

Оценка миграции тяжёлых металлов в речных экосистемах башкирского Зауралья

З.Б. Бактыбаева, к.б.н., ГАНУ ИРИ Республики Башкортостан, **А.А. Кулагин**, д.б.н., профессор, ФГБОУ ВПО Башкирский ГПУ, **С.М. Ямалов**, д.б.н., ФГБУН БСИ УНЦ РАН

Зауралье Республики Башкортостан тянется узкой полосой вдоль восточной границы республики и сливается за её пределами с Западно-Сибирской равниной. Рельеф сильно расчленён, представлен мелкосопочником и озёрными котловинами. Район исследования характеризуется засушливостью климата. Годовое количество осадков 270–400 мм. Среднегодовая температура составляет 1,4–1,8°C, сумма активных температур от 1800°C до 2200°C. Распространены выщелоченные, неполноразвитые чернозёмы на севере и карбонатные, солонцеватые чернозёмы на юге. На понижениях распространены болотно-торфяные низинные и лугово-болотные почвы [1]. Речная сеть относится к бассейну р. Урала. Густота речной сети в нижней части бассейнов рек Янгельки, Большого Кизила, Туялыса (Худолаза) и Таналыка менее 0,3 км/км². Питание рек преимущественно снеговое [2].

Исследуемая территория характеризуется рудопроявлениями медно-колчеданного и смешанного полиметаллического состава. Освоение и разработка месторождений полезных ископаемых в регионе сопровождаются всесторонним воздействием на окружающую среду, включая ландшафтно-деструктивные, параметрические и эмиссионные нарушения [3]. Одними из наиболее уязвимых элементов ландшафта являются водоёмы. Добыча и переработка руд приводят к загрязнению водных экосистем тяжёлыми металлами (ТМ), поступление которых происходит в основном со сбросом неочищенных или недостаточно очищенных шахтных, рудничных и подотвальных вод. Вынос гидрогенными потоками токсичных химических элементов продолжается и после завершения эксплуатации месторождений.

Наиболее подвержены антропогенному прессу водосборы рек Таналыка и Карагайлы. Таналык является притоком р. Урала. Длина водотока составляет 225 км. На водосборной территории реки расположено значительное количество объектов горнорудной промышленности. Наиболее опасны отработанное серно-колчеданное месторождение Куль-Юрт-Тау и объекты Бурибаевского горно-обогатительного комбината (ГОК). Месторождение Куль-Юрт-Тау находится в верхнем течении реки рядом с г. Баймаком. Отработанный карьер расположен на вершине сопки в 1,5 км от русла. Образующиеся подотвальные воды техногенного объекта вместе с поверхностным стоком и грунтовыми водами поступают в р. Таналык. Бурибаевский ГОК находится примерно в 130 км от истока

реки на территории п. Бурибай. Источниками загрязнения являются обогатительная фабрика по переработке медно-колчеданных руд, рудные и породные отвалы вокруг карьера и два хвостохранилища. Образующиеся подотвальные воды и фильтрат хвостохранилищ стекают в Таналык. Карагайлы — приток р. Урала второго порядка. Длина водотока составляет 28 км. Среднее и нижнее течение реки расположено в черте пригородных поселков и промзоны г. Сибая. Карагайлы является приёмником шахтных вод подземного рудника и подотвальных вод Сибайского рудного карьера. В непосредственной близости к руслу реки находятся старое и новое хвостохранилища Сибайской обогатительной фабрики.

Вода из рек Таналыка и Карагайлы используется для хозяйственно-бытовых нужд населения, сельскохозяйственного водоснабжения, рекреации. Как известно, тяжёлые металлы, поступая по пищевым цепям в организм человека, могут накапливаться и приводить к серьёзным заболеваниям.

Цель исследования — определение содержания ТМ в компонентах речных экосистем в зоне воздействия объектов горнорудной промышленности.

Материалы и методы исследования. Исследование проводили в течение полевых сезонов 2006–2011 гг. На первом этапе было проведено геоботаническое обследование территории, выявлены преобладающие типы водных и прибрежно-водных сообществ и их основные доминанты. Затем вдоль градиентов загрязнения были заложены системы ключевых участков, на которых изучали динамику флористического состава сообществ, их синтетические характеристики, а также содержание приоритетных тяжёлых металлов в воде, донных отложениях, водных макрофитах.

