

4. *Mozolevskaja E.G.* Lesnye nasekomye i metody ih issledovaniya: ucheb.-metod. posobie. – M.: Lesnaja strana, 2010. – 79 s.
5. Metody prognozirovaniya massovogo razmnozheniya sibirskogo shelkopryada. – URL: [http://www.rcfh.ru/userfiles/files/9,metody\\_prognozirova-niya\\_razmnozheniya\\_shelkopryada\(1\).pdf](http://www.rcfh.ru/userfiles/files/9,metody_prognozirova-niya_razmnozheniya_shelkopryada(1).pdf) 4.12.2015g.
6. *Tuzov V.K., Kalinichenko Je.M., Rjabinkov V.A.* Metody bor'by s boleznjami i vrediteljami lesa: Uchebnoe posobie. – M.: Izd-vo VNIILM, 2003.
7. *Rybalko T.A., Gukosjan A.B.* Bakteriozy hvojnyh Sibiri, - Novosibirsk: Nauka, 1986. – 84 s.
8. Otchetnye dannye po formam 1-OLPM i 3,5-AIS GLR za 2014 g. Agentstva Lesnogo hozjajstva Irkutskoj oblasti. – Irkutsk, 2014.



УДК 631.42(571.51)

Г.А. Демиденко, Т.В. Васильева

### ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПОЧВ В ОКРЕСТНОСТЯХ АЛЮМИНИЕВОГО ЗАВОДА ГОРОДА КРАСНОЯРСКА МЕТОДАМИ БИОТЕСТИРОВАНИЯ

G.A. Demidenko, T.V. Vasilyeva

### ECOTOXICOLOGICAL ASSESSMENT OF SOILS IN VICINITIES OF ALUMINIUM PLANT OF THE CITY OF KRASNOYARSK BY BIOTESTING METHODS

**Демиденко Г.А.** – д-р биол. наук, проф., зав. каф. ландшафтной архитектуры, ботаники, агроэкологии Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: demidenkoekos@mail.ru

**Васильева Т.В.** – асп. каф. ландшафтной архитектуры, ботаники, агроэкологии Красноярского государственного аграрного университета, г. Красноярск. E-mail: demidenkoekos@mail.ru

**Demidenko G.A.** – Dr. Biol. Sci., Prof., Head, Chair of Landscape Architecture, Botany, Agroecology, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: demidenkoekos@mail.ru

**Vasilyeva T.V.** – Post-Graduate Student, Chair of Landscape Architecture, Botany, Agroecology, Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk. E-mail: demidenkoekos@mail.ru

Одним из самых опасных источников загрязнения в г. Красноярске является алюминиевый завод, выбросы которого приводят к загрязнению всех компонентов биосферы. Исследовалась почва, находящаяся в зоне влияния алюминиевого завода, поскольку именно почвенная оболочка (педосфера) определяет многие процессы, происходящие в биосфере. Чрезвычайно важно изучение экологического значения почвенного покрова, его современного состояния и изменения под влиянием антропогенной деятельности. Отбор почвенных образцов производился с глубины 0–60 см по четырем горизонтам для изучения проникновения в нижние слои педосферы токсичных элементов. Представлены результаты токсикологической оценки почв по выживаемости инфузорий *Paramecium caudatum*, проросткам семян кресс-салата *Lepidium sativum* L. методами биотестирования и результаты рентгенофлуоресцентного анализа тест-объектов. Методы биотестирования отличаются высокой точностью результатов и относительной простотой выполнения. Показателем токсичности служит выживаемость инфузорий, фиксируемая по числу выживших личинок парамеций. Определялся процент угнетения роста корневой системы и стеблей кресс-салата по сравнению с контролем. Метод рентгенофлуоресцентного анализа (далее – РФА) выявляет наличие и количественное содержание некоторых химических элементов в

сикологической оценки почв по выживаемости инфузорий *Paramecium caudatum*, проросткам семян кресс-салата *Lepidium sativum* L. методами биотестирования и результаты рентгенофлуоресцентного анализа тест-объектов. Методы биотестирования отличаются высокой точностью результатов и относительной простотой выполнения. Показателем токсичности служит выживаемость инфузорий, фиксируемая по числу выживших личинок парамеций. Определялся процент угнетения роста корневой системы и стеблей кресс-салата по сравнению с контролем. Метод рентгенофлуоресцентного анализа (далее – РФА) выявляет наличие и количественное содержание некоторых химических элементов в

почвенных образцах. В результате РФА было выявлено превышение концентрации Cr, Cu, Ni, Pb и Zn относительно ПДК отдельных элементов. Отмечена высокая сходимость результатов представленных видов анализа, которые показали высокий уровень токсичности почвенного покрова на расстоянии 1–5 км от территории предприятия. На расстоянии 10–20 км от территории предприятия уровень токсичности почв невысокий, является допустимым.

**Ключевые слова:** педосфера, экологическое значение почвенного покрова, антропогенная деятельность, токсикологическая оценка, тест-объекты, инфузории *Paramecium caudatum*, пророски семян кресс-салата *Lepidium sativum* L., рентгенофлуоресцентный анализ.

