

**И. С. Коротченко****В. А. Медведева****Биодиагностика состояния почв Емельяновского района Красноярского края в условиях транспортной нагрузки**

В работе проведена оценка состояния почв земель сельскохозяйственного назначения Емельяновского района Красноярского края методом биотестирования в условиях транспортной нагрузки. Исследование почвенных образцов на содержание тяжелых металлов (свинца, никеля, цинка) показало отсутствие превышений санитарно-гигиенических нормативов. Установлено, что автотранспортная нагрузка способствовала накоплению тяжелых металлов в почве, в наиболее загруженном автотранспортом участке — д. Творогово отмечено превышение ( $p < 0,001$ ) концентраций подвижных форм Ni, Zn, Pb — до 14, 18, 4 раз соответственно по сравнению с контролем. Биотестирование почвенной вытяжки с помощью *Paramecium caudatum*, *Eisenia foetida* выявило отсутствие токсичности на участках контрольном и п. Сухая Балка, на участках д. Кубеково, д. Творогово — слабую токсичность. Для наиболее корректной оценки экологического состояния почвы целесообразно применять в комплексе методы химического анализа и биотестирования. Исходя из результатов корреляционного анализа, для экологической оценки почв методом биодиагностики рекомендуем использовать *Paramecium caudatum*.

**Ключевые слова:** биотестирование, загрязнение, почва, транспорт, тяжелые металлы, *Eisenia foetida*, *Paramecium caudatum*.

**Введение**

Наиболее актуальной экологической проблемой является загрязнение среды тяжелыми металлами (ТМ). Одним из источников поступления ТМ в окружающую природную среду является автотранспорт. Выбросы автотранспорта проникают в том числе и в почвенный покров сельскохозяйственных угодий. Так, в придорожной пыли и почвах, а также на растениях содержатся ионы таких ТМ, как Al, Zn, Fe, Mn, Sr, Ba, Cu, Pb [7; 8; 12; 14; 15].

Из-за высокой биоаккумуляции ТМ быстро входят в пищевую цепь, аккумулируются в видах, расположенных на высоком уровне трофической активности, в том числе и в человеке. В связи с этим даже сравнительно небольшая концентрация ТМ повышает риск развития канцерогенного и общетоксического эффекта [10].

Поэтому необходим постоянный экологический мониторинг, особенно методами биоиндикации и биотестирования, так как биотические показатели могут дать информацию о биологических последствиях антропогенного изменения среды, в то время как химические методы анализа позволяют охарактеризовать загрязнение количественно и лишь косвенно судить о его биологическом действии [9; 13; 16].

Цель исследования — биодиагностика состояния почв земель сельскохозяйственного назначения Емельяновского района Красноярского края методом биотестирования в условиях транспортной нагрузки. В Емельяновском районе, который примыкает к границам крупного промышленного города Красноярска, значительная часть земель используется для сельского хозяйства, что обусловило его выбор для проведения исследований.

**Материал и методы исследования**

Почвенные образцы отбирались в сентябре 2021 г. методом «конверта» из верхнего слоя 0—20 см [3] на территориях, прилегающих к автомобильным дорогам общего пользования регионального значения Красноярского края: Р-255 (п. Сухая Балка, д. Кубеково) и 04К-291 (д. Творогово), точки отбора почвенных образцов располагались на удалении от дороги 50, 100 и 150 м (табл. 1, рис. 1).

© Коротченко И. С., Медведева В. А., 2022

Таблица 1

Характеристика точек отбора почвенных образцов

Номер участка	Шифр точки	Характеристика
1	К	«Условно чистый» (контрольный) участок в Емельяновском районе
2	С650 С6100 С6150	Емельяновский район, п. Сухая Балка. Примерное расстояние от автотрассы Р-255: 50 м 100 м 150 м
3	Куб650 Куб100 Куб150	Емельяновский район, д. Кубеково. Примерное расстояние от автотрассы Р-255: 50 м 100 м 150 м
4	Тв50 Тв100 Тв150	Емельяновский район, д. Творогово. Примерное расстояние от автотрассы 04К-291: 50 м 100 м 150 м