Система А состояла из четырёх участков, расположенных вдоль градиента загрязнения р. Таналыка подотвальными водами месторождения Куль-Юрт-Тау. Участок А-IV с наибольшим загрязнением был заложен в непосредственной близости от отвалов карьера на притоке, загрязняемом подотвальными водами; участок А-III — на расстоянии 1,5 км от участка А-IV, в русле р. Таналыка в месте впадения загрязнённого притока; участок А-II — в русле р. Таналыка на расстоянии 3 км ниже по течению от А-III; участок А-I — условный контроль — на расстоянии 10 км выше впадения загрязнённого притока.

Система Б состояла из четырёх участков, расположенных вдоль градиента загрязнения р. Таналыка стоками объектов Бурибаевского ГОКа. Участок Б-IV был заложен на притоке, загрязняемом фильтратом хвостохранилища; участок Б-III — на

расстоянии 1,5 км от участка Б-IV в русле р. Таналыка в месте впадения загрязнённого притока; участок Б-II – в русле р. Таналыка на расстоянии 3 км ниже по течению от Б-III; участок Б-I был выбран выше места впадения загрязнённого притока (условный контроль).

Система В состояла из следующих участков: В-I (условный контроль) располагался в верхнем течении р. Карагайлы, не загрязняемом бытовыми и промышленными стоками; участок В-II – на отрезке реки, загрязняемом подотвальными и шахтными водами Сибайского месторождения; участок В-III – у старого хвостохранилища обогатительной фабрики; участок В-IV – у нового хвостохранилища.

Из-за различий в составе руды и расположении промплощадок на рельефе местности перечисленные горнорудные объекты несколько отличаются по составу загрязнителей и степени воздействия на водотоки.

Пробы воды и растительных образцов отбирали на каждом ключевом участке в 5-кратной повторности. Пробы донных отложений отбирали с глубины 0–20 см одновременно с растительными образцами. Концентрации ТМ в пробах измеряли методом инверсионной вольтамперометрии. Полученные данные были подвергнуты однофакторному дисперсионному анализу.

Результаты исследования. Водные и прибрежно-водные растительные сообщества исследованной территории отличаются бедным видовым составом, простым строением и монодоминированием (в редких случаях – доминированием двух видов). Анализ влияния загрязнения воды и донных отложений ТМ на водную и прибрежно-водную растительность показал снижение альфа- и бета-разнообразия, проективного покрытия, средней высоты сообществ и продуктивности доминантов вдоль градиента загрязнения, что отражается в изменении физио-

номического облика отдельных сообществ и всего комплекса прибрежно-водной растительности. Ведущую роль в сложении растительности на всём градиенте загрязнения играют сообщества с доминированием тростника обыкновенного (*Phragmites australis*), рогоза узколистного (*Typha angustifolia*), камыша озёрного (*Scirpus lacustris*), ситняга болотного (*Eleocharis palustris*), осоки острой (*Carex acuta*) и рдеста блестящего (*Potamogeton lucens*) [5, 6]. Для изучения накопления ТМ макрофитами были выбраны перечисленные виды. В данной работе представлены сведения по содержанию цинка и меди в фитомассе тростника обыкновенного.

Результаты исследований показали, что уровень рассматриваемых элементов в воде и донных отложениях на загрязняемых участках достоверно выше по сравнению с контрольными (табл. 1). Содержание металлов в воде на всех участках систем А, Б и В превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) для водоёмов рыбохозяйственного значения [7]. Максимальные концентрации данных элементов отмечены на участках р. Карагайлы: В-II, В-III и В-IV, где превышение нормативов по цинку – от 710 до 1320 ПДК, по меди – от 920 до 2580 ПДК. Повышенное содержание ТМ на контрольных участках систем А и В, вероятно, связано с особенностями естественного геохимического фона региона, а на участке Б-I – с фоновым загрязнением (на участке р. Таналыка до п. Бурибай расположен ряд действующих и отработанных месторождений). В воде на всех ключевых участках концентрация цинка выше концентрации меди. В донных отложениях почти на всех участках систем А и В содержится больше цинка, а на участках системы Б – меди. Содержание подвижных форм цинка в донных осадках колеблется от $0,93 \pm 0,12$ до $45,21 \pm 4,55$ мг/кг, меди – от $0,60 \pm 0,18$ до $42,83 \pm 3,50$ мг/кг. Сравнение полученных данных по донным отложениям с ПДК для подвижных