*One of the most dangerous sources of pollution in Krasnoyarsk is the aluminum plant which emissions lead to the pollution of all components of the biosphere. The soil which is in the zone of influence of aluminum plant as soil cover (pedosphere) defines many processes happening in the biosphere was investigated. The studying of ecological value of soil cover, its current state and change under the influence of anthropogenous activity is extremely important. The selection of soil samples was made from the depth of 0–60 cm on four horizons for studying of penetration into the lower layers pedosphere of toxic elements. The results of toxicological assessment of soils on survival of infusorians of *Paramecium caudatum*, sprouts of seeds of a garden cress of *Lepidium sativum* L are presented by biotesting methods, and results of the X-ray fluorescent analysis of test objects. The methods of biotesting differ in high precision of results and relative simplicity of performance. As indicator of toxicity the survival of infusorians fixed on number of the survived lines of parametion serves. The percent of oppression of root system growth and the stalks of a garden cress in comparison with control was defined. The method of the X-ray fluorescent analysis (further – RFA) reveals the existence and the quantitative content of some chemical elements in soil samples. As a result of RFA excess of concentration of Cr, Cu, Ni, Pb and Zn concerning maximum concentration limit of separate elements was revealed. High convergence of results of the present-*

*ed types of the analysis which showed the high level of toxicity of soil cover at the distance of 1–5 km from the enterprise territory is noted. At the distance of 10–20 km from the enterprise territory the level of toxicity of soils low is admissible.*

**Keywords:** pedosphere, ecological value of a soil cover, anthropogenous activity, toxicological assessment, test objects, infusorians of *Paramecium caudatum*, proroska of seeds of a garden cress of *Lepidium sativum* L., X-ray fluorescent analysis.

**Введение.** Почвенный покров Земли представляет собой важнейший компонент биосферы. Почва представляет собой сложную систему, которая взаимодействует с остальными компонентами биосферы. При нарушении функционирования данной системы необратимо нарушится и весь порядок взаимодействия компонентов всей биосферы. Поэтому необходимо уделять внимание контролю состояния почвенного покрова, его использования в деятельности человека [1, 2, 5]. Эффективным методом оценки потенциальной опасности химического, физического и биологического воздействия на почву считается биотестирование. Биотестирование осуществляется экспериментально с использованием тест-культур путем регистрации изменений биологически важных показателей (тест-реакций), таких как выживаемость, ингибирование роста. Состояние тест-культур оценивается в соответствии с выбранными критериями токсичности (в данном случае по критерию Стьюдента).

Алюминиевый завод является одним из главных загрязнителей окружающей среды в окрестностях города Красноярска. На сегодняшний день глобальная деградация природы в большей степени обусловлена чрезвычайным загрязнением почвенного покрова.

**Цель исследования:** токсикологическая оценка почв по выживаемости инфузорий *Paramecium caudatum*, активности проростков семян кресс-салата *Lepidium sativum* L. и результатам рентгенофлуоресцентного анализа тест-объектов (далее – РФА).

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

– оценить токсичность почв в зоне влияния алюминиевого завода в окрестностях г. Красно-

ярская по выживаемости *Paramecium caudatum*, ингибированию роста проростков семян кресс-салата *Lepidium sativum* L. и показателям РФА;

– провести сравнительный анализ результатов токсичности почв по выживаемости *Paramecium caudatum*, по динамике роста проростков семян кресс-салата *Lepidium sativum* L. и количественному содержанию некоторых химических элементов.

**Объекты и методы исследования.** Для определения степени токсичности исследуемых почв, взятых с окрестностей алюминиевого завода Красноярск, проводились эксперименты по выживаемости тест-культуры инфузории *Paramecium caudatum* и ингибированию роста корней и ростков семян кресс-салата *Lepidium sativum* L. [3, 4, 6], а также тест-объекты были подвергнуты рентгенофлуоресцентному анализу с использованием специализированного оборудования.

Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программы Excel дисперсионно и корреляционно.

Пробы почвы отбирались в июле 2013–2015 гг. из поверхностного горизонта почвы с глубины 0–10 см; из перегнойного (гумусового) горизонта – с глубины 10–30 см; из горизонта вымывания (элювиального) – с глубины 30–45 см; из перехода элювиального горизонта в иллювиальный – с глубины 45–60 см со следующих станций, находящихся в зоне влияния алюминиевого завода в г. Красноярске. Местоположение отбора проб представлено на рисунке 1:

- станция 1 – 100 м от территории предприятия;
- станция 2 – 500 м от территории предприятия на северо-восток;
- станция 3 – 1 км от территории предприятия на северо-восток;
- станция 4 – 5 км от территории предприятия на северо-восток;
- станция 5 – 10 км от территории предприятия на северо-восток;
- станция 6 – 20 км от территории предприятия на северо-восток.

