

ОЦЕНКА ТОКСИЧНОСТИ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ РЕКИ БЕЛАЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРЕСС-САЛАТА *LEPIDIUM SATIVUM*

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

¹Сибайский институт (филиал) ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», Сибай, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: alexa-94@mail.ru;

²ГАНУ «Институт региональных исследований Республики Башкортостан», г. Сибай, Республика Башкортостан, Россия, e-mail: sergei_seregin@bk.ru

В работе исследована пространственная изменчивость тяжелых металлов в грунтах р. Белая на территории Белорецкого района Республики Башкортостан. Бассейн реки отличается значительным разнообразием полиметаллических руд, интенсивная разработка и переработка которых существенно увеличили загрязнение данного водоема. Среди источников загрязнения следует выделить открытые карьеры вблизи прибрежной зоны, промышленные и коммунально-бытовые стоки г. Белорецк. В осадках водотока изученные металлы по среднему содержанию образуют убывающий ряд: Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd. Содержание меди, цинка, кадмия, железа, никеля и кобальта в грунтах р. Белая превышало значение геохимического фона во всех створах реки. Концентрация же свинца была выше нормы в зоне влияния Пугачевского карьера. Донные отложения исследованной территории по показателю суммарного загрязнения характеризуются чрезвычайно опасным уровнем техногенного загрязнения. Определение токсичности загрязненных грунтов основано на вычислении степени изменения всхожести семян и длины корня проростков кресс-салата по сравнению с контрольной пробой. Исследуемые осадки следует отнести к умеренно токсичной степени загрязнения. Лишь грунты створа после впадения р. Тирлян относятся к практически не токсичным, что, вероятно, связано с изменением гидродинамических характеристик водотока.

Ключевые слова: донные отложения, тяжелые металлы, р. Белая, геохимический фон, суммарный показатель загрязнения, биотестирование, кресс-салат.

EVALUATION OF THE TOXICITY OF SEDIMENTS OF THE RIVER BELAYA WITH *LEPIDIUM SATIVUM*

^{1,2}Semenova I.N., ¹Kuzhina G.S., ²Seregina Y.Y., ¹Musin K.G.

¹Sibaiski Institute (branch) «The Bashkir state University», Sibay, Republic of Bashkortostan, Russia, e-mail: alexa-94@mail.ru;

²Institute of regional researches of the Republic of Bashkortostan, Sibay, Republic of Bashkortostan, Russia, e-mail: sergei_seregin@bk.ru

The work is devoted to research the spatial variability of heavy metals in sediments of the territory of Beloretsk district, Republic of Bashkortostan. Basin of the river is characterized by considerable diversity of polymetallic ores, intensive development and processing of which significantly increased pollution of the watercourse. Among the sources of contamination should be made open careers vicinity coastal zone, industrial and municipal and domestic wastewater Beloretsk. In the sediments of the pond studied metals at an average content form a descending range: Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd. The content of copper, zinc, cadmium, iron, nickel and cobalt in grounds river Belaya exceed the value of the geochemical background observed in all points of the river. The concentration of lead was higher than normal in the zone of influence of the Pugachev career. Sediments of the investigated territory the total pollution are characterized by extremely dangerous level of technogenic pollution. Determination of toxicity of contaminated grounds is based on the calculation of rate of change of seed germination and root length of seedlings of cress compared to the control sample. The test should be attributed to sediments is moderately toxic pollution degree. Only grounds after confluence Tirlyan are practically non toxic, probably due to a change in the hydrodynamic characteristics of the watercourse.

Keywords: sediments, heavy metals, river Belaya, geochemical background, the total contamination index, biotesting, cress.

Белорецкий район Республики Башкортостан (РБ) является одним из старейших и крупнейших центров горнодобывающей и металлургической промышленности России,

являющихся основными источниками загрязнения тяжелыми металлами (ТМ) водных объектов в зоне воздействия промышленных комплексов данного региона [6, 7].

Главной водной артерией РБ, испытывающей значительное антропогенное влияние, является река Белая (Агидель). В верхнем течении река зарегулирована. Для целей водоснабжения промышленного узла г. Белорецк создано Белорецкое водохранилище. Сточные воды и выбросы предприятий оказывают негативное влияние на качество воды реки и ограничивают её использование в нижнем течении для хозяйственно-питьевых и культурно-бытовых нужд населения [3, 14].

