

## ИЗУЧЕНИЕ ТРАНСПОРТА И НАКОПЛЕНИЯ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ РЕК АГРОПРОМЫШЛЕННЫХ РЕГИОНОВ

© 2011 М.В. Кумани<sup>1</sup>, Ф.Н. Лисецкий<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Курский государственный университет

<sup>2</sup> Белгородский государственный национальный исследовательский университет

Поступила в редакцию 03.05.2011

Представлены результаты изучения эколого-гидрологических закономерностей аккумуляции тяжелых металлов в донных отложениях рек, находящихся в зоне воздействия железорудного комплекса Курской магнитной аномалии (КМА). Установлен волнообразный характер накопления тяжелых металлов в донных отложениях по длине рек.

Ключевые слова: *донные отложения рек, тяжелые металлы, железорудная промышленность, Курская магнитная аномалия*

В последние годы плодотворно и целенаправленно развивается одно из перспективных направлений в изучении эрозионно-аккумулятивных процессов – транспорт загрязняющих веществ с речными наносами и их накопление в донных отложениях русловой сети. Экологическая роль этого процесса отмечена в работах Л.Ф. Литвина [4] и В.Н. Голосова [2]. Взаимосвязь эрозионных процессов на склонах водосборов и транспорта наносов в руслах рек освещена в работах Р.С. Чалова [8] и других ученых. Геоэкологические исследования природных сред в зоне влияния железорудного комплекса КМА активно развиваются в Курском и Белгородском университетах [1, 3]. В частности, установлено, что часть загрязняющих веществ, поступающих с водосбора реки в ее русло, перемещается потоками ливневых и талых вод в растворенном виде, а часть – в адсорбированном виде (на частицах наносов). Причем составляющая потока загрязняющих веществ, связанная с адсорбцией на частицах наносов, соизмерима, а по некоторым веществам даже превышает ту часть, которая растворена в воде.

Загрязняющие вещества, адсорбированные на взвешенных и влекомых наносах, накапливаются в отложениях на поймах рек и в их руслах. Растворенные загрязняющие вещества разбавляются в большом объеме воды и транзитом переносятся водным потоком по руслу

реки во время повышенного стока весеннего половодья и ливневых паводков. Они оказывают кратковременное воздействие на водные и околосредные экосистемы. Накопленные в донных и пойменных отложениях загрязняющие вещества остаются здесь на длительный срок. В маловодные периоды года эти вещества становятся источником вторичного загрязнения вод, так как могут переходить из адсорбированного состояния в водные растворы. Влияние вторичного загрязнения в межень оказывается более длительным, а иногда и более интенсивным, чем недолгое воздействие в период высокой водности. Это загрязнение может оказывать значительное воздействие на водные и околосредные биоценозы, особенно на бентосные растения и организмы.

**Цель работы:** изучение поступления, транспорта и накопления в руслах рек донных отложений и связанных с ними загрязняющих веществ в регионе лесостепной зоны с активным развитием железорудного комплекса. Исследование опирается на концепцию единства эрозионных процессов на водосборе и транспорта, накопления, переотложения наносов в руслах рек [7].

**Объекты и методы.** В качестве объектов исследования выбраны малые реки в зоне влияния Михайловского горно-обогатительного комбината (МГОК) КМА, расположенного в Железнодорожном районе на северо-западе Курской области. Основные воздействия МГОКа на сток рек и речных наносов связаны со следующими источниками:

– сброс дренажных и сточных вод в речную сеть;

*Кумани Михаил Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры физической географии и геоэкологии. E-mail: kumanim@sovtestl.ru*  
*Лисецкий Федор Николаевич, доктор географических наук, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра. E-mail: liset@bsu.edu.ru*

– поверхностный сток с отвалов, производственных площадок и объектов инфраструктуры МГОКа;  
 – сток с урбанизированных частей водосборов рек, расположенных в черте г. Железногорск;  
 – поступление пылевых частиц из карьера, хвостохранилища, производственных объектов, автотранспорта и последующая миграция техногенных загрязнителей с поверхности водосборов аэральным и водно-эрозионными процессами в овражно-балочную и речную сеть.