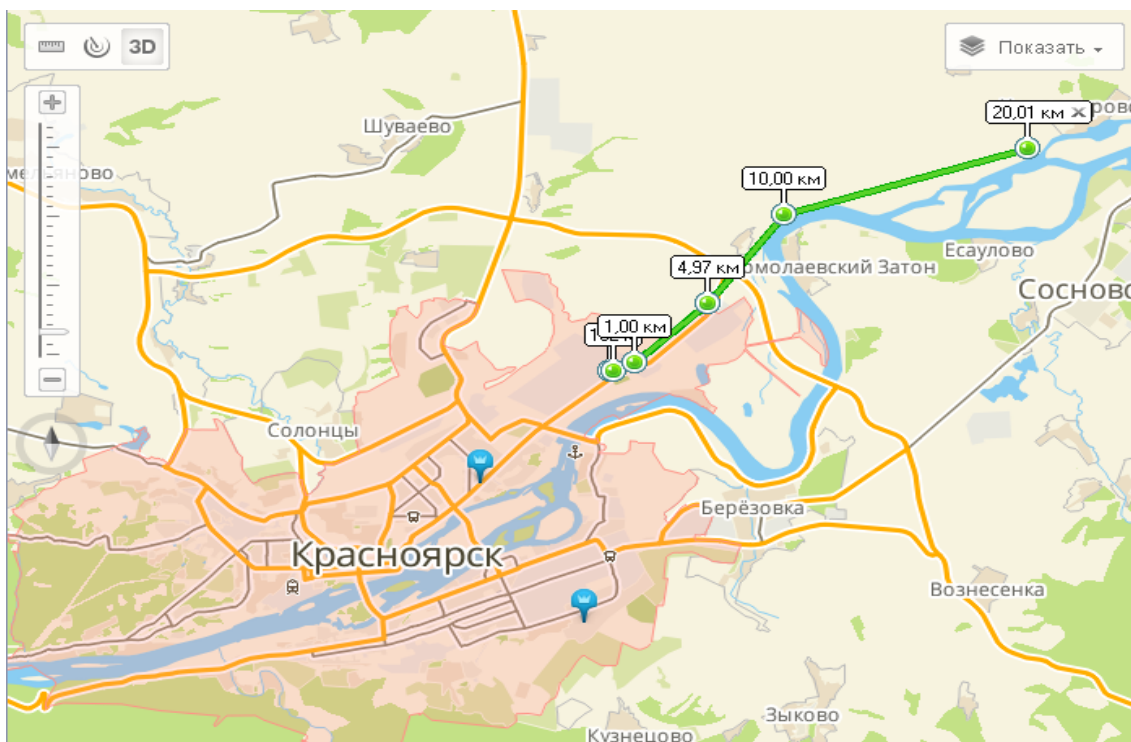


Рис. 1. Карта-схема г. Красноярска: станции отбора проб (июль 2013–2015 гг.)

Отбор проб производился в трехкратной повторности, далее путем перемешивания готовилась интегральная проба. Станции отбора проб

были установлены согласно стабильности направления ветра (розы ветров) для данной территории.

Один из методов определения токсичности, используемых в анализе, – метод индивидуальных линий парameций (*Paramecium caudatum*). Выживаемость тест-культуры, которая фиксируется по числу выживших парameций, информирует о наличии токсичности.

Достоверность различий между контрольными и опытными вариантами оценивалась по индексу токсичности и по критерию Стьюдента.

$$(T_i): T_i = ((T_{ik} - T_{io}) / T_{ik}) \cdot 100\%,$$

где  $T_i = 0-0,25$ , токсичность допустимая;  $T_i = 0,26-0,70$ , токсичность умеренная;  $T_i > 0,71$ , токсичность высокая.

Достоверное различие контрольных и опытных показателей по критерию Стьюдента является показателем стрессового воздействия, т. е. токсичности.

Тест-объектом был выбран кресс-салат *Lepidium sativum* L. По каждому варианту вычислялся процент угнетения роста корней и побегов по сравнению с контрольным образцом. Фитотоксическая активность в процентах ингибирования вычислялась по формуле

$$A_{\text{ф}} = 100 - (D_x/D_k) \cdot 100,$$

где  $A_{\text{ф}}$  – фитотоксическая активность ингибирования, %;  $D_x$  – средняя длина корней/побегов на опытном варианте, мм;  $D_k$  – средняя длина корней/побегов на контроле, мм.

Ингибирование роста корней и побегов тест-культуры на 50 % является критерием вредного воздействия. Достоверность различий опытных и контрольных показателей определяется по критерию Стьюдента.

Рентгенофлуоресцентный анализ использовался для получения качественных и количественных показателей в пробах почвы следующих химических элементов: As, Co, Cr, Cu,  $Fe_2O_3$ , Mn, Ni, Pb, Sr, V, Zn, – относительно ПДК. Данные элементы являются обязательными и факультативными для контроля выбросов металлургических заводов.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Анализ проб почвенного покрова, взятых со станций отбора в районе алюминиевого завода и исследованных методом индивидуальных линий парameций, показал следующие результаты: показатели токсичности на уровне допустимо токсичных ( $T_i = 0,0-0,23$ ;  $p > 0,05$ ) и умеренно токсичных ( $T_i = 0,27-0,69$ ;  $p > 0,05$ ). Исключение составили пробы, отобранные с горизонтов станции 4 (горизонт A0 и A2), которые показали высокую токсичность ( $T_i = 0,72-0,80$ ;  $p < 0,05$ ) (рис. 2).