В настоящее время оценить степень загрязнения водоемов по содержанию в поверхностных водах химических элементов объективно не удастся [8, 11]. Поэтому в качестве чувствительного показателя уровня загрязненности гидросистемы чаще используют наиболее инерционное звено-донные отложения (ДО) [2, 8, 11, 12]. При этом введение методов биомониторинга в сеть контроля над их состоянием позволяет адекватно оценить токсичность водотока. Для этого используются модельные растительные тест-системы (кресс-салат, редис, пшеница и др.) [1]. В данной работе предпринята попытка оценки токсичности ДО р. Белая с целью изучения пространственной изменчивости ТМ в грунтах верховья реки с использованием *Lepidium sativum*.

Материалы и методы исследования

Материалом для работы послужили ДО, отобранные в соответствии с МУ РД 52.18.685 в летний период 2013 г. на территории Белорецкого района РБ (рис. 1).

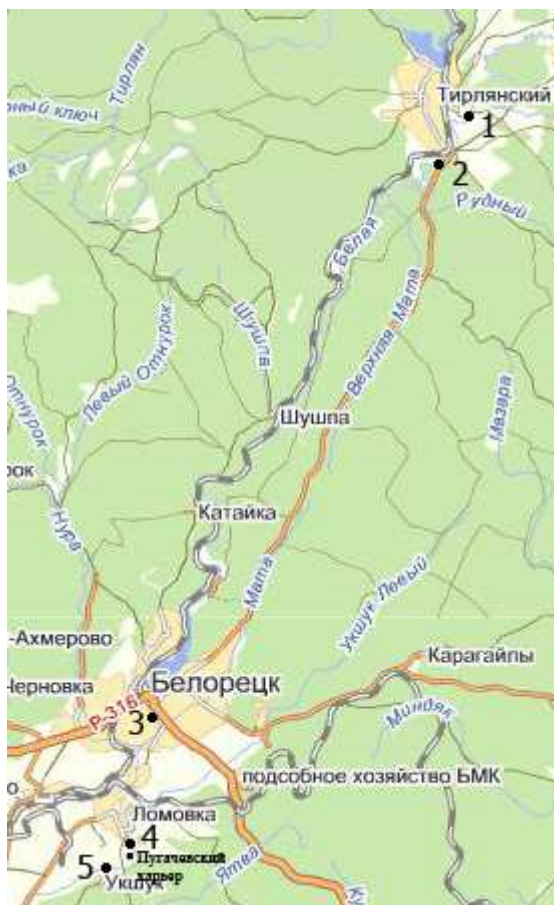


Рис. 1. Карта – схема расположения точек отбора проб в районе исследования

Наблюдательная сеть включала 5 точек отбора грунтов: 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) (рис. 1).

Валовое содержание ТМ (Cu, Zn, Fe, Mn, Pb, Cd, Ni, Co) в образцах ДО определяли с помощью метода атомно-абсорбционной спектрофотометрии в центральной химической лаборатории Сибайского филиала Учалинского горно-обогатительного комбината [9]. Для оценки загрязнения ДО исследуемого водотока использовали кратность превышения геохимических фоновых концентраций металлов, установленных Институтом минералогии, геохимии и кристаллографии редких элементов (ФГУП «ИМГРЭ») [4] (табл. 1):

Таблица 1

Геохимическая фоновая концентрация тяжелых металлов
в донных отложениях, мг/кг [4].

Fe	Mn	Cd	Zn	Pb	Cu	Ni	Co
3800	1100	0,3	20	9	4	20	0,1

Уровень техногенного загрязнения ДО реки оценивали с помощью суммарного показателя загрязнения (СПЗ):

$$СПЗ = \sum K_c - (n-1),$$

где $K_c = C_i/C_{\phi}$ – коэффициент концентрации отдельных компонентов загрязнения; n – число суммируемых веществ, коэффициент концентрации K_c которых выше 1,0.

