. – № 1–2. – С. 144–147.
9. ГОСТ 17.4.4.02–84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: Стандартинформ, 1985. – 8 с.
10. Федоров А.С. Устойчивость почв к антропогенным воздействиям. – СПб.: Изд-во СПбГУ, 2008. – 204 с.
11. Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях Верхней Волги / В.И. Косов, Г.Н. Иванов, В.В. Левинский, Е.В. Ежов // Водные ресурсы. – 2001. – Т. 28. – № 4. – С. 448–453.
12. Зубарев В.А. Исследование содержания тяжелых металлов в пойменных почвах районов проведения сельскохозяйственной осушительной мелиорации (на примере Еврейской автономной области) // Региональные проблемы. – 2012. – № 15 (1). – С. 63–68.

Поступила 26.07.2013 г.

UDC 626.80 (571.621)

ANALYSIS OF HEAVY METAL IN BOTTOM DEPOSITS OF SMALL RIVERS EFFECTED BY AGRICULTURAL RECLAMATION ON SREDNEAMURSKAYA LOWLAND

Vitaly A. Zubarev,
Federal state budgetary establishment of science – Institute for complex analysis of regional problems of the Russian Academy of Sciences, Far Eastern branch (ICARP FEB RAS), Russia, Jewish Autonomous Region, 679000, Birobidzhan, Sholom-Aleykhem street, 4. E-mail: Zubarev_1986@mail.ru

The relevance of the work is caused by the need to assess the ecological status of watercourses by the change of heavy metals in sediments of small rivers which can serve as an indicator of ecological state of floodplain-channel complexes and the integral indicator of water surface pollution degree because of potential for accumulation of various pollutants in the catchment area for a long period of time.
The main aim of the study *is the assessment of the environmental status of watercourses by the change of heavy metals in sediments of small rivers effected by reclamation in Sredneamurskaya lowland, compared with the baseline values, and during the growing season.*
The methods used in the study*: atomic absorption spectrometry on the spectrometer «Solaar 6M» and calculation of total fertility contamination of sediments in streams.*
The results: *The authors have found out that the content of heavy metals in sediments in the background points differ significantly from each other, and the concentration of natural pollutants is higher by several orders of magnitude than the natural and man-made ones. The bottom sediments selected from points in the background when there was a significant migration of heavy metals from flooded floodplain soils have the highest coefficients of total pollution. In the points investigated the total water content influences due to the coefficient of surface and drainage runoff the decrease of concentration of sediment pollution in comparison with the background. Agricultural drainage reclamation has a direct effect on bottom sediments; the latter can turn into a source of secondary pollution of surface waters.*

Key words:
Sediments, drainage reclamation, heavy metals, small watercourses, Middle Amur lowland.

REFERENCES

1. Voronov B.A., Makhinov A.N. Sovremennoe sostoyanie vodnykh resursov Dalnego Vostoka i ikh antropogennoe preobrazovanie [Current state of water resources of the Far East and their anthropogenic transformation]. *100-letie Kamchatskoy ekspeditsii Russkogo geograficheskogo obshchestvava 1908–1910 gg. Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii* [The one hundred anniversary of expedition of Russian geographical society to Kamchatka in 1908–1910. Proc. All-Russian scientific conference]. Petropavlovsk-Kamchatskiy, 2008. pp. 54–63.
2. Kalinin V.M., Larin S.I., Romanova I.M. *Malye reki v usloviyakh antropogennogo vozdeystviya* [Small rivers under anthropogenic impact]. Tyumen, TyumGU, 1998. 220 p.
3. Belyaev S.D. Ispolzovanie tselevykh pokazateley kachestva vody pri planirovanii vodokhozyaystvennoy deyatelnosti [Using the water quality targets in the planning of water management]. *Vodnoe hozyaystvo Rossii*, 2007, no. 3, pp. 3–17.
4. Zubarev V.A., Kogan R.M. Vliyanie osushitelnoy melioratsii na protsessy migratsii tyazhelykh metallov v sisteme pochva–voda–donnye otlozheniya [Influence of amelioration on migration of heavy metals in the soil–water–sediment system]. *Problemy agrokhimii i ekologii*, 2010, no. 3, pp. 29–33.
5. Anoshkin A.V., Zubarev V.A. Transformatsiya poymenno-ruslovykh kompleksov rek Sredneamurskoy nizmennosti v usloviyakh melioratsii [Transformation of floodplain-channel complexes of Sredneamurskaya lowland rivers under reclamation]. Geografiya i prirodnye resursy, 2012, no. 2, pp. 82–86.
6. Kuzhina G.Sh., Yanturin S.I. Issledovanie zagryazneniya tyazhelymi metallami donnykh otlozheniy verkhnego techeniya r. Beloy [Investigation of heavy metal contamination of sediments of the upper reaches of the river Balaya]. *Vestnik OGU*, 2009, October, Special Iss., pp. 84–86.
7. Otmakhov V.I. Metodika otsenki ekologicheskoy bezopasnosti vodnogo basseyna po zagryazneniyu donnykh otlozheniy [Methodology to evaluate the environmental safety of the water basin for sediment contamination]. *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University*, 2003, vol. 306, no. 6, pp. 39–41.
8. Tretyakova E.I., Papina T.S., Eyrikh A.N. Vliyanie sulfidnoy fraktsii na povedenie tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyah [Sulfide fraction influence on heavy metal behavior in sediments]. *Polzunovskiy vestnik*, 2008, no. 1–2, pp. 144–147.
9. *GOST 17.4.4.02–84. Metody otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gelmintologicheskogo analiza* [Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis]. Moscow, Standartinform Publ., 1985.
10. Fedorov A.S. *Ustoychivost pochv k antropogennym vozdeystviyam* [Stability of soils to anthropogenic influences]. Saint Petersburg, SPbGU Publ., 2008. 204 p.
11. Kosov V.I., Ivanov G.N., Levinskiy V.V., Ezhov E.V. Kontsentratsii tyazhelykh metallov v donnykh otlozheniyah Verkhney Volgi [Concentrations of heavy metals in sediments of the Upper Volga]. *Vodnye resursy*, 2001, vol. 28, no. 4, pp. 448–453.
12. Zubarev V.A. Issledovanie soderzhaniya tyazhelykh metallov v poymennykh pochvakh rayonov provedeniya selskohozyaystvennoy osushitelnoy melioratsii (na primere Evreyskoy avtonomnoy oblasti) [Study of heavy metals in floodplain soils of agricultural areas amelioration (by the example of the Jewish Autonomous Region)]. *Regionalnye problem*, 2012, no. 15 (1), pp. 63–68.