

## ОЦЕНКА ФИТОТОКСИЧНОСТИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД Р. КАРАГАЙЛЫ (РЕСПУБЛИКА БАШКОРТОСТАН)

Семенова И.Н.<sup>1</sup>, Кузина Г.Ш.<sup>2</sup>, Ягафарова Г.А.<sup>2</sup>, Ильбулова Г.Р.<sup>2</sup>, Рафикова Ю.С.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Сибайский филиал ГАНУ «Институт стратегических исследований Республики Башкортостан», Сибай, e-mail: alexa-94@mail.ru;

<sup>2</sup>Сибайский институт (филиал) ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет», Сибай, e-mail: kuzhina\_gsh77@mail.ru

Выявлен повышенный уровень содержания меди, цинка, железа, марганца и никеля в поверхностных водах р. Карагайлы, протекающей в Зауральской зоне Республики Башкортостан в зоне промышленных и коммунально-складских предприятий. Превышение ПДК в среднем составило: по Zn - в 358,0 раз, Fe - 6,8 раза, Mn - 45,0 раз, Cu - 44,0 раз, Ni - 2,0 раза, Cd - 1,6 раза. Изученные металлы образуют убывающие ряды элементов по их среднему содержанию в воде р. Карагайлы: Zn > Fe > Mn > Cu > Ni > Cd. Исследование пространственной изменчивости металлов в воде р. Карагайлы позволило заключить, что содержание Zn, Mn, Cd, Fe, Cu является индикатором напряженности экологической ситуации на территории промышленного освоения реки. Оценку фитотоксичности вод р. Карагайлы проводили путем биотестирования. Выявлена чувствительность таких показателей растительных систем *Lepidium sativum* L. и *Allium porrum* L., как всхожесть семян, длина корня, масса проростков, к действию металлов. Из изученных растительных тест-систем кресс-салат является наиболее чувствительным к загрязнению воды исследуемого водотока. Тестируемые образцы воды, отобранные в зоне техногенной нагрузки, являлись фитотоксичными по отношению к всхожести семян и сухой массе проростков кресс-салата. Фактором, отрицательно влияющим на всхожесть семян кресс-салата и лука-порей, оказалось содержание в воде цинка. Напротив, повышенное содержание ионов Zn и Ni в воде способствовало стимуляции роста и удлинению подземной части обеих растительных тест-систем.

Ключевые слова: река, хвостохранилище, горно-перерабатывающая промышленность, тяжелые металлы, биотестирование, кресс-салат, лук-порей.

## EVALUATION OF PHYTOTOXICITY OF SURFACE WATERS OF THE RIVER KARAGAILY (REPUBLIC OF BASHKORTOSTAN)

Semenova I.N.<sup>1</sup>, Kuzhina G.Sh.<sup>2</sup>, Yagafarova G.A.<sup>2</sup>, Ilbulova G.R.<sup>2</sup>, Rafikova Y.S.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Sibay Branch of the Institute of Strategic Studies of the Republic of Bashkortostan, Republic of Bashkortostan, Sibay, e-mail: alexa-94@mail.ru;

<sup>2</sup>Sibaiski Institute (branch) «The Bashkir state University», Sibay, e-mail: kuzhina\_gsh77@mail.ru

Elevated levels of copper, zinc, iron, manganese and nickel in the surface waters of the river have been revealed. Karagaily flowing into the Trans-Ural region of Bashkortostan Republic in the area of industrial, municipal and warehouse enterprises. Exceedance of MACs averaged: Zn - 358.0 times, Fe - 6.8 times, Mn - 45.0 times, Cu - 44.0 times, Ni - 2.0 times, Cd - 1.6 times. The studied metals form decreasing series of elements according to their average content in the water p. Karagajly: Zn > Fe > Mn > Cu > Ni > Cd. Investigation of the spatial variability of metals in the water of the river. Karagaily allowed to conclude that the content of Zn, Mn, Cd, Fe, Cu is an indicator of the intensity of the ecological situation on the territory of industrial development of the river. Assessment of the phytotoxicity of the Karanayla River waters was carried out by biotesting. The sensitivity of such indicators of plant systems *Lepidium sativum* L. and *Allium porrum* L. was revealed, such as seed germination, root length, seedling mass, and the action of metals. Of the plant test systems studied, the watercress is the most sensitive to the water pollution of the watercourse under study. The water samples tested in the technogenic load zone were phytotoxic in relation to the germination of the seeds and the dry weight of the watercress seedlings. Factor, adversely affecting the germination of seeds of watercress and leek, was the content of zinc in the water. On the contrary, the increased content of Zn and Ni ions in water promoted growth stimulation and lengthening of the underground part of both plant test systems.