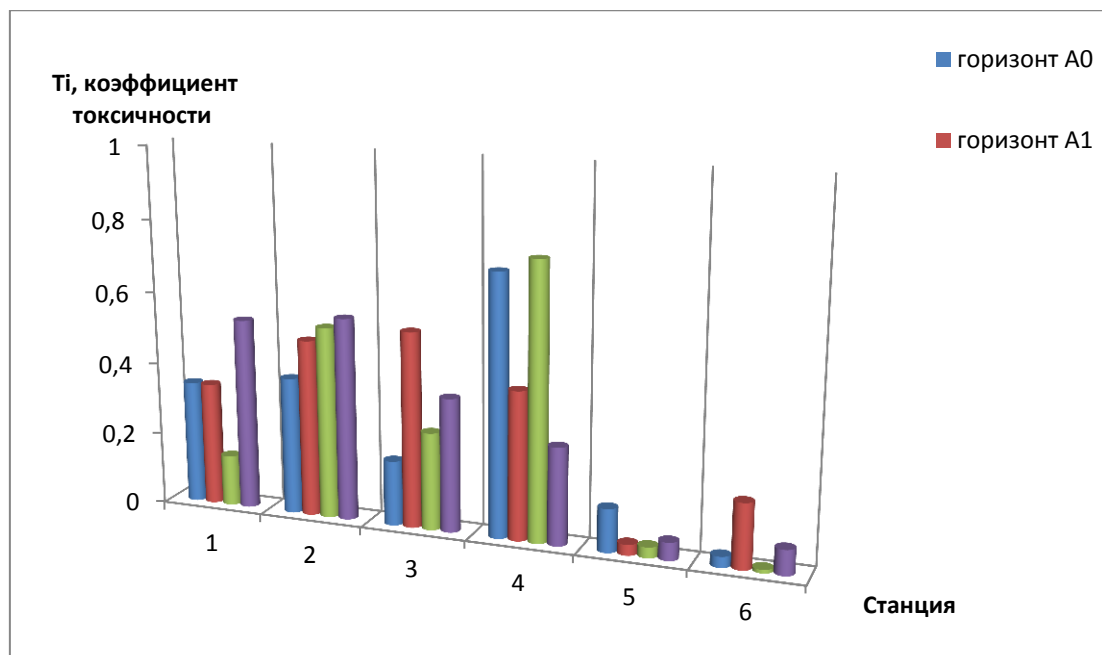


Рис. 2. Токсичность почвенного покрова по реакции выживаемости инфузории *Paramecium caudatum*, в 60 мин экспозиции

Пробы почвы также подверглись оценке по фитотоксической активности роста корней (рис. 3) и побегов (рис. 4) кресс-салата *Lepidium sativum* L.

Анализ фитотоксической активности роста корней тест-культуры показал следующие результаты: почвенный покров оценивается как достоверно токсичный ( $I_p = 40,9-94,6 \%$ ;  $p < 0,05$ ). Исключение составили пробы, взятые со станции 5 и 6, которые показали малотоксичные и нетоксичные результаты ( $I_p = 4,8-30,6 \%$ ;  $p > 0,05$ ), т. е. состав данной пробы не вызывает

видимого ингибирования роста корней семян тест-культуры (см. рис. 3).

Анализ фитотоксической активности роста побегов семян тест-культуры показал достоверно токсичные результаты ( $I_p = 47,4-94,4 \%$ ;  $p < 0,05$ ). Исключение составили пробы, отобранные со станций 5 и 6, фитотоксические показатели которых находятся на уровне малотоксичных и нетоксичных ( $I_p = 1-42 \%$ ;  $p > 0,05$ ), т. е. почвенный покров не вызывает видимого ингибирования роста побегов семян тест-культуры (см. рис. 4).

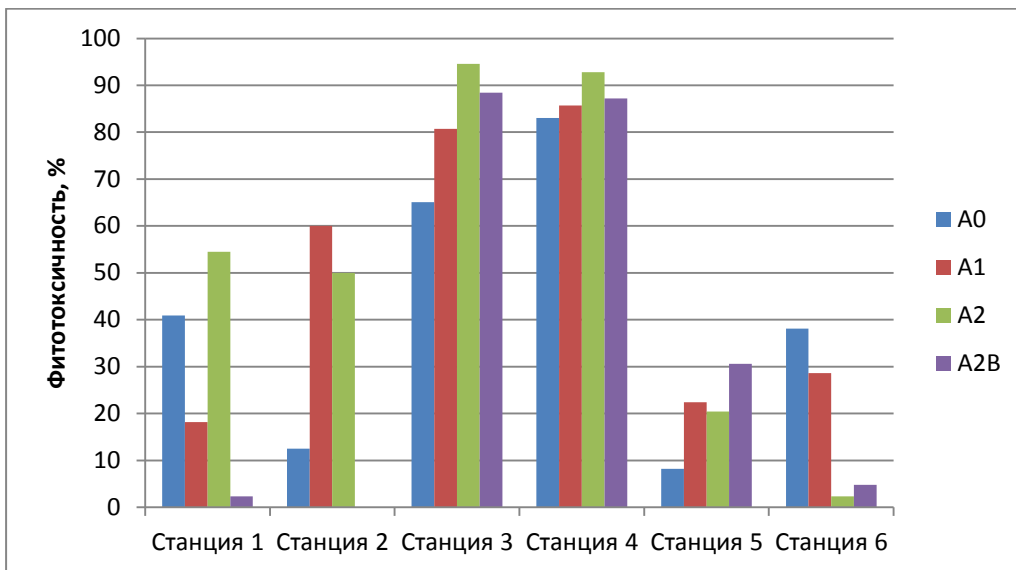


Рис. 3. Токсичность почвенного покрова по фитотоксичности роста корней кресс-салата *Lepidium sativum* L.

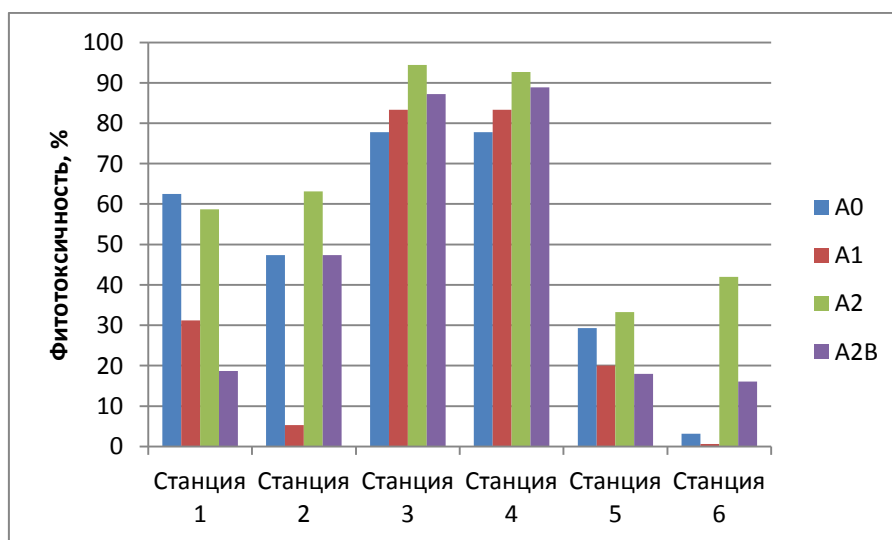


Рис. 4. Токсичность почвенного покрова по фитотоксичности роста побегов кресс-салата *Lepidium sativum* L.