Все перечисленные источники являются поставщиками растворенных и взвешенных веществ в речную сеть, а с ними поступают и адсорбированные на твердых частицах загрязняющие вещества. Очевидно, что все потоки наносов различного происхождения включаются в русловые процессы. Одновременно они определяют потоки перемещения и накопление донных отложений в руслах рек, а также связанное с ними поступление загрязняющих веществ. Основными загрязняющими веществами, связанными с горнорудным производством и его инфраструктурой, являются тяжелые металлы (ТМ).

Использованы данные исследований по 4 рекам бассейна Днепра: Песочная, Белый Немед,

Чернь, Речица (табл. 1). Водосборы рек расположены на Среднерусской возвышенности и административно относятся к Железногорскому, Дмитриевскому и Фатежскому районам Курской области, Дмитровскому и Кромскому районам Орловской области. Основной рекой является Свапа, впадающая в Сейм, но уже за пределами района исследований. Кроме того, в районе исследований расположено около 25 прудов и водохранилищ. Два искусственных водоема: Михайловское водохранилище на р. Свапа и хвостохранилище МГОКа на р. Песочная входят в число крупнейших в районе КМА. Их проектный объем равен 41 и 350 млн. м<sup>3</sup> соответственно, а суммарная площадь водного зеркала более 30 км<sup>2</sup>. Ширина указанных рек изменяется в широких пределах от 1-2 м в верховьях до 4-10 м в замыкающих створах. Глубины рек у истоков не более 1 м, в средней части увеличиваются до 1-1,5 м, в нижних створах могут достигать 2 м на плесах даже в период межени. Ширина верховий рек, как правило, не превышает 0,5 км, но в нижних частях долины увеличивается до 1,5-2 км. Поймы рек преимущественно двусторонние, луговые, местами заняты пойменными лесами. Нижняя и притеррасная части поймы часто заболочены.

**Таблица 1.** Реки, исследованные в районе МГОКа

Название реки	Длина, км	Куда впадает	С какого берега	Площадь бассейна, км <sup>2</sup>
Песочная	26	Свапа	прав.	103
Белый Немед	33	Свапа	прав.	205
Чернь	40	Свапа	прав.	435
Речица	23	Чернь	прав.	164

Скорость течения рек на плесах незначительная, обычно не превышает 0,1-0,3 м/с. На перекатах она может возрастать до 1 м/с. В период половодья и паводков на стрежне скорость течения может превышать 1 м/с. По своему режиму реки относятся к восточно-европейскому или русскому типу. Источником их питания являются талые снеговые воды (50-60%), грунтовые (30-35%) и дождевые воды (10-20%). По мере увеличения размеров реки растет доля грунтового питания, так как одновременно больше становится водность и глубина врезания русла. Характерная особенность режима рек – высокое весеннее половодье, во время которого проходит до 50 (80)% годового стока, уровень воды в реках поднимается на 2-3 м выше межени. Сравнительно низкая летне-осенняя межень (20-30% годового стока)

изредка нарушается короткими дождевыми паводками (редко более 1 м). На зимнюю межень, когда на реках формируется устойчивый ледовый покров, приходится около 10% годового стока.

Производственные объекты МГОКа расположены в среднем течении рек, ниже по течению в 10-15 км они впадают в р. Свапу. С точки зрения воздействия МГОКа реки несколько различаются. Чернь протекает непосредственно через территорию горного отвода МГОКа между его отвалами рядом с промплощадкой. На р. Песочной в среднем течении расположено хвостохранилище с глухой земляной плотиной перед нижним бьефом. Ниже плотины питание реки происходит практически полностью за счет дренажного стока через плотину, при этом поток наносов из верхней

части реки не попадает в ее нижнее течение. Р. Речица в среднем течении сначала течет через г. Железногорск, а потом приближается к карьеру и отвалам МГОКа. В нее производят сброс биологически очищенных сточных вод очистных сооружений Железногорска, а из карьера – большого объема дренажных вод, насыщенных взвешенными веществами. Р. Белый Немед течет в 5-10 км к востоку от санитарно-защитной зоны МГОКа и не испытывает прямого воздействия его объектов.