Keywords: river, tailing pond, mining industry, heavy metals, biotesting, watercress, leek.

Среди многих негативных последствий хозяйственной деятельности человека особое место занимает загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами (ТМ), многие из которых являются чрезвычайно токсичными даже в минимальных количествах [1].

Город Сибай является промышленным и культурным центром Башкирского Зауралья (БЗ). Современная промышленная инфраструктура города включает в себя более десятка предприятий, из которых основным в течение полувека являлся Башкирский медно-серный комбинат (БМСК). В настоящее время он преобразован в Сибайский филиал ОАО «Учалинский горно-обогатительный комбинат» (СФ УГОК), входящий в Уральскую горно-металлургическую компанию (УГМК) [2]. Источником водоснабжения данного предприятия является р. Карагайлы. В переводе с башкирского языка её название переводится как «сосновая». Она относится к Уральскому бассейновому округу и входит в водохозяйственный участок реки Урал от Магнитогорского до Ириклинского гидроузла. Речной подбассейн реки отсутствует. Карагайлы - правый приток р. Туяляс. Она берет начало в 7 км к юго-востоку от с. Мерясово Баймакского района РБ, на хребте Ирендек. Протекает с запада на восток и впадает в р. Туяляс в 27 км от ее устья. Длина - 28 км, ширина реки в черте города - 1-2 м, глубина - 0,5 м [3].

Река Карагайлы протекает в зоне промышленных и коммунально-складских предприятий. По всей длине реки расположены отвалы вскрышных (горных) пород Сибайского и Камаганского месторождений, отходы переработки руд - отвальные хвосты флотации обогатительной фабрики и Сибайский карьер, граничащий с жилыми поселками. В связи с этим возникает опасность загрязнения прилегающих территорий токсичными химическими элементами, в частности ТМ.

Цель исследования - изучение пространственной изменчивости тяжелых металлов (Cu, Zn, Fe, Mn, Ni, Cd) в поверхностных водах р. Карагайлы с последующей оценкой их фитотоксичности.

### **Материалы и методы исследования**

Материалом для работы послужили образцы воды, отобранные в летний период 2016 г. в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 с приповерхностного горизонта. Наблюдательная сеть включала в себя следующие створы: ПП1 - у истока р. Карагайлы; ПП2 – пруд вблизи с. Старый Сибай Баймакского района РБ (10 км от истока); ПП3 – на территории с. Ст. Сибай (15 км от истока); ПП4 - выше хвостохранилища обогатительной фабрики за Сибайским заводом буровых реагентов; ПП5 - в районе хвостохранилища; ПП6 - ниже хвостохранилища у пос. Калинино (рис. 1).

В образцах воды, прежде всего, методом атомной абсорбции определяли содержание ТМ (Cu, Zn, Fe, Mn, Cd, Ni) [4]. Для экологической оценки качества вод использовали кратность превышения предельно допустимых концентраций (ПДК) металлов для водоемов рыбохозяйственного назначения [5, с. 57].

Для определения токсичности вод р. Карагайлы была применена методика определения токсичности питьевых, грунтовых поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести семян, средней длины и среднего сухого веса проростков семян кресс-салата *Lepidium sativum* L. сорта «Весенний» и лука-поррея *Allium Porrum* L. [6].

Статистическая обработка проводилась с помощью пакета компьютерных программ STATISTICA 6.0.