По результатам проведенного анализа почвенных проб по ингибированию роста корней и побегов семян кресс-салата *Lepidium sativum* L. токсичность почвенного покрова в районе алюминиевого завода оценивается по фитотоксической активности в основном как токсичные ( $I_p = 40,9-94,6\%$ ;  $I_p = 47,4-94,4\%$ ), за исключением проб, отобранных со станций 5 и 6, где отмечены низкие показатели фитотоксичности (1–42%). Фитотоксический эффект проявился в пределах 43% и выше.

Метод РФА используется в основном для выявления причин токсичности почвы и определения количественного содержания заявленных химических элементов. В результате рентгенофлуоресцентного анализа было выявлено превышение концентрации Cr, Cu, Ni, Pb и Zn относительно ПДК (рис. 5–10). Степень концентрации As, Co, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Mn, Sr, V оценивается как допустимая, т. е. на уровне или ниже ПДК.

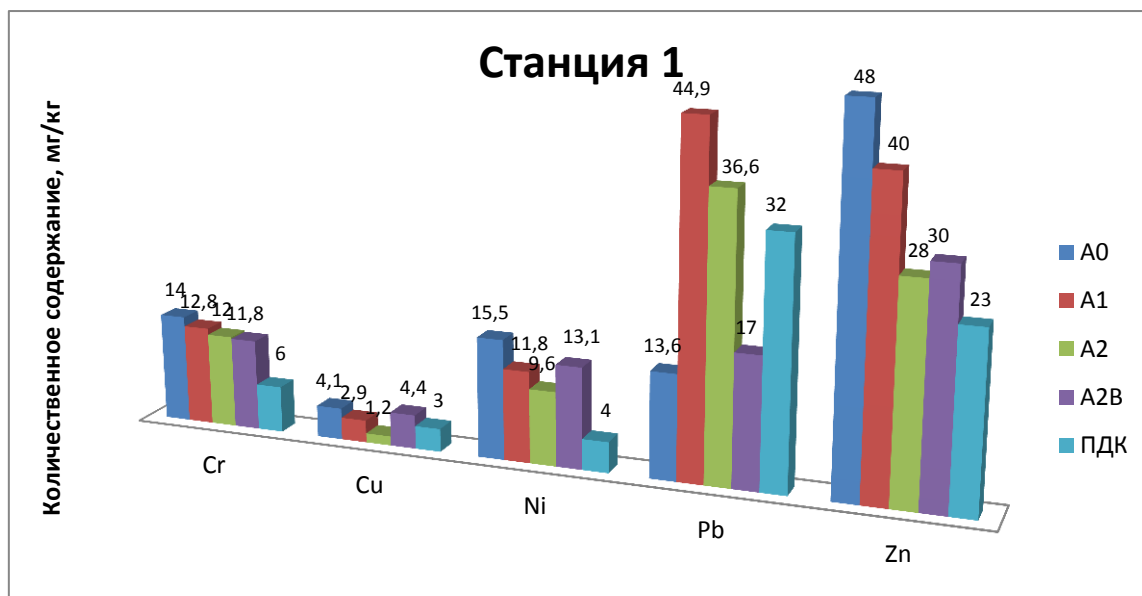


Рис. 5. Количественное содержание некоторых химических элементов, отобранных со станции 1

