

Семенова И.Н.^{1,2}, Кужина Г.Ш.¹, Серегина Ю.Ю.²,
Ягафарова Г.А.¹, Зулкарнаев А.Б.¹, Мусин Х.Г.¹

¹Сибайский институт (филиал) Башкирского государственного университета

²Институт региональных исследований Республики Башкортостан

E-mail: alexa-94@mail.ru

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ РАСТИТЕЛЬНЫХ ТЕСТ-СИСТЕМ ДЛЯ ОЦЕНКИ ТОКСИЧНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ

В работе исследована изменчивость содержания тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Cd, Pb, Co, Ni, Mn) в донных отложениях р. Белая на территории Белорецкого района Республики Башкортостан. Изученные металлы по их среднему содержанию в донных осадках формируют следующий убывающий ряд элементов: Fe>Mn>Zn>Ni>Cu>Pb>Co>Cd. Концентрация Cu, Zn, Cd, Fe, Ni, Co в отложениях реки превышала значение фона: по меди – в 6–15 раз, цинку – в 13–20 раз, кадмию – в 10–13 раз, никелю – до 1,5 раза, железу – в 9–11 раз, кобальту – в 155–185 раз, свинцу – в 1,6 раза. Концентрация марганца во всех грунтах исследованного водотока находилась в пределах геохимического фона. Суммарный показатель загрязнения варьировал от 201 до 243. Оценка токсичности осадков реки проводили методом биотестирования с использованием семян *Lepidium sativum* L., *Raphanus sativus* L., *Triticum aestivum* L. Изученные растительные тест-системы по степени чувствительности можно расположить в следующий убывающий ряд: *Lepidium sativum* L. > *Raphanus sativus* L. > *Triticum aestivum* L. Наибольшей чувствительностью к загрязнению обладали такие тест-отклики, как всхожесть семян и длина корня проростка. В работе установлена связь между содержанием ТМ в донных осадках, превышающем геохимический фон, и проявлением индикаторных свойств: повышение концентрации меди и никеля ингибирует всхожесть семян, увеличение длины корня и сухой массы проростков всех модельных растений. Использование указанных растительных тест-систем позволило заключить, что исследуемые грунты р. Белая имеют умеренно токсичную степень загрязнения, за исключением створа после впадения р. Тирляна, характеризующегося узким руслом и, как следствие, увеличением скорости её течения с преобладанием процессов вымывания токсичных элементов из осадков.

Ключевые слова: р. Белая, донные отложения, тяжелые металлы, токсичность, биотестирование.

В настоящее время загрязнение природных водоемов является актуальной проблемой. Среди широкого спектра загрязнителей гидроэкосистемы наиболее опасными являются тяжелые металлы (ТМ), обладающие канцерогенными, мутагенными и патогенными свойствами даже в низких концентрациях. Они обладают биологической активностью и высокой технофильностью, и, как следствие, отсутствием природных процессов их деструкции в ландшафте. Источники поступления этих веществ в водоемы весьма разнообразны, но основными принято считать предприятия металлургического и горнодобывающего комплекса.

Главным водотоком Республики Башкортостан (РБ), испытывающей значительное антропогенное влияние, является река Белая (Агидель). Для целей водоснабжения промышленного узла г. Белорецк создано Белорецкое водохранилище (Заводской пруд). Сбросы сточных вод предприятий оказывают негативное влияние на качество воды реки и ограничивают её использование ниже по течению для хозяйственно-питьевых и культурно-

бытовых нужд населения [1]. Объективно оценить степень загрязнения водоемов по содержанию в поверхностных водах химических элементов не удастся, поэтому неотъемлемой частью мониторинга их состояния является оценка загрязненности донных отложений (ДО) [2]–[5]. Адекватно оценить токсичность водотоков помогают методы биотестирования. Для этого используются модельные растительные тест-системы (кресс-салат, редис, пшеница и др.), так как данные тест-объекты обладают повышенной чувствительностью к загрязнению почв и грунтов ТМ [6]. В данной работе принята попытка оценки фитотоксичности до р. Белая с целью изучения пространственной изменчивости ТМ в грунтах верховья реки с использованием *Lepidium sativum* L., *Raphanus sativus* L., *Triticum aestivum* L.