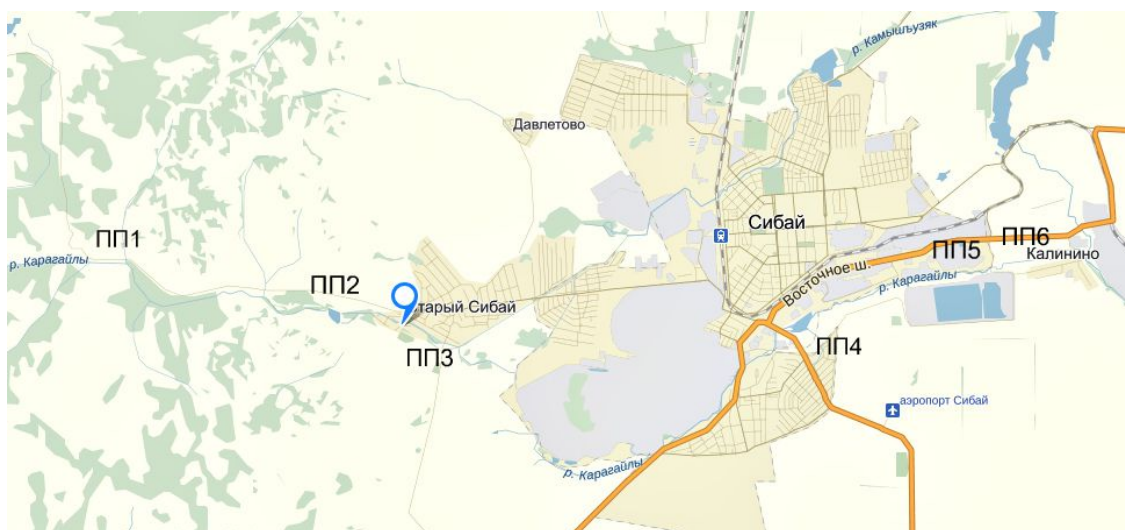


Рис. 1. Карта-схема расположения точек отбора в районе исследования

### Результаты исследования и их обсуждение

Анализ пространственной изменчивости концентраций ТМ в воде р. Карагайлы за летний период наблюдений в 2016 г. показал, что во всех исследуемых створах зафиксировано превышение допустимой нормы по содержанию меди, цинка, железа, марганца и никеля. Концентрация кадмия в воде не превышала ПДК лишь в ПП2. Для данных металлов в зоне непромышленного освоения исследуемого водотока зафиксировано превышение нормы по содержанию: Cu – в 25,0 раз, Zn – 18,0 раз, Fe – 1,7 раза, Mn – 2,0 раза, Ni – 1,2 раза, что связано со специфическими геохимическими особенностями района исследования.

Вблизи хвостохранилища СОФ (ПП5) наблюдалось максимальное превышение ПДК по меди (в 146 раз) и железу (в 36 раз), обусловленное продолжительным складированием отходов обогащения руды и ответвления жидкой фазы пульпы. В то же время в воде ПП4 зарегистрированы наибольшие концентрации Zn (1148 ПДК), Mn (154 ПДК), Cd (3,6 ПДК), что, возможно, связано с дополнительным источником поступления растворимых соединений цинка, расположенных выше по течению водотока. Для цинка выявлен уровень