Критические значения, позволяющие охарактеризовать ДО по степени загрязнения, таковы: при $СПЗ \leq 8$ – слабо загрязненные; при $8 \leq СПЗ \leq 16$ – допустимая степень загрязнения; при $16 \leq СПЗ \leq 32$ – умеренно опасная; при $32 \leq СПЗ \leq 128$ – опасная; $СПЗ \geq 128$ – чрезвычайно опасная [12].

Методика биотестирования основана на определении процента всхожести и измерения длины проростков кресс-салата *Lepidium sativum* сорта «Забава» при влиянии токсических веществ, присутствующих в ДО исследуемого водотока. Известно, что это растение обладает повышенной чувствительностью к загрязнению почв и грунтов ТМ. Этот биоиндикатор отличается быстрым прорастанием семян и высокой долей всхожести, заметно уменьшающейся в присутствии загрязнителей [10].

Семена растений закладывали в предварительно увлажненный грунт по 20 шт. в чашки Петри. В качестве контроля выступал кварцевый песок, предварительно промытый горячей дистиллированной водой. По необходимости производился полив образцов дистиллированной водой. Учет результатов эксперимента производили на 3-7-ой день до появления первого листа.

На основе определения всхожести семян и длины корня проростков кресс-салата техногенно загрязненные грунты могут быть отнесены к следующей степени токсичности (табл. 2) [10].

Таблица 2

Критерии степени токсичности техногенно загрязненных донных отложений реки [10]

Степень токсичности	Степень изменения всхожести семян по сравнению с контролем, N_1 , %	Степень изменения длины корня по сравнению с контролем, N_2 , %
V – практически не токсичные	$0 < N_1 \leq 20$	$0 < N_2 \leq 20$
IV – малотоксичные	$0 < N_1 \leq 20$	$20 < N_2 \leq 50$
III – умеренно токсичные	$20 < N_1 \leq 70$	$50 < N_2 \leq 70$
II – опасно токсичные	$70 < N_1 < 100$	$70 < N_2 < 100$
I – высоко опасно токсичные	$N_1 = 100$	$N_2 = 100$

Результаты исследования и их обсуждение

В донных отложениях верховья реки Белая в условиях района исследования изученные металлы образуют убывающий ряд элементов по их среднему содержанию $Fe > Mn > Zn > Ni > Cu > Pb > Co > Cd$, в распределении которых по длине реки отмечается определенная неравномерность.

Содержание Cu, Zn, Cd, Fe, Ni, Co в грунтах р. Белая превышало значение геохимического фона во всех створах реки: по меди – в 6-17 раз, цинку – 13-21 раз, кадмию – 10-13 раз, никелю – до 1,2 раза, железу – 9-11 раз, кобальту – 155-187 раз.

В то же время концентрация Pb в ДО участка реки до Бельского моста не превышала фоновое значения. Однако в зоне влияния Пугачевского карьера концентрация этого элемента была максимальна, превысив фон в 1,6 раза.

Содержание марганца во всех грунтах исследованного водотока находилось в пределах геохимического фона.

Расчет суммарного показателя загрязнения показал, что донные осадки р. Белая характеризуются чрезвычайно опасной степенью загрязнения (табл. 3).

Таблица 3

Суммарный показатель загрязнения донных отложений р. Белая

Точка отбора	СПЗ	Степень загрязнения
до р. Тирлян	216	чрезвычайно опасная
после р. Тирлян	201	чрезвычайно опасная
Бельский мост	243	чрезвычайно опасная
до карьера	229	чрезвычайно опасная
после карьера	215	чрезвычайно опасная

Наибольший вклад в суммарный показатель загрязнения вносит кобальт, для которого зафиксировано максимальное превышение значения фона ($K_c = 155 - 188$). При этом нельзя исключать роль и других металлов: $K_c (Zn) = 13 - 21$; $K_c (Cu) = 6 - 17$; $K_c (Cd) = 9 - 13$.

В связи с вышеизложенным, представляется интересным исследовать фитотоксическое действие ДО тестируемых образцов с повышенным содержанием ТМ в биотесте на всхожесть семян и длину корня проростка кресс-салата (табл. 4).