Материалом для работы послужили грунты р. Белая, отобранные в соответствии и с МУ РД 52.18.685 в летний период 2013–2014 гг. На территории Белорецкого района РБ. Точки отбора проб находились, как выше, так и ниже по течению от потенциальных и реальных ис-

точников загрязнения: 1 – до впадения правого притока Тирлян (60 км от истока реки); 2 – после впадения притока, принимающего стоки листопрокатного завода (65 км); 3 – Бельский мост в зоне поступления промышленных стоков ОАО «Белорецкий металлургический комбинат» (106 км); 4 и 5 – до и после Пугачевского карьера (114 и 118 км, соответственно).

Валовое содержание ТМ (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd, Ni, Co) в образцах до определяли с помощью метода атомной абсорбции [7]. Для оценки загрязнения грунтов исследуемого водотока использовали кратность превышения геохимических фоновых концентраций металлов, установленных Институтом минералогии, геохимии и кристаллографии редких элементов (ФГУП «ИМГРЭ») [8]. Уровень техногенного загрязнения осадков реки оценивали с помощью суммарного показателя загрязнения (СПЗ) [5], [8]. Методика биотестирования основана на измерении показателей всхожести семян, средней длины и среднего сухого веса проростков семян выбранных растительных тест-систем. В качестве контрольного образца был выбран обычный кварцевый песок, который предварительно промывали несколько раз кипяченой дистиллированной водой. Вычисление степени изменения всхожести семян и длины корня проростков по сравнению с контролем позволило соотнести загрязненные грунты с определенной степенью токсичности [9].

В осадках реки Белая в условиях района исследования изученные металлы по их среднему содержанию образуют убывающий ряд элементов Fe>Mn>Zn>Ni>Cu>Pb>Co>Cd. Концентрация Cu, Zn, Cd, Fe, Ni, Co в отложениях реки превышала значение фона во всех её створах: по меди – в 6–15 раз, цинку – 13–20 раз, кадмию – 10–13 раз, никелю – до 1,5 раза, железу – 9–11 раз, кобальту – 155–185 раз.

Содержание свинца в ДО участка водотока до Бельского моста не превышала фоновое значения. Однако в зоне влияния Пугачевского карьера концентрация этого элемента была максимальной, превысив фон в 1,6 раза. Концентрация марганца во всех грунтах исследованного водотока находилась в пределах геохимического фона.

Расчет суммарного показателя загрязнения показал, что грунты р. Белая характеризуются чрезвычайно опасной степенью загрязнения (СПЗ = 201–243). Максимальное значение данного критерия зарегистрировано в зоне влияния металлургического комбината (Бельский мост), минимальное – в створе после впадения притока р. Тирлян.

Результаты биотестирования показали, что минимальная всхожесть семян кресс-салата, составляющая 30%, была зарегистрирована в створе до карьера, а максимальная, равная 93%, была характерна для пробы, отобранной в створе после впадения р. Тирлян (рис. 1).