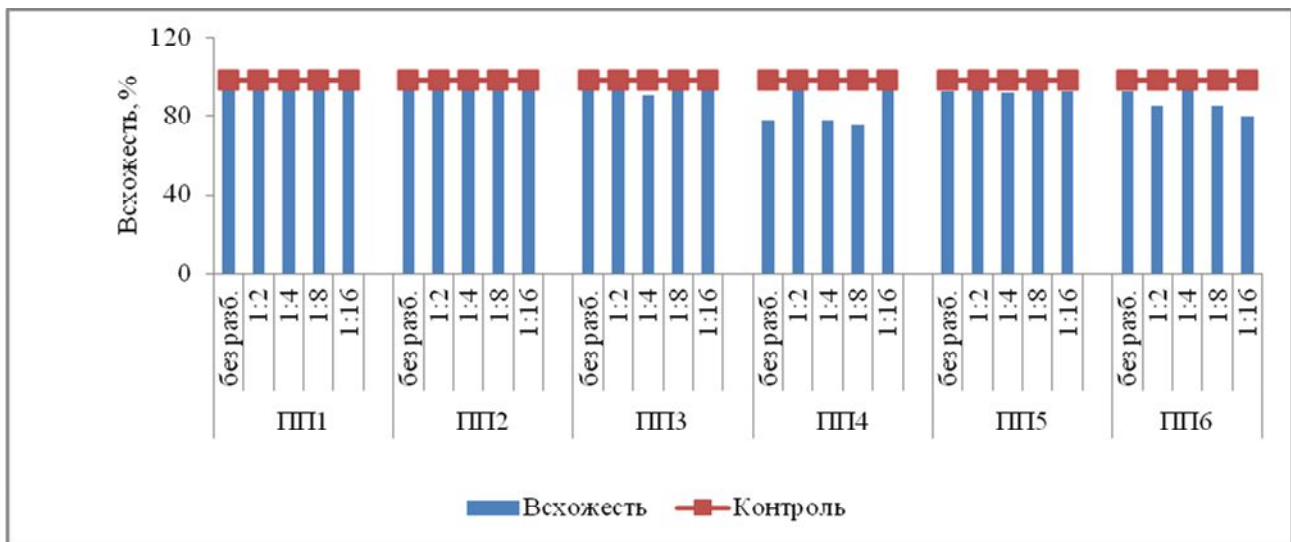
содержания, соответствующий критерию экстремально высокого загрязнения поверхностных вод ( $> 0,5 \text{ мг/дм}^3$ ) (ПП4 и ПП5), тогда как для марганца - высокого загрязнения ( $0,1- 0,5 \text{ мг/дм}^3$ ) в ПП4 [5, с. 58-68]. Концентрация никеля в воде зоны промышленного освоения реки оставалась равномерной и составила  $0,02 \text{ мг/дм}^3$ .

Статистический анализ полученных данных выявил достоверную связь (при  $p=0,05$ ) между содержанием в воде Mn и Zn ( $r = 0,89$ ) и Mn и Cd ( $r = 0,94$ ). Видимо, это связано с адсорбционными процессами, обусловленными постоянным присутствием в составе взвесей речных вод гидроксида марганца, а также высоким сорбционным сродством соединений марганца по отношению к ионам кадмия [7]. Аналогичная зависимость выявлена между содержанием Cu и Fe ( $r = 0,95$ ).

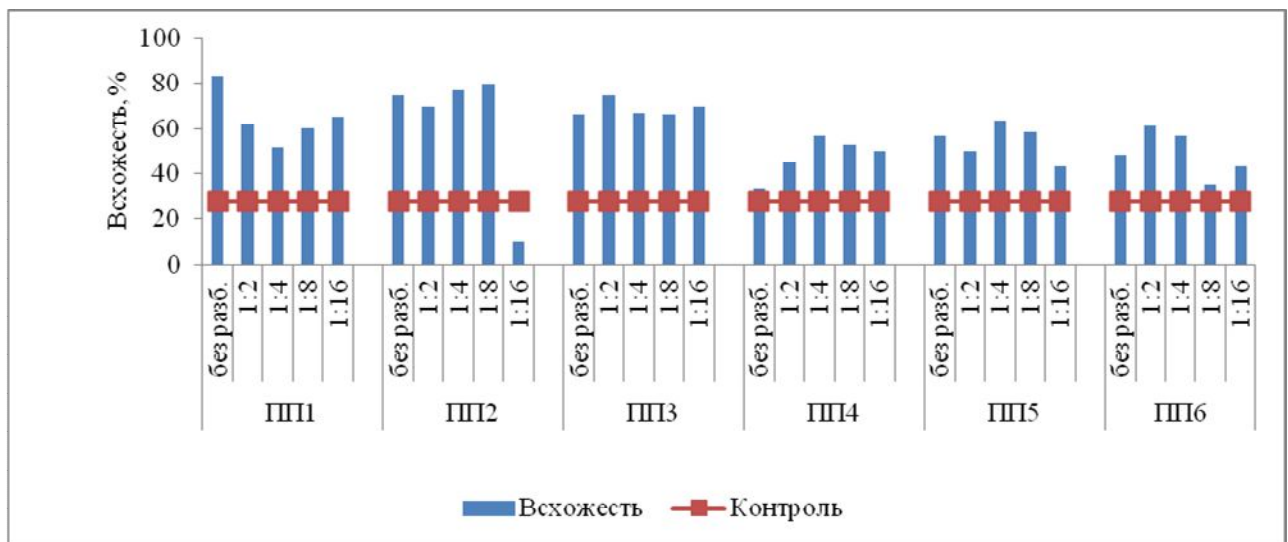
В ходе биотестирования фиксировалось несколько тест-откликов на одном растительном тест-объекте: всхожесть семян, длина корней и сухая масса проростка. В качестве контрольного образца использовалась дистиллированная вода.