Таблица 4

Результаты биотестирования донных отложений р. Белая
с помощью кресс-салата *Lepidium sativium*

Точка отбора	Длина корня, мм	Всхожесть, %
до р. Тирлян	58±12	70
после р. Тирлян	65±13	93
Бельский мост	51±13	67
до карьера	47±15	30
после карьера	61±13	80
контроль	72±16	90

Из таблицы 4 следует, что длина корня кресс-салата изменялась в узком диапазоне и не превышала значения контроля. Минимальная всхожесть семян модельного растения, составляющая 30%, зарегистрирована в створе Бельский мост, а максимум, равный 93%, был характерен для пробы, отобранной в створе после впадения р. Тирлян. Следует отметить, что этот образец превышал контроль по изученному показателю. В результате статистической обработки данных между измеренными параметрами кресс-салата выявлена положительная достоверная связь ($r=0,92$). Литературные источники указывают, что на ранних фазах развития растения в неблагоприятных условиях среды стремятся обеспечить рост подземных органов, снижая при этом интенсивность физиологических процессов [5].

Определение токсичности загрязненных донных осадков основано на вычислении степени изменения всхожести семян и длины корня проростков растительной тест-системы по сравнению с контрольной пробой (табл. 5).

Таблица 5

Оценка степени токсичности техногенного загрязнения донных отложений
с помощью кресс-салата *Lepidium sativum*

Точка отбора	Степень изменения всхожести семян по сравнению с контролем, %	Степень токсичности по всхожести	Степень изменения длины корня по сравнению с контролем, %	Степень токсичности по длине корня	Степень токсичности
1	22	III	19	V	III
2	-3	V	10	V	V
3	26	III	29	IV	III
4	67	III	35	IV	III
5	36	III	15	V	III

Таким образом, исследуемые грунты следует отнести к умеренно токсичной степени загрязнения. Лишь ДО створа после впадения р. Тирлян относятся к практически не токсичным, что, вероятно, связано с изменением гидродинамических характеристик

водотока. Данный участок реки характеризуется узким руслом и, как следствие, увеличением скорости её течения и преобладанием процессов вымывания токсичных элементов из осадков [2, 12].

Влияние концентраций ТМ на всхожесть семян и длину корней проростка тест – растение было изучено с помощью корреляционного анализа. Выяснилось, что в этом случае имеет место как положительная, так и отрицательная корреляционная зависимость, но недостоверного характера. Поэтому в работе попытались проанализировать характер изменчивости полученных показателей биотестирования в зависимости от содержания ТМ в грунтах р. Белая с помощью полиномиальной подгонки [13].

Нелинейный характер зависимости длины корня кресс-салата от содержания железа и свинца в ДО р. Белая позволил определить их критическую концентрацию в грунтах, при которой наступает угнетение фиксируемого показателя биотеста: для Fe – 37000 мг/кг, Pb – 9 мг/кг (рис. 2). Дальнейшее увеличение концентрации данных металлов в ДО приводит к удлинению корня проростка, что позволило выдвинуть предположение об их стимулирующем эффекте.

Другой характер зависимости длины корня проростка от содержания марганца, никеля и кадмия позволил определить концентрации металлов в грунтах, при которых наступает максимальный эффект стимулирования данного показателя: для Mn – 700 мг/кг, Ni – 74 мг/кг, Cd – 3,5 мг/кг (рис. 3). При дальнейшем увеличении их концентрации в ДО наблюдалось снижение всхожести и уменьшение длины корня, что, вероятно, связано с токсическим действием этих металлов.

Характер зависимости всхожести семян от содержания железа, свинца, марганца, никеля и кадмия аналогичен изменчивости, выявленной для массива данных по длине корня проростка кресс-салата.