Нами выполнен анализ концентраций тяжелых металлов (ТМ), накопленных в донных отложениях по длине малых рек в зонах возможного влияния МГОКа. Аналогичные данные собраны по водосборам рек и промышленной площадке МГОКа. Суммарный объем выборки составил около 900 проб валового содержания ТМ (мг/кг).

**Результаты.** Одним из основных источников поступления в речную сеть наносов и связанных с ними загрязняющих веществ, в частности ТМ, является эрозия почво-грунтов с поверхности водосборов. В табл. 2 приведены данные о содержании изученных ТМ в почве и грунтах зоны влияния МГОКа, на отвалах, в карьере и на пляжах хвостохранилища, а также в железорудном сырье. Приведены

максимальные и средние по выборке значения валового содержания ТМ. Для сравнения указаны также фоновые концентрации по Курской области и ПДК. При этом следует отметить, что при эколого-токсикологической оценке почв в качестве ориентировочно допустимых концентраций валового содержания ТМ предложено использовать уровни, при которых происходит загрязнение продукции наименее толерантных сельскохозяйственных культур [5]. Отдельно дано среднее и максимальное содержание металлов на пашне и в естественных угодьях: лесах, лугах, степных и заболоченных участках. Естественные кормовые угодья в табл. 2 обозначены как «ЕКУ». Содержание большинства металлов в почвах Железногорского района ниже, чем в среднем по области. Выше фоновых значений содержание Pb и Zn. Кроме того, содержание ТМ не превышает ПДК в большинстве отобранных проб, за исключением отдельных точек, расположенных в экологически неблагоприятных местах вдоль автотрасс, на оживленных улицах города. Приведенные в табл. 2 данные позволяют оценить загрязненность речных наносов по сравнению с загрязнением почв и грунтов на их водосборах.

**Таблица 2.** Содержание тяжелых металлов (среднее  $\bar{X}$ , максимальное значение  $X_{\max}$ ) в почвенном покрове района возможного влияния МГОКа

Объекты	Значения	Содержание тяжелых металлов, мг/кг									
		Pb	Zn	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Mn	Ti	Zr
почва	$\bar{X}$	48,9	93,3	68,5	29,9	2,2	21,9	26,1	629	1699	407
	$X_{\max}$	2423,6	200,0	745,4	464,4	8,4	89,8	165,4	1953	4542	1233
ЕКУ	$\bar{X}$	44,0	94,6	65,5	30,2	2,2	23,2	27,3	636	1673	414
	$X_{\max}$	2424,0	200,0	355,0	299,5	5,8	89,8	165,4	1953	4160	870
пашня	$\bar{X}$	51,9	91,9	72,7	29,7	2,2	20,6	24,9	633	1751	407
	$X_{\max}$	2424,0	200,0	745,4	464,4	8,4	89,8	165,4	1953	4542	1233
отвалы	$\bar{X}$	97,6	92,6	42,2	25,2	2,1	19,9	24,0	390	1150	243
	$X_{\max}$	1193,0	200,0	80,5	51,8	4,0	38,1	48,3	733	2683	614
карьер	$\bar{X}$	34,5	104,0	55,6	51,8	4,0	38,1	32,0	733	1116	305
хвосты	$\bar{X}$	2,0	80,0	5,0	4,0	1,2	15,0	8,0	300	250	–
руда	$\bar{X}$	2,0	80,0	3,0	–	1,2	8,0	4,0	400	150	50
шлам	$\bar{X}$	12,0	300,0	200,0	80,0	2,5	300,0	6,0	1200	300	–
ПДК	–	130,0	220,0	100,0	85,0	5,0	55,0	150,0	1500	–	–
фон по области	$\bar{X}$	16,0	52,0	82,0	33,0	1,0	22,0	77	596	4500	450
класс опасности	–	1	1	2	2	2	2	3	3	4	–