Всхожесть семян кресс-салата изменялась в пределах от 75 до 100%, в контроле этот показатель составлял 100% (рис. 2А). Минимальный показатель всхожести зарегистрирован при выращивании семян в исходном образце воды створа 4, расположенного выше хвостохранилища. Возможно, что это обусловлено наличием в воде данного участка каких-либо ингибиторов роста, содержание которых снижалось до допустимого уровня при разбавлении пробы в 16 раз и не препятствовало прорастанию. В то же время при разбавлении образцов воды створа 6 наблюдалось снижение всхожести семян, что, возможно, обусловлено дефицитом минеральных веществ, необходимых для их прорастания [3].

Всхожесть семян лука-порей варьировала в пределах от 10 до 83,5%, в контроле же она составила 28% (рис. 2Б). Минимальное значение этого показателя зарегистрировано в исходном образце воды створа 2 (пруд вблизи с. Старый Сибай) и 6 (ниже хвостохранилища у пос. Калинино), что, возможно, обусловлено влиянием отвалов Сибайского карьера и недостаточно очищенных сточных вод обогатительной фабрики. По сравнению с кресс-салатом всхожесть лука-порей с разбавлением в 8-16 раз поверхностных вод реки увеличивалась во всех створах.



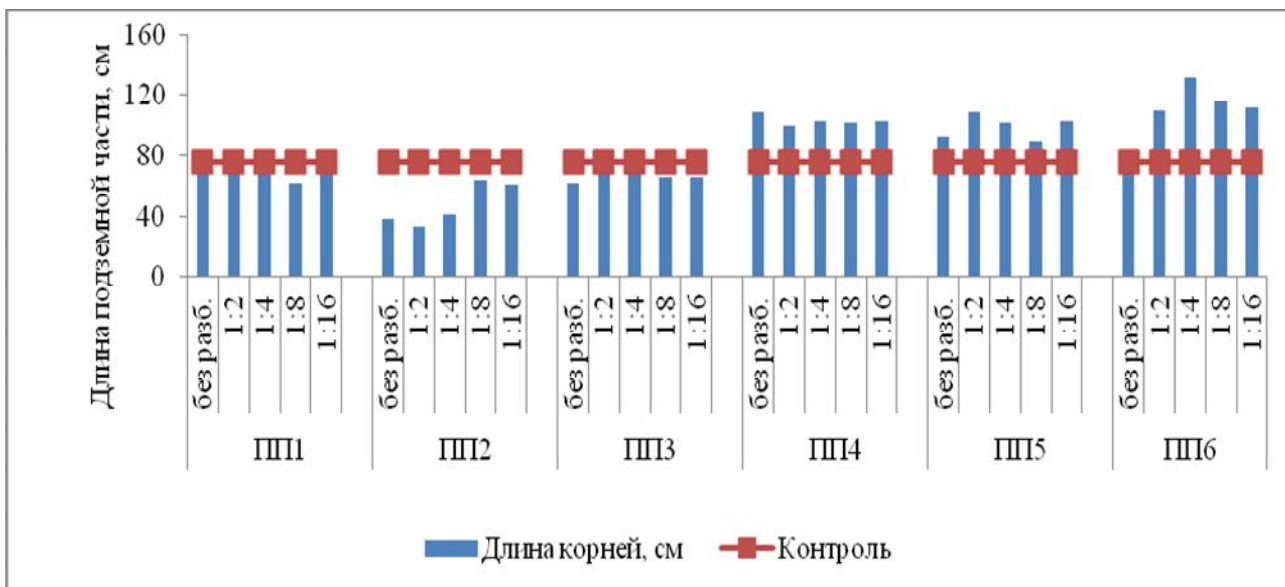
(A)