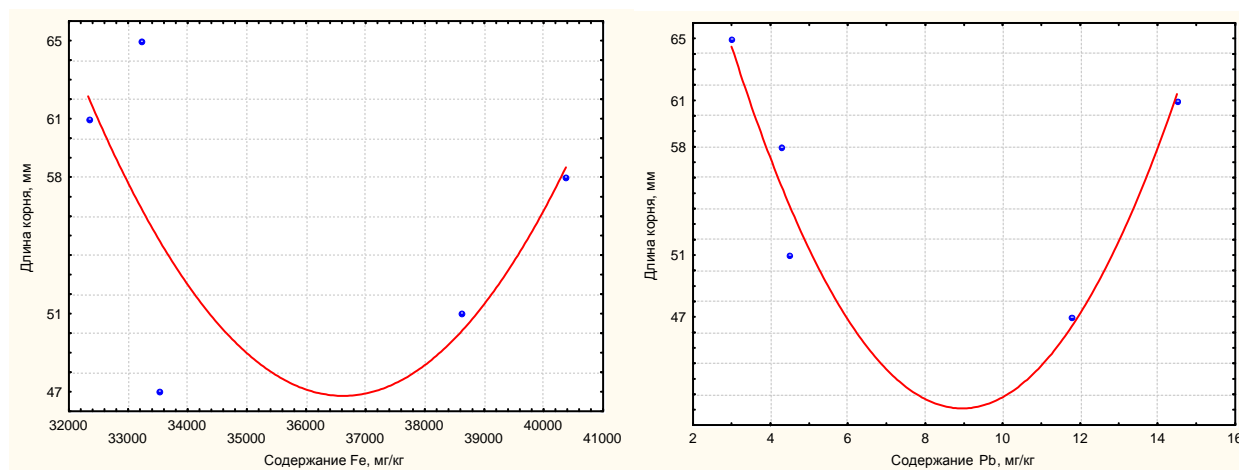


Рис. 2. Зависимость длины корня кресс-салата от содержания железа и свинца

в донных отложениях р. Белая

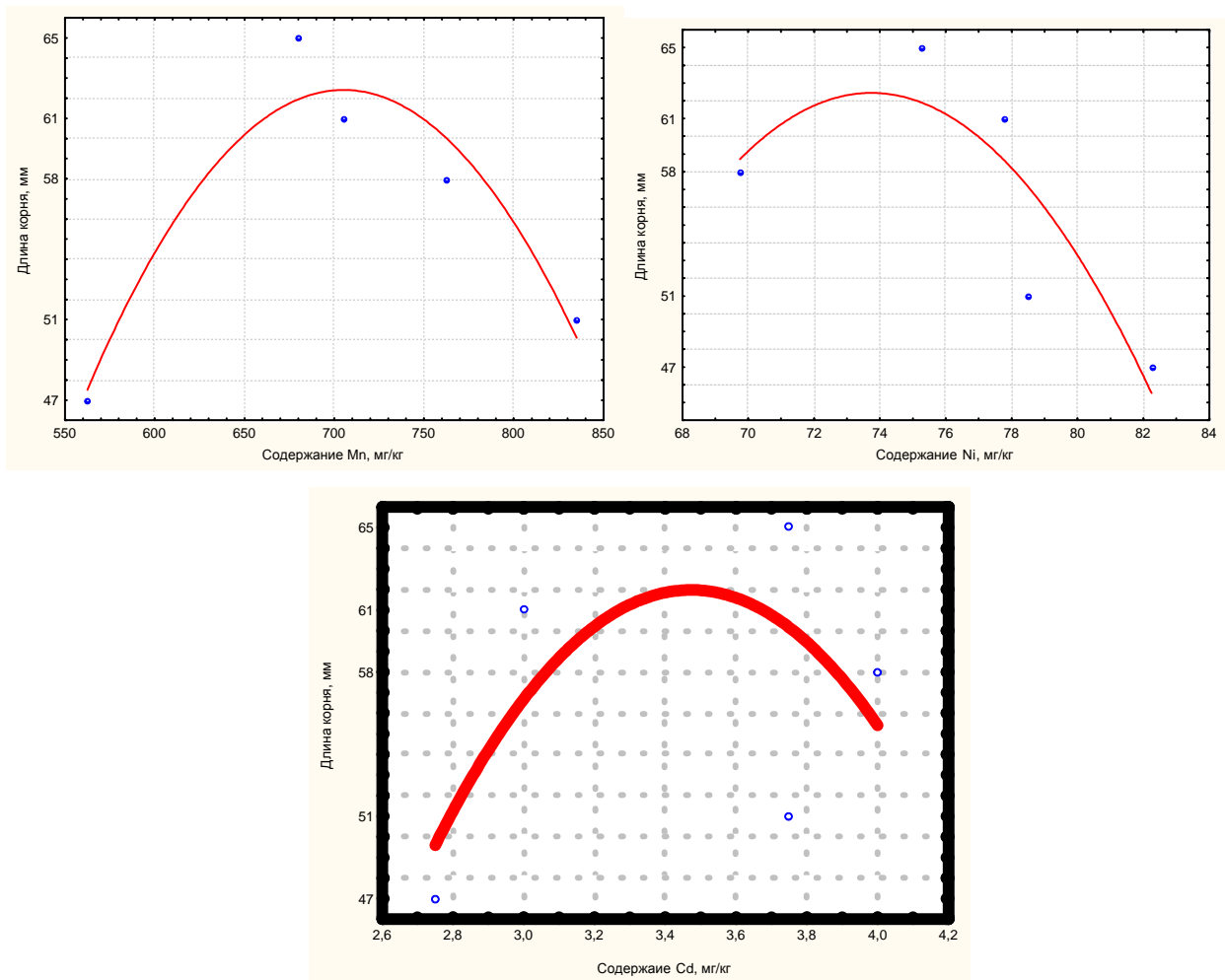


Рис. 3. Зависимость длины корня кресс-салата от содержания марганца, никеля и кадмия в донных отложениях р. Белая

Таким образом, изучение характера пространственной изменчивости ТМ в донных осадках р. Белая позволило заключить, что содержание Cu, Zn, Cd, Fe, Ni, Co является индикатором напряженности экологической ситуации на территории промышленного освоения водотока. Повышенное содержание в ДО железа и свинца отрицательно влияло на всхожесть семян и длину корня кресс-салата. Напротив, повышенное содержание марганца, никеля и кадмия в грунтах способствовало стимуляции роста и развития растительного объекта.

Список литературы

1. Багдасарян А.С. Биотестирование почв техногенных зон городских территорий с использованием растительных организмов // Дисс. ... канд. биол. наук. – Ставрополь, 2005. – 159 с.

2. Выхристюк Л.А., Варламова О.Е. Донные отложения и их роль в экосистеме Куйбышевского водохранилища. – Самара, 2003. – 174 с.
3. Гареев А.М. Реки и озера Башкортостана. – Уфа: Китап, 2001. – 260 с.
4. 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.
5. Казнина Н.М., Титов А.Ф., Лайдинен Г.Ф., Батова Ю.В. Влияние кадмия на некоторые физиологические показатели растений ячменя в зависимости от их возраста // Труды Карельского научного центра РАН. – 2010. - №2. – С. 27-31.