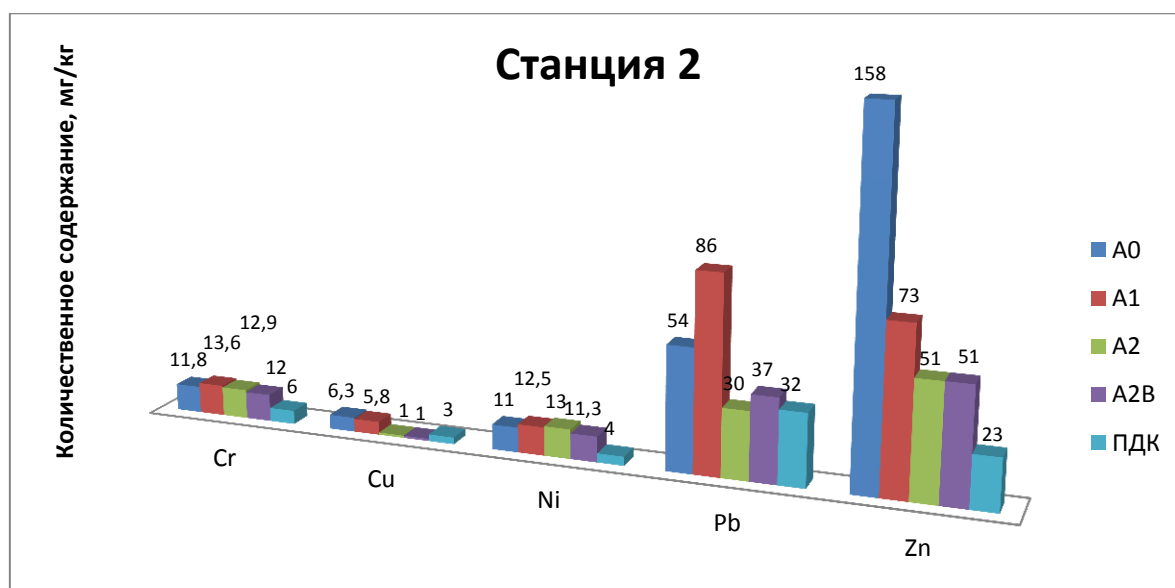


Рис. 6. Количественное содержание некоторых химических элементов, отобранных со станции 2

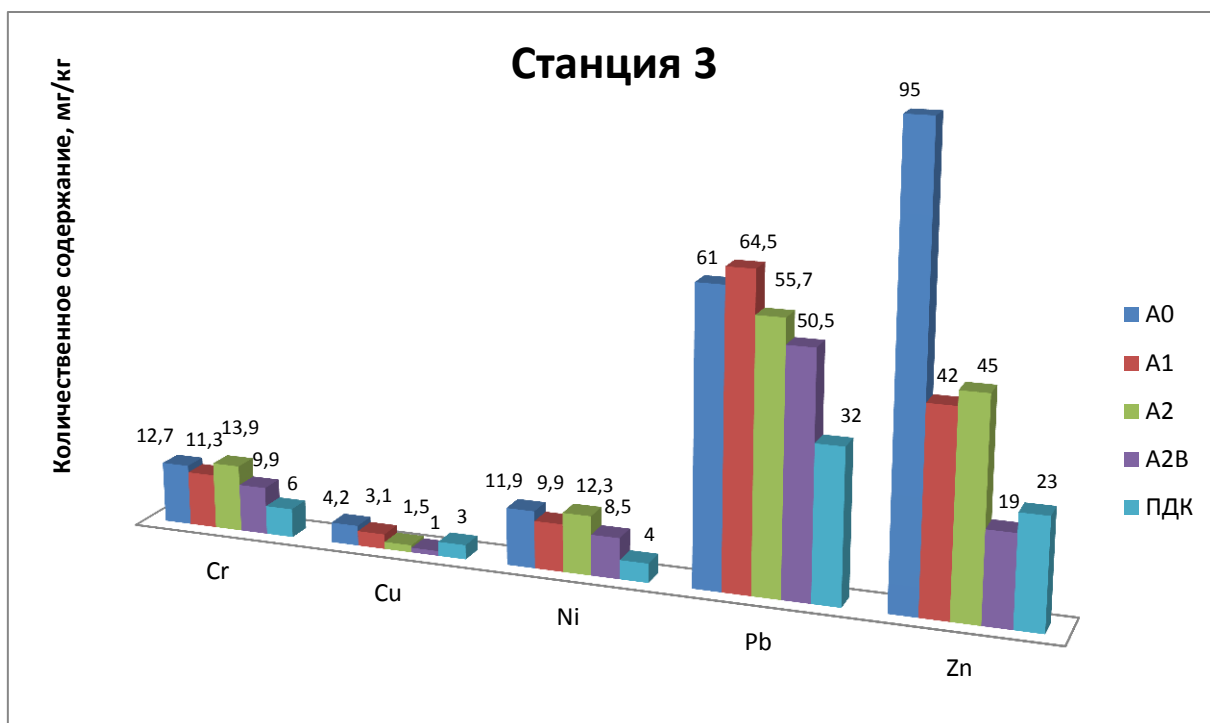


Рис. 7. Количественное содержание некоторых химических элементов, отобранных со станции 3