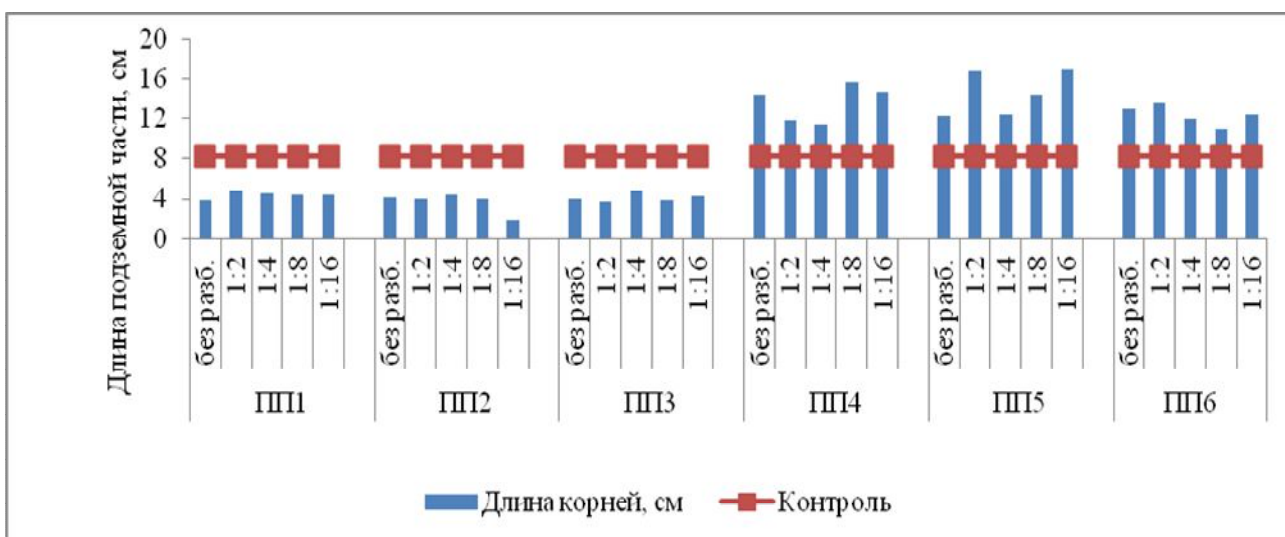
(B)

Рис. 2. Изменчивость всхожести семян *Lepidium sativum* (A) и *Allium porrum* (B) в пробах воды р. Карагайлы в диапазоне концентрации 1-16

Длина подземной части проростков кресс-салата изменялась в пределах от 33,8 до 131,8 см, в контроле равнялась 76,3 см (рис. 3А). Выращивание семян кресс-салата с использованием образцов воды створов 1-3 (зоны влияния отвалов) выявило их фитотоксичность, поскольку значения измеренного тест-отклика не достигали уровня контроля. Минимальный показатель длины корня кресс-салата зарегистрирован в опыте с использованием воды створа 2 (пруд вблизи с. Старый Сибай). Однако разбавление привело к увеличению его длины, что можно связать со снижением концентрации токсичных веществ.



(A)



(B)