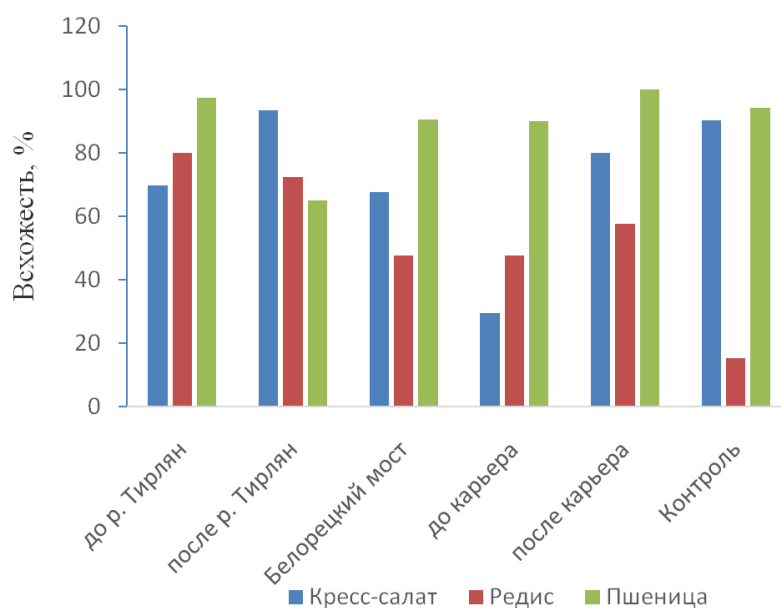


Рисунок 1. Изменение средней всхожести семян модельных растений

Для редиса наименьшее значение всхожести семян, равное 48%, зафиксировано в зоне интенсивной антропогенной нагрузки (Бельский мост и до Пугачевского карьера), тогда как максимум, составляющий 80%, приходился на природно-загрязненные осадки, отобранные в створе до впадения р. Тирлян.

Минимальное значение по всхожести семян пшеницы было равно 65% и относилось к грунтам створа после впадения р. Тирлян, где река принимает стоки листопрокатного завода. Наибольшее значение данного показателя (98%) наблюдалось у тест-объекта, выращенного в ДО створа после карьера.

Исследования показали, что всхожесть семян модельных тест – растений, достоверно ниже таковых в контроле: для семян кресс-салата, пророщенных на ДО, отобранных во всех створах реки, за исключением точки после р. Тирлян; для семян пшеницы – на образцах осадков участка реки после впадения р. Тирлян (2) – до Пугачевского карьера (4).

Из рисунка 2А видно, что длина корня кресс-салата изменялась в узком диапазоне от 47 до 65 мм и была ниже значения контроля (72 мм). Данный тест-отклик у пшеницы не превышал контроль (43 мм) лишь в точке после карьера (30 мм), а у редиса достоверно была выше контроля (23 мм) в створах до и после впадения притока Тирлян (10–11 мм, соответственно). Следует отметить, что значение контрольных и экспериментальных показателей длины корня проростка редиса, посеянных на образцах до зоны интенсивной антропогенной нагрузки, значительно ниже значений для других модельных растений.

Максимальная сухая масса проростков кресс-салата наблюдалась в точке после карьера (1,1112 г), а минимальная значение – до карьера (0,2414 г). Следует отметить, что контрольное значение (1,2756 г) было достоверно выше экспериментальных (рис. 2Б). Исследуемый показатель пшеницы был ниже контроля у растений, проросших в грунтах створа после р. Тирлян (0,0884 г), Бельский мост (0,0847 г), после карьера (0,0869 г). Следовательно, эти образцы осадков являются токсичными и затормаживают процессы накопления биологической массы этого растения.

Наибольшую сухую массу набрали проростки растений пшеницы (0,1385 г) и редиса (0,2047 г), выращенные в образцах осадков створа до р. Тирлян. Минимальные значения данного тест-отклика зарегистрированы в зоне действия техногенных факторов (Бельский мост – до карьера) (0,0884 г и 0,0924 г, соответственно).

Следует отметить, что контрольные показания измеренных тест-откликов для редиса на порядок ниже значений для остальных тест-систем. Вероятно, редис более требователен к присутствию питательных и минеральных веществ в грунтах [6].

Среди изученных характеристик различных фитотестов выявлены наиболее чувствительные тест-отклики: всхожесть семян и длина корня проростка. Изученные тест-системы по степени чувствительности можно расположить в следующий убывающий ряд: кресс-салат > редис > пшеница [6]. В работе установлена связь между содержанием ТМ в донных осадках, превышающем геохимический фон, и проявлением инди-