1. Содержание цинка и меди в воде и донных отложениях на ключевых участках ($\bar{X} \pm S_x$)

Система ключевых участков	Ключевой участок			
	I	II	III	IV
Zn				
Система А	$0,03 \pm 0,01$ $3,70 \pm 0,43$	$0,10 \pm 0,02$ $8,19 \pm 0,67$	$0,14 \pm 0,02$ $12,97 \pm 2,06$	$0,40 \pm 0,05$ $14,49 \pm 2,25$
Система Б	$0,02 \pm 0,004$ $0,93 \pm 0,12$	$0,24 \pm 0,022$ $4,39 \pm 0,34$	$0,60 \pm 0,036$ $11,38 \pm 2,28$	$1,20 \pm 0,045$ $45,21 \pm 4,55$
Система В	$0,08 \pm 0,01$ $4,26 \pm 1,49$	$13,20 \pm 2,17$ $14,14 \pm 3,54$	$7,10 \pm 0,85$ $4,20 \pm 1,62$	$9,46 \pm 0,46$ $6,32 \pm 0,86$
Cu				
Система А	$0,014 \pm 0,002$ $0,84 \pm 0,07$	$0,020 \pm 0,004$ $1,62 \pm 0,07$	$0,030 \pm 0,006$ $3,10 \pm 0,08$	$0,035 \pm 0,008$ $5,20 \pm 0,06$
Система Б	$0,002 \pm 0,0002$ $2,70 \pm 0,24$	$0,080 \pm 0,0032$ $22,34 \pm 3,33$	$0,090 \pm 0,0038$ $26,22 \pm 4,84$	$1,102 \pm 0,066$ $42,83 \pm 3,50$
Система В	$0,004 \pm 0,001$ $0,60 \pm 0,18$	$0,92 \pm 0,12$ $1,42 \pm 0,13$	$2,08 \pm 0,37$ $6,32 \pm 1,61$	$2,58 \pm 0,47$ $3,62 \pm 0,73$

Примечание: в числителе – в воде, мг/дм³, в знаменателе – донных отложениях, мг/кг для донных отложений приведены подвижные формы, извлекаемые ацетатно-аммонийным буфером с рН4,8

2. Содержание цинка и меди в фитомассе тростника обыкновенного на ключевых участках, мг/кг воздушно-сухой массы ($X \pm S_x$)

Система ключевых участков	Ключевой участок			
	I	II	III	IV
Zn				
Система А	$15,20 \pm 2,51$ $17,04 \pm 2,97$	$19,36 \pm 2,48$ $23,04 \pm 4,98$	$22,38 \pm 3,11$ $25,63 \pm 3,54$	$33,00 \pm 4,04$ $42,62 \pm 8,75$
Система Б	$5,88 \pm 0,97$ $8,74 \pm 2,09$	$31,62 \pm 3,33$ $43,60 \pm 5,03$	$43,04 \pm 5,12$ $49,60 \pm 5,90$	$35,46 \pm 5,98$ $39,83 \pm 3,52$
Система В	$2,47 \pm 0,61$ $18,67 \pm 3,15$	$72,00 \pm 8,89$ $20,67 \pm 2,08$	$14,67 \pm 2,08$ $25,33 \pm 0,58$	$22,00 \pm 2,65$ $36,33 \pm 9,07$
Cu				
Система А	$2,05 \pm 0,21$ $3,42 \pm 0,57$	$4,81 \pm 0,46$ $6,02 \pm 0,60$	$6,89 \pm 0,74$ $7,19 \pm 0,53$	$12,39 \pm 1,25$ $25,15 \pm 3,79$
Система Б	$0,64 \pm 0,14$ $0,92 \pm 0,09$	$5,99 \pm 1,38$ $7,01 \pm 0,87$	$11,42 \pm 1,95$ $13,07 \pm 2,15$	$19,08 \pm 1,37$ $25,91 \pm 2,46$
Система В	$0,087 \pm 0,013$ $2,47 \pm 0,85$	$19,67 \pm 0,58$ $51,00 \pm 2,00$	$6,15 \pm 1,30$ $6,83 \pm 2,57$	$28,00 \pm 2,65$ $22,33 \pm 4,93$

Примечание: в числителе – содержание ТМ в надземной фитомассе, в знаменателе – в подземной фитомассе

форм тяжёлых металлов в почвах [8] показало, что по цинку превышение наблюдается лишь на участке Б-IV (2 ПДК); по меди на участках А-III, А-IV, В-III и В-IV наблюдается превышение до 2 ПДК, а на участках Б-II, Б-III и Б-IV – от 7 до 14 ПДК.