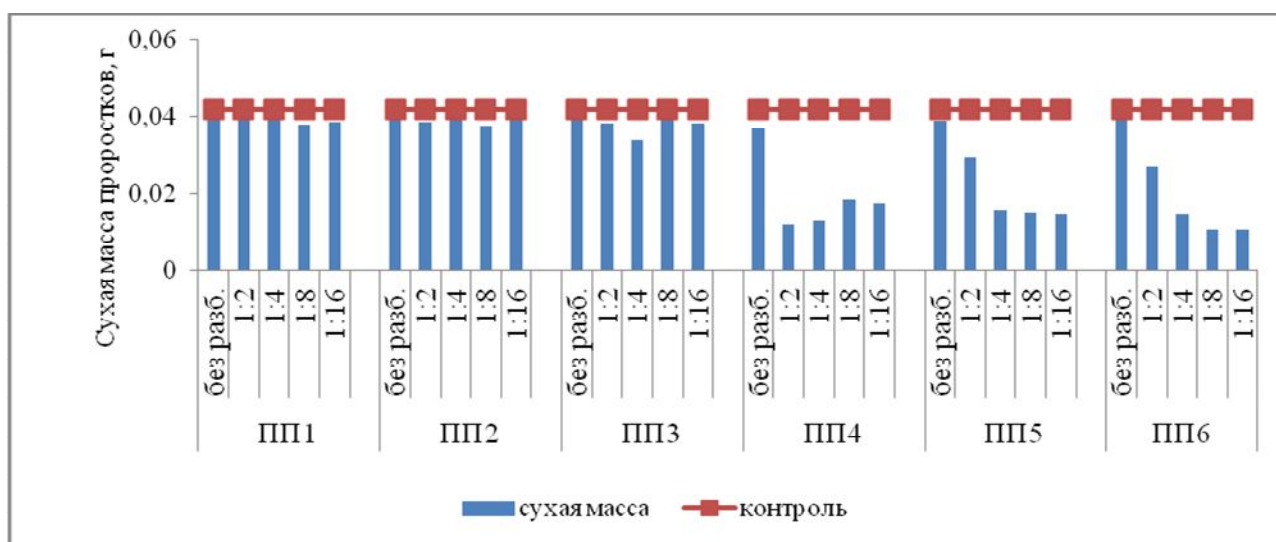
Рис. 3. Изменчивость длины подземной части *Lepidium sativum* (A) и *Allium porrum* (B) в пробах воды р. Карагайлы в диапазоне концентрации 1-16

В то же время длина корней проростка лука-порея варьировала в пределах от 1,9 до 17 см, а в контроле составляла 8,3 см (рис. 3Б). Как и в случае с кресс-салатом, семена лука-порея, выращенные на воде створов 1-3 (зоны влияния отвалов), не достигали значения контроля, подвергаясь фитотоксичности. Минимальный показатель изученного тест-отклика также наблюдался в опытах с использованием воды створа 2. В отличие от кресс-салата, длина корней семян лука-порея уменьшалась с разбавлением воды, что, возможно, обусловлено нехваткой минеральных веществ для прорастания проростков.

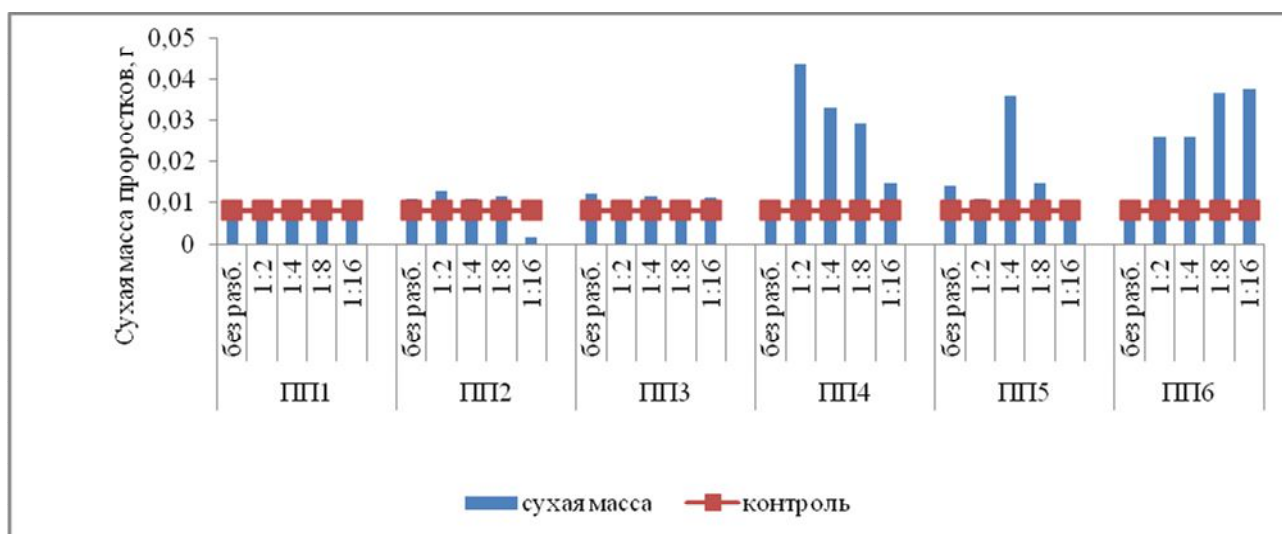
Сухая масса проростков кресс-салата, выращенного на тестируемых образцах воды, изменялась от 0,0105 до 0,0471 г, что значительно ниже контрольного показателя (0,0419 г)

(рис. 4А). В то же время сухой вес проростков лука-порея изменялся от 0,0015 до 0,0434 г, в контроле равнялся 0,0098 г (рис. 4Б). Следует отметить, что исходные образцы воды, особенно зоны промышленного освоения (створы 4-6), являлись токсичными для кресс-салата, тогда как по отношению к луку-порею исследованные пробы воды не проявляли токсичного эффекта.