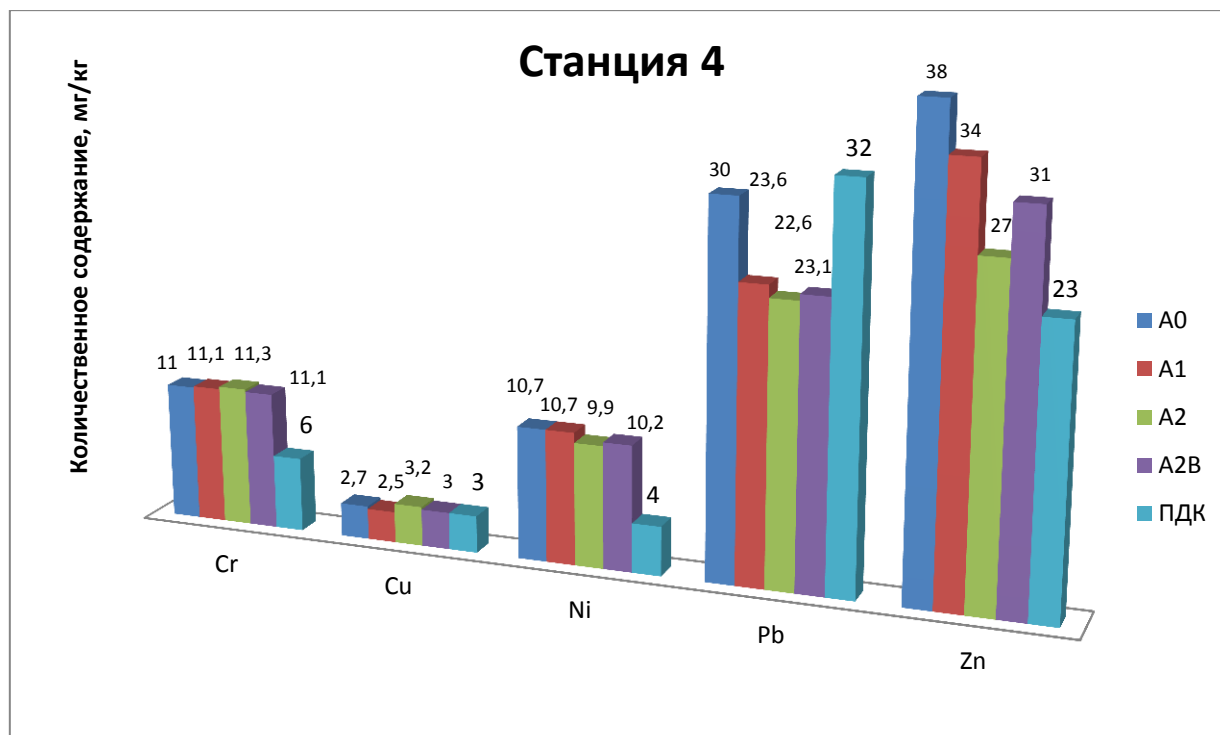


Рис. 8. Количественное содержание некоторых химических элементов, отобранных со станции 4

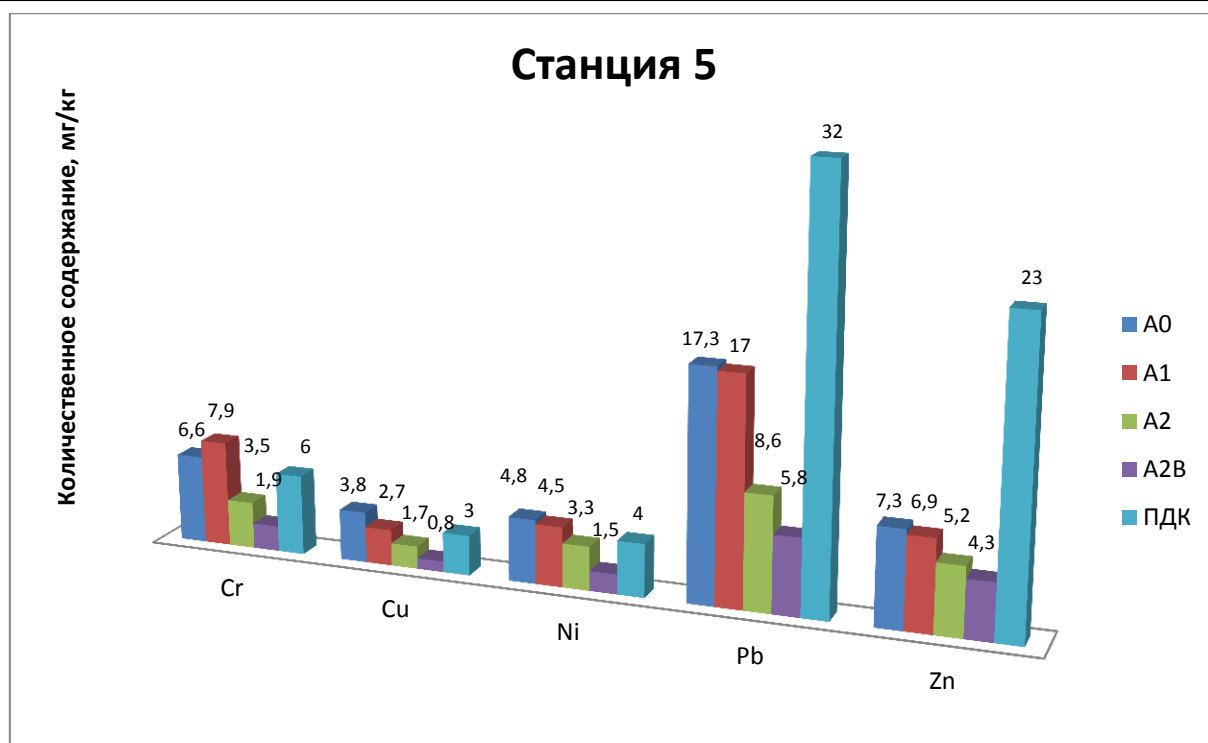


Рис. 9. Количественное содержание некоторых химических элементов, отобранных со станции 5