На графиках (рис.) показано, как по длине рек изменяется валовое содержание некоторых ТМ в донных отложениях. Из данных по

30 изученным металлам нами рассмотрены Pb, Zn, Ni, Cr, Mn и Cu как наиболее характерные. Другие металлы содержатся в концентрациях

ниже порога чувствительности использованного метода определения или обнаружены не во всех пробах. На рисунках по горизонтальной оси показаны номера точек, расположенных равномерно по длине рек, содержание металлов в этих точках, а для наглядности построены линии полиномиальных трендов 3-й степени, отражающие тенденции изменения содержания ТМ. Кроме того, на графиках штриховой горизонтальной линией показаны значения, соответствующие ПДК валового содержания ТМ в почвах лесостепной зоны. Следует уточнить, что ПДК для донных отложений не установлены, поэтому для сопоставлений использованы ПДК для почв и грунтов. На рис. (графике №1) показано распределение Ni по длине р. Чернь. Максимальное содержание, в несколько раз превышающее содержание металла ниже по течению, наблюдаются в верховьях реки. Затем в верхнем и среднем течении реки содержание металла существенно снижается. Перед устьевой частью происходит небольшое повышение содержания, а затем оно опять снижается.

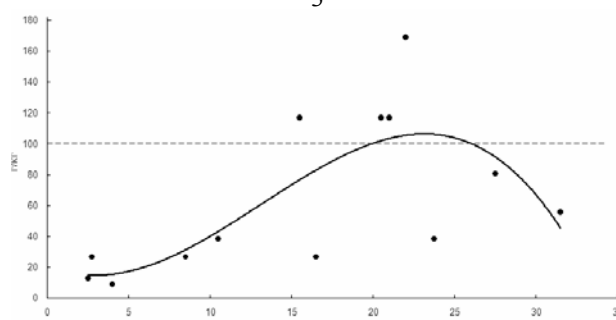
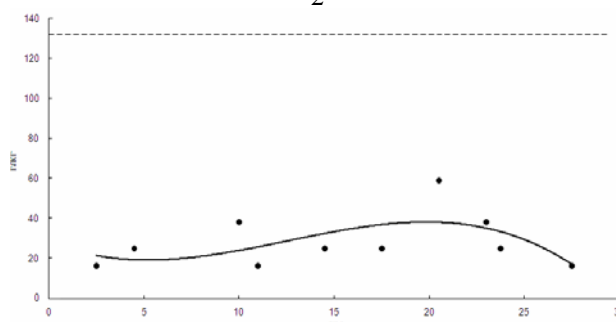
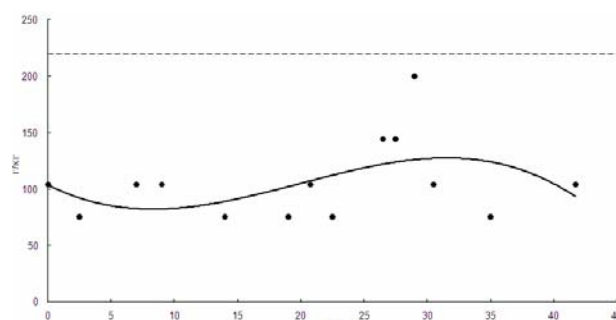
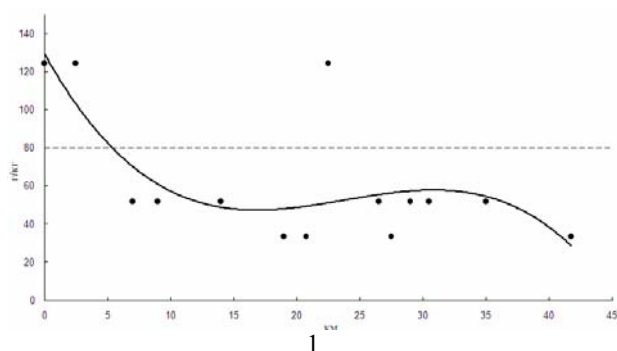