Корреляционный анализ позволил выявить следующие зависимости между концентрацией ТМ в водах и всхожестью семян растительных тест-систем: кресс-салата и Zn ( $r = -0,97$ ), Mn ( $r = -0,95$ ), Cd ( $r = -0,84$ ). Аналогичная связь зафиксирована между данным тест-откликом лука-порея и содержанием Zn ( $r = -0,89$ ) и Ni ( $r = -0,81$ ). Это позволило предположить, что высокая концентрация данных металлов в водах р. Карагайлы оказывает токсическое воздействие на измеренный показатель биотестирования кресс-салата.



(А)



(Б)

*Рис. 4. Изменчивость сухой массы проростков *Lepidium sativum* (А) и *Allium porrum* (Б) в пробах воды р. Карагайлы в диапазоне концентрации 1-16*

Однако анализ показал, что соединения Zn и Ni, возможно, способствуют стимулированию роста подземной части соответствующих растительных тест-систем, так как коэффициенты корреляции между длиной корня проростков кресс-салата и содержанием данных составили  $r = 0,89$  и  $r = 0,87$ ; лука-порея -  $r = 0,87$  и  $r = 0,96$  соответственно.

Проведенное исследование позволило заключить, что в условиях Южного Урала изученные металлы образуют убывающие ряды элементов по их среднему содержанию в воде р. Карагайлы:  $Zn > Fe > Mn > Cu > Ni > Cd$ . Превышение допустимой нормы в среднем составило: по Zn - в 358 раз, Fe - 6,8 раза, Mn - 45 раз, Cu - 44 раза, Ni - 2 раза, Cd - 1,6 раза. Исследование пространственной изменчивости металлов в воде р. Карагайлы позволило заключить, что содержание Zn, Mn, Cd, Fe, Cu является показателем напряженности экологической ситуации на территории промышленного освоения реки.

По результатам биотестирования кресс-салат является более чувствительным к загрязнению поверхностной воды исследуемого водотока. Тестируемые образцы воды, отобранные в зоне техногенной нагрузки, являлись фитотоксичными по отношению к всхожести семян и сухой массы проростков кресс-салата. Фактором, отрицательно влияющим на всхожесть семян кресс-салата и лука-порея, оказалось содержание в воде Zn. Напротив, повышенное содержание ионов Zn и Ni в воде способствовало стимуляции роста и удлинению корня обеих тест-систем.

### Список литературы

1. Суюндуков Я.Т., Семенова И.Н., Зулкарнаев А.Б., Хабиров И.К. Антропогенная трансформация почв города Сибай в зоне влияния предприятий горнорудной промышленности. - Уфа: Гилем, Башк. энцикл., 2014. - 124 с.
2. Сибай: энциклопедия / гл. ред. Х.Х. Сулейманов. – Уфа: Башк. энцикл., 2015. – 560 с.
3. Баймакская энциклопедия. – Уфа: Башк. энцикл., 2013. - 639 с.
4. Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложений. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектrophотометрии: методические указания. – СПб.: Гидрометеиздат, 2006. - 30 с.
5. Кужина Г.Ш. Динамика микроэлементов в воде и донных отложениях верховий рек Южного Урала (Белая и Урал): дис. ... канд. биол. наук. - Тольятти, 2010. – 125 с.



6. Методика определения токсичности питьевых, грунтовых, поверхностных и сточных вод, растворов химических веществ по измерению показателей всхожести семян, средней длины и среднего сухого веса проростков семян. - Стерлитамак, 2012. - 19 с.
7. Водяницкий Ю.Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах. - М.: ГНУ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН», 2008. - 85 с.