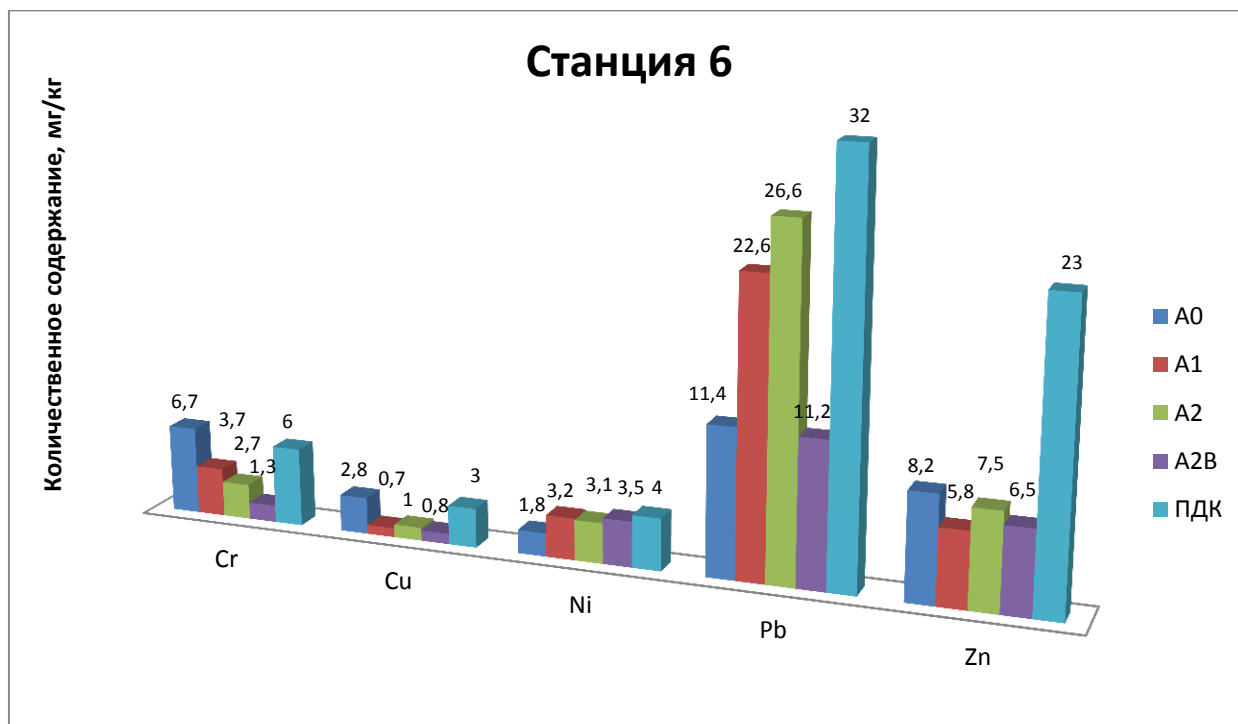


Рис. 10. Количественное содержание некоторых химических элементов, отобранных со станции 6

Содержание Cr, Cu, Ni и Pb превышает предельно-допустимые концентрации в 2 раза, за исключением станции 5 и 6, где значение дан-

ных элементов не превышает либо незначительно превышает значение ПДК. Содержание Zn на станциях 2 и 3 превышает значение ПДК в



6–7 раз, на станциях 1 и 4 – в 2 раза, на станциях 5 и 6 превышение ПДК не наблюдается.

**Заключение.** Анализ состояния почвы по содержанию контролируемых элементов (Cr, Cu, Ni, Pb и Zn) свидетельствует о техногенном происхождении данных элементов в почвенном покрове, влияющих на токсичность почвенного покрова. Пробы почвенного покрова, отобранные со станций в районе алюминиевого завода и подвергнутые анализу методом индивидуальных линий парameций, показали результаты на уровне допустимо токсичных ( $T_i = 0,0-0,23$ ;  $p > 0,05$ ) и умеренно токсичных ( $T_i = 0,27-0,69$ ;  $p < 0,05$ ), исключение составили пробы, отобранные со станции 4 (горизонт A0 и A2). Данная проба показала высоко токсичный результат ( $T_i = 0,72-0,80$ ;  $p < 0,05$ ). Анализ фитотоксической активности роста побегов и корней семян кресс-салата оценивается как достоверно токсичный ( $I_p = 47,4-94,4$  %;  $p < 0,05$ ). Исключение составили пробы, отобранные со станций 5 и 6, которые показали малотоксичный и нетоксичный результат ( $p > 0,05$ ). Такой показатель проявляется при незначительном ингибировании роста корней и побегов семян тест-культуры ( $I_p = 1-42$  %).

#### Литература

1. Бойкова Д.Е. Применение простейших в токсикологических исследованиях // Экспериментальная водная токсикология. – 1991. – Вып. 15. – С. 155–164.
2. Бурдин К.С. Основы биологического мониторинга. – М.: Изд-во МГУ, 1985. – 155 с.

3. Бурковский И.Б. Экология свободноживущих инфузорий. – М.: Изд-во МГУ, 1984. – 208 с.
4. Жмур Н.С. Государственный и производственный контроль токсичности вод методами биотестирования в России. – М.: Международный дом сотрудничества, 1997. – 144 с.
5. Инфузории в биотестировании // Тез. докл. междунар. заоч. науч.-практ. конф. – СПб.: Архив ветеринарных наук, 1998. – 304 с.
6. Терехова В.А. Биотестирование почв: подходы и проблемы // Почвоведение. – 2011. – № 2. – С. 190–198.

#### Literatura

1. Bojkova D.E. Primenenie prostejshih v toksikologicheskikh issledovanijah // Jeksperimental'naja vodnaja toksikologija. – 1991. – Vyp. 15. – S. 155–164.
2. Burdin K.S. Osnovy biologicheskogo monitoringa. – M.: Izd-vo MGU, 1985. – 155 s.
3. Burkovskij I.B. Jekologija svobodnozhivushhih infuzorij. – M.: Izd-vo MGU, 1984. – 208 s.
4. Zhmur N.S. Gosudarstvennyj i proizvodstvennyj kontrol' toksichnosti vod metodami biotestirovanija v Rossii. – M.: Mezhdunarodnyj dom sotrudnichestva, 1997. – 144 s.
5. Infuzorii v biotestirovanii // Tez. dokl. mezhdu-nar. zaoch. nauch.-prakt. konf. – SPb.: Arhiv veterinarnyh nauk, 1998. – 304 s.
6. Terehova V.A. Biotestirovanie pochv: podhody i problemy // Pochvovedenie. – 2011. – № 2. – S. 190–198.