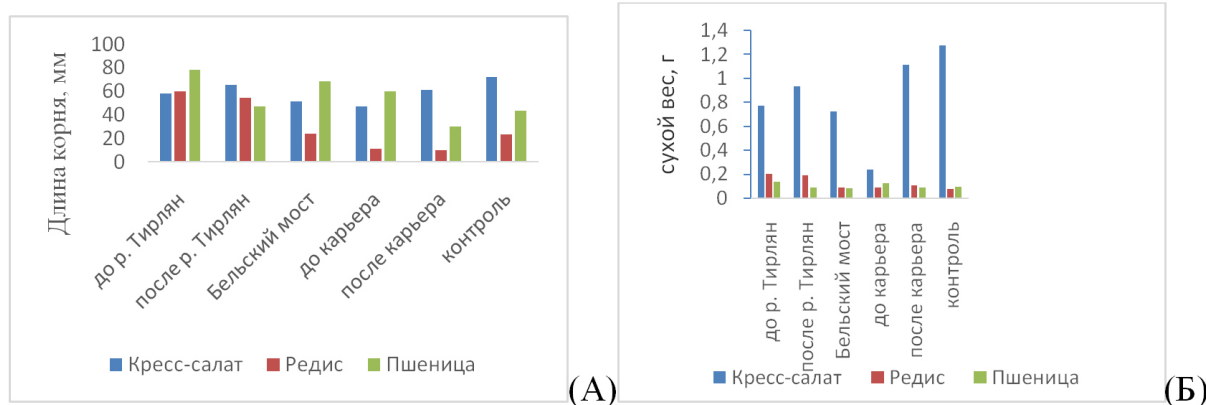


Рисунок 2. Изменение средней длины корня (А) и сухой массы (Б) проростков модельных растений

каторных свойств: повышение концентрации меди и никеля ингибирует всхожесть семян, увеличение длины корня и сухой массы проростков всех модельных растений.

Исследуемые грунты реки следует отнести к умеренно токсичной степени загрязнения, за исключением створа после впадения р. Тирлян. Данный участок водотока характеризуется

узким руслом и, как следствие, увеличением скорости её течения и преобладанием процессов вымывания токсичных элементов из осадков [5]. Однако, показатели всех модельных тест – систем никогда не совпадали полностью. Вероятно, это вызвано различной чувствительностью тест-систем к одному и тому же загрязнителю [6].

11.09.2015

Список литературы:

1. Гареев А.М. Реки и озера Башкортостана. – Уфа: Китап, 2001. – 260 с.
2. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 272 с.
3. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. – М.: Мир, 1987. – 288 с.
4. Выхристюк Л.А., Варламова О.Е. Донные отложения и их роль в экосистеме Куйбышевского водохранилища. – Самара, 2003. – 174 с.
5. Опекунов А.Ю. Экологическая седиментология: учеб. пособие. – СПб.: Из-во С.-Петерб. ун-та, 2012. – 224 с.
6. Багдасарян А.С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов // Дисс. ... степени канд. биол. наук. – Ставрополь, 2005. – 159 с.
7. Методические указания «Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии». – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 2006. – 30 с.
8. Добыча нерудных строительных материалов в водных объектах. Учет руслового процесса и рекомендации по проектированию и эксплуатации русловых карьеров. – СПб.: Изд-во «Глобус», 2012. – 140 с.
9. Методика измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв (М-П– 2006 ФР.1.39.2006.02264). – Санкт-Петербург, 2009. – 19 с.

Сведения об авторах:

Семенова Ирина Николаевна, доцент, профессор кафедры экологии Сибайского института (филиала) Башкирского государственного университета, доктор биологических наук

Кужина Гульнара Шарифовна, доцент кафедры экологии Сибайского института (филиала) Башкирского государственного университета, кандидат биологических наук

Серегина Юлия Юрьевна, соискатель Института региональных исследований Республики Башкортостан

Ягафарова Гульсина Азатовна, доцент, исполняющий обязанности заведующего кафедры экологии Сибайского института (филиала) Башкирского государственного университета, кандидат биологических наук

Зулкарнаев Айрат Булатович, доцент кафедры физической культуры, заместитель декана по воспитательной работе естественно-математического факультета Сибайского института (филиала) Башкирского государственного университета, кандидат биологических наук

Мусин Халит Галеевич, выпускник 2015 г. специальности «Биология» Сибайского института (филиала) Башкирского государственного университета.