Рис. Типы распределения тяжелых металлов в донных отложениях по длине рек (мг/кг): 1 – Чернь, Ni; 2 – Чернь, Zn; 3 – Б. Немед, Cu; 4 – Речица, Cr

Таблица 3. Типы распределения тяжелых металлов по длине рек

Реки	Типы распределения металлов					
	Pb	Ni	Cu	Zn	Mn	Cr
Белый Немед	2	2	3	3	3	3
Песочная	3	1	2	2	4	2
Чернь	3	1	2	2	3	1
Речица	4	4	4	2	4	4

В табл. 3 обобщены данные о типах распределения изученных металлов по 4 рекам. Несколько по-другому изменяется по длине р. Чернь содержание Zn (рис., график №2). Для этого элемента характерно более высокое содержание в донных отложениях в верхнем течении, снижение в среднем, увеличение в нижнем и опять снижение в устьевой части реки. То есть общая тенденция сохраняется, но высоких концентраций металлов в истоках не наблюдается. Это же распределение характерно для Pb и Ni в донных отложениях р. Б. Немед и других металлов на остальных водотоках

(табл. 3). Можно сделать вывод о том, что эта группа ТМ в основном связана с выносом эрозионного материала с верхней, распаханной части водосбора и с пахотных угодий на склонах в их средней части. В верховьях рек эти отложения накапливаются, а в среднем течении, где в руслах рек преобладает транзит наносов, перемываемых речными водами, содержание этих металлов падает, перед устьем опять возникает зона аккумуляции. Влияние МГОКа на содержание этих металлов практически не сказывается.

На р. Белый Немед, находящейся вне санитарно-защитной зоны МГОКа, содержание большинства металлов по длине реки меняется мало. Zn, Mn, Cr и Cu (рис., график №3) в нескольких больших количествах содержатся в средней и нижней части реки, а к устью их содержание падает. Эти вещества, по-видимому, также не связаны с конкретными объектами-загрязнителями, в том числе с МГОКом, они попадают в реки с наносами в связи с фоновым загрязнением почвенного покрова и относительно равномерно распределяются по длине рек.

Существенно отличается характер распределения большинства из рассмотренных ТМ в донных отложениях по длине р. Речицы. В верхнем течении Речица, как и остальные реки района, окружена агроландшафтами и основное поступление наносов и связанных с ними загрязняющих веществ обусловлено продуктами склоновой эрозии. В среднем течении река протекает через г. Железнодорожск. Как и в большинстве городов Курской области, в г. Железнодорожске отсутствует ливневая канализация. Ливнестоки с урбанизированной части водосбора без очистки попадают в русло реки. В результате для этой реки характерно принципиально иное распределение ТМ в донных отложениях, чем на остальных водотоках. На рис. (график №4) видно, что Cr в верхнем течении реки в донных отложениях содержатся примерно в тех же концентрациях, что и на остальных реках. Аналогично ведут себя и остальные металлы. Но после г. Железнодорожска содержание Cr в донных отложениях в разы увеличивается, мало того, валовое содержание Pb и Cr превышает ПДК для почвенного покрова, а содержание Ni приближается к критическому уровню. В нижнем течении, там, где река опять течет по не урбанизированной части водосбора, поступление и накопление ТМ в донных отложениях прекращается. Более того, к устью реки содержание ТМ в донных отложениях снижается, приближаясь к фоновым значениям.

Важно отметить, что р. Речица ниже Железнодорожска протекает в канализированном русле. На этом участке реки в нее происходит сброс сточных вод с очистных сооружений Железнодорожска и дренажных вод водопонижающего комплекса карьера МГОКа. Анализ графика №4 показывает, что основное увеличение концентраций ТМ связано с участком реки вблизи урбанизированной территории (Железнодорожска). Следует обратить внимание на то, что выявленное в приустьевой части снижение содержания ТМ во всех 4-х типах их

распределения по длине рек согласуется с выявленной Н.И. Маккавеевым [6] зоной размыва русел рек в их устьях.