В таблице 2 приведены результаты анализа растительных образцов. Видно, что в тканях тростника содержание цинка выше, чем меди. При этом в подземной фитомассе ТМ аккумулируется больше, чем в надземной. По мере повышения степени загрязнения среды обитания растений происходит и увеличение концентрации ТМ в фитомассе. Так, по сравнению с контрольными участками содержание цинка в надземных частях увеличивается до 29 раз, в подземных – до 6 раз; содержание меди – до 321 и 28 раз соответственно. Анализ растительных образцов показал, что концентрация цинка в надземной фитомассе тростника варьирует от $2,47 \pm 0,61$ до $72,00 \pm 8,89$ мг/кг, в подземной – от $8,74 \pm 2,09$ до $49,60 \pm 5,90$ мг/кг. Количество меди в тростнике может колебаться в более широких пределах: от $0,087 \pm 0,013$ до $28,00 \pm 2,65$ мг/кг в надземной фитомассе и от $0,92 \pm 0,09$ до $51,00 \pm 2,00$ мг/кг в подземной.

Ключевые участки А-II и Б-II, расположенные на 3 км ниже по течению от места впадения загрязнённых притоков, позволяют оценить самоочищающуюся способность р. Таналыка. Как видно из полученных данных, на этих участках содержание цинка и меди в рассматриваемых компонентах снижается, хотя и не достигает уровня контроля. Самоочищение водоёмов происходит в результате химического преобразования токсичных веществ, осаждения, немалую роль играют заросли макрофитов, являющихся аккумуляторами макро- и микроэлементов. С другой стороны, выступающие в роли депонирующей среды донные отложения и водные растения при определённых условиях могут стать источниками вторичного загрязнения воды. Кроме того, продолжающееся поступление

токсикантов со стоками может привести к утрате водным объектом способности к самоочищению.

Вывод. Проведённые исследования показывают, что объекты горнопромышленного комплекса являются источниками загрязнения речных экосистем Зауралья Республики Башкортостан тяжёлыми металлами. При этом экологическая ситуация осложняется наложением техногенного загрязнения тяжёлыми металлами на общий повышенный геохимический фон их содержания в окружающей среде. Полученные сведения позволяют прогнозировать устойчивость водных экосистем и допустимость нагрузок на среду в целом. А изучение способности тростника обыкновенного аккумулировать в тканях ТМ представляет не только теоретический, но и практический интерес, т. к. эти данные могут быть использованы для разработки методов фиторемедиации водных систем.

Литература

1. Башкортостан: краткая энциклопедия. Уфа: Научное издательство «Башкирская энциклопедия», 1996. С. 159.
2. Гареев А.М. Реки и озёра Башкортостана. Уфа, 2001. 260 с.
3. Опекунова М.Г. Оценка экологического состояния почв в районе воздействия горнорудных предприятий Южного Урала // Ресурсный потенциал почв – основа продовольственной и экологической безопасности России: матер. междунар. науч. конф. СПб., 2011. С. 440–442.
4. Абдрахманов Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана. Уфа: Информреклама, 2005. 344 с.
5. Бактыбаева З.Б., Суяндукоев Я.Т., Ямалов С.М. и др. Загрязнение тяжёлыми металлами экосистемы реки Таналык, сообщества водных макрофитов и возможности их использования для биологической очистки / под ред. Б.М. Миркина. Уфа: АН РБ, Гилем, 2011. 208 с.
6. Baktybaeva Z. B., Yamalov S. M., Suyundukov Ya. T. Effect of Heavy Metal Pollution on Plant Communities of the Tanalyk River, the Bashkir Transural Region // Russian Journal of Ecology. 2011. Vol. 42. No. 5. P. 378–381. DOI 10.1134/S1067413611040047.
7. Приказ Федерального агентства по рыболовству от 18 января 2010 г. № 20 «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения». [Электронный ресурс]. URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/> (дата обращения 15.01.2015).
8. ГН 2.1.7.2041-06 Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. [Электронный ресурс]. URL: http://www.infosait.ru/norma_doc/46/46714/ (дата обращения 15.01.2015).