6. Косов В.И. Иванов Г.Н., Левинский В.В., Ежов Е.В. Концентрации тяжелых металлов в донных отложениях Верхней Волги // Водные ресурсы. – 2001. – Т.28. - №4. – С. 448-453.
7. Лепехин А.П., Максимович Н.Г., Садохина Е.Л., Мирошниченко С.А., Меньшикова Е.А. Роль донных отложений в формировании качества воды рек Западного Урала // Вестник Перм. ун-та. – Пермь, 1999. – Вып. 3. Геология. – С. 299-309.
8. Линник П.Н., Набиванец Б.И. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. – Л.: Гидрометеиздат, 1986. – 272 с.
9. Методические указания «Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектроскопии». – СПб.: Гидрометеиздат, 2006. – 30 с.
10. Методика измерений всхожести семян и длины корней проростков высших растений для определения токсичности техногенно загрязненных почв (М-П-2006 ФР.1.39.2006.02264). – СПб., 2009. – 19 с.
11. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния. – М.: Мир, 1987. – 288 с.
12. Опекунов А.Ю. Экологическая седиментология: учеб. пособие. – СПб.: Из-во С.-Петербург. ун-та, 2012. – 224 с.
13. Пузаченко Ю.Г. Математические методы в экологических и географических исследованиях: Учебное пособие для студентов вузов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 16 с.
14. Фаткуллин Р.А. Природные ресурсы Республики Башкортостан и рациональное их использование. – Уфа: Китап, 1996. – 176 с.

Рецензенты:

Суюндуков Я.Т., д.б.н., профессор, директор ГАНУ «Институт региональных исследований», г. Сибай;

Янтурин С.И., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой экологии Сибайского института (филиала) ФГБОУ ВПО «Башкирский государственный университет», г. Сибай.