#### Выводы:

1. Пылевые выбросы карьера, хвостохранилища и производственных объектов МГОКа практически не проявляются в процессе накопления ТМ в донных отложениях рек зоны влияния МГОКа.

2. Вне зоны влияния МГОКа и урбанизированных территорий на сток рек распределение большинства тяжелых металлов в донных отложениях рек подчиняется определенным закономерностям. В истоках рек, где происходит накопление донных отложений, содержание большинства металлов выше, чем в верхнем течении. В среднем течении, где преобладает транзит наносов и происходит переыв донных отложений, содержание тяжелых металлов снижается. В нижнем течении содержание металлов снова несколько возрастает, но к устью падает.

3. Там, где в реки поступают наносы с урбанизированных частей водосборов, происходит накопление донных отложений, загрязненных тяжелыми металлами и другими поллютантами. В этих условиях содержание тяжелых металлов резко (в разы) возрастает, зачастую превышая ПДК для почв и грунтов. Но ниже по течению рек, ближе к их устью содержание тяжелых металлов в донных отложениях снижается, приближаясь к фоновым значениям.

*Работа выполнена при поддержке проекта № 02.740.11.0675 «Исследование распространения поллютантов с целью мониторинга и прогнозирования уровня загрязнения атмосферы и гидросферы населенных пунктов выбросами промышленных предприятий» в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Борзенков, А.А. Баланс растворенных и адсорбированных на взвешенных наносах загрязняющих веществ урбанизированных водоемов / А.А. Борзенков, М.В. Кумани, Ю.А. Соловьева // Вестник Воронежского гос. технического университета. 2007. Т. 3. № 2. С. 148-152.
2. Голосов, В.Н. Эрозионно-аккумулятивные процессы в речных бассейнах освоенных равнин. – М.: ГЕОС, 2006. 296 с.
3. Лисецкий, Ф.Н. Геоэкологические исследования современного состояния природных сред в зоне влияния Курской магнитной аномалии / Ф.Н. Лисецкий, П.В. Голушов // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Геология. 2006. №1. С. 222-225.
4. Литвин, Л.Ф. География эрозии почв сельскохозяйственных земель России. – М.: НКЦ «Академкнига», 2002. 256 с.

5. *Лукин, С.В.* Нормативное содержание тяжелых металлов в черноземе / *С.В. Лукин, Ф.Н Лисецкий., В.Е. Явтушенко* // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2000. № 4. С. 68-69.
6. *Маккавеев, Н.И.* Особенности формирования русла в низовьях равнинных рек // Проблемы физической географии. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1951. Т. 16. С. 49-78.
7. *Маккавеев, Н.И.* Русло реки и эрозия в ее бассейне. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. 346 с.
8. *Чалов, Р.С.* Эрозионно-аккумулятивные процессы и их связь с перемещением наносов водными потоками // Движение наносов и русловые процессы. – М.: Изд-во МГУ, 1997. С. 43-56.

## **STUDYING THE TRANSPORT AND ACCUMULATION OF POLLUTING SUBSTANCES IN RIVER BOTTOM DEPOSITS IN AGROINDUSTRIAL REGIONS**

© 2011 M.V. Kumany<sup>1</sup>, F.N. Lisetskiy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Kursk State University

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University

Results of studying the ecological hydrological laws of accumulation the heavy metals in river bottom deposits, located in zone of influence of iron-ore complex at Kursk magnetic anomaly (KMA) are presented. Wavy character of accumulation the heavy metals in river bottom deposits along the length of rivers is established.

Key words: *river sediments, heavy metals, iron ore mining industry, Kursk magnetic anomaly*

---

*Mikhail Kumany, Doctor of Agriculture, Professor at the  
Department of Physical Geography and Geoecology.*

*E-mail: kumanim@sovtestl.ru*

*Fyodor Lisetskiy, Doctor of Geography, Professor at the  
Department of Nature Management and Ground Cadastre.*

*E-mail: liset@bsu.edu.ru*