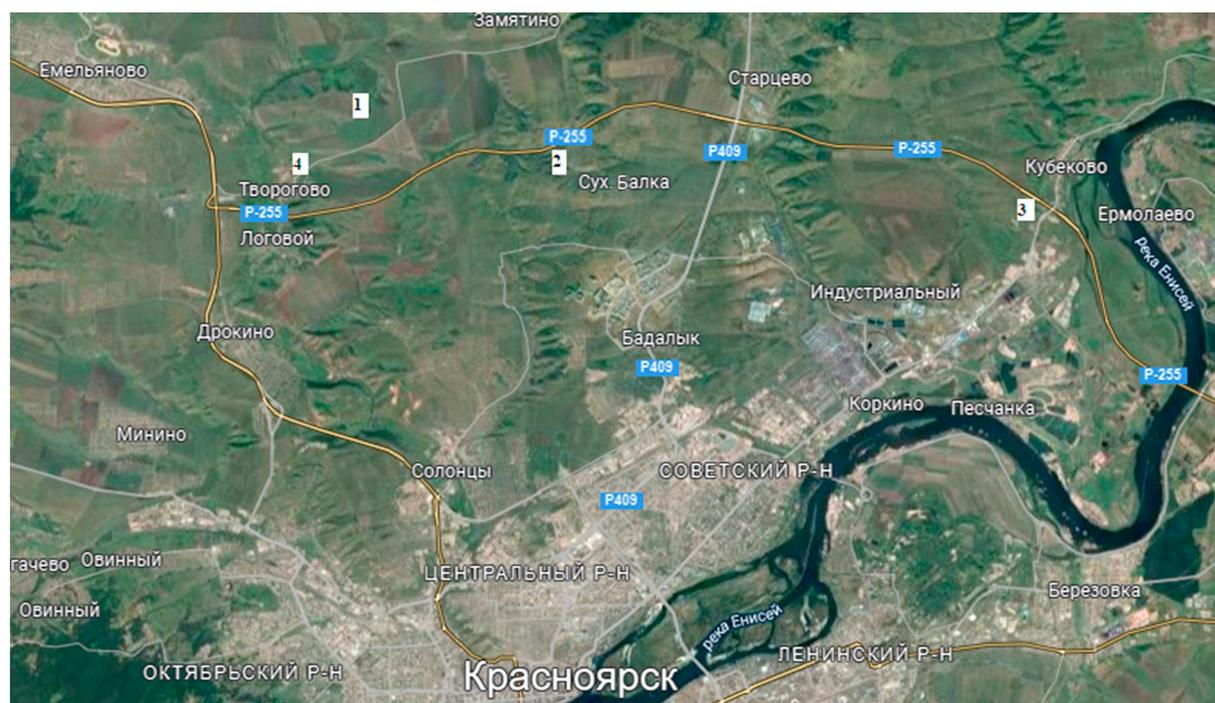


Рис. 1. Картограмма расположения участков отбора почвенных образцов

Исследуемые участки представляли собой земли сельскохозяйственного назначения. Контрольный участок — это земля сельскохозяйственного назначения в Емельяновском районе Красноярского края, в котором автотранспортная нагрузка отсутствует (3 км от автотрасс). Почва исследуемых участков представлена черноземом обыкновенным (рН (Н<sub>2</sub>О) 7,0—7,6, гумус 7,0—9,8%, содержание Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> 54,3—95,6 и К<sub>2</sub>О 211,1—257,2 мг/кг, сумма обменных оснований 42,3—46,2 м-экв/100 г).

В качестве тест-объектов использовались дождевые черви *Eisenia foetida*, а также одноклеточный организм — инфузория *Paramecium caudatum*. Биотестирование почвен-

ных вытяжек на определение острой токсичности проводили с помощью *Paramecium caudatum* [6] и *Eisenia foetida* согласно методике [4].

Для приготовления почвенных вытяжек в целях биотестирования использовали навеску почвы в воздушно-сухом состоянии, которую разбавляли дистиллированной водой в соотношении 1:4, затем в аппарате для встряхивания смесь обрабатывали в течение двух часов, после отстаивали и фильтровали. Исследование почвенных вытяжек проводили в пятикратной повторности. Токсичность оценивалась по доле выживших инфузорий. При выживании более 80% инфузорий среда считалась нетоксичной, при выживании более 50—79% инфузорий — слаботоксичной, при выживании менее 49% инфузорий — токсичной [6].

Биотестирование на определение выживаемости с помощью *Eisenia foetida* проводили при температуре 22 °С и влажности воздуха 74—85% в контейнерах, в которые помещали почвенные образцы массой 375 г и по 5 *Eisenia foetida*, каждый вариант был в четырехкратной повторности. Острую токсичность определяли на 7 сутки. Показателем выживаемости служила доля выживших особей в тестируемом почвенном образце. Шкала токсичности: менее 49% выживших особей — проба токсичная, 50—79% — слаботоксичная и 80—100% — нетоксичная [4].

Пробоподготовка почвенных образцов для определения содержания ТМ включала высушивание до воздушно-сухого состояния, получение средней пробы, приготовление вытяжки ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8 [11].

Содержание металлов (мг/кг) определяли для воздушно-сухой массы с помощью атомно-абсорбционного анализатора PinAAcle 900T на базе Научно-исследовательского испытательного центра ФГБОУ ВО «Красноярский государственный аграрный университет».

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica (версия 10, Statsoft) и MS Excel 97 для Windows.

### Результаты и их обсуждение

P-255 и 04К-291 — дороги обычного типа (не скоростные) категории II [5], но отличаются уровнем автотранспортной нагрузки. Так, в период проведения исследования среднесуточная транспортная нагрузка на участках (нумерация по табл. 1) была: участок 2 — 300, 3 — 350 и 4 — 740 автомашин в час. Защитная полоса для данных дорог составляет 50 м.

Выявлено, что содержание ТМ в почве не превышало ПДК (ОДК) [2].

Отмечено достоверное ( $p < 0,001$ ) увеличение концентраций ТМ на исследуемых участках в отличие от контрольного. Так, содержание валовых форм свинца увеличивалось в 2 раза на участках п. Сухая Балка и д. Кубеково, на участке д. Творогово — в 4 раза по сравнению с контролем. Максимальное содержание ТМ в почвенных образцах характерно для участка в д. Творогово, увеличение концентрации составило для подвижных форм свинца до 4 раз, валовых форм никеля — до 3 раз, подвижных форм никеля — до 14 раз, валовых форм цинка — до 4 раз, подвижных форм цинка — до 18 раз в отличие от контроля (рис. 2).

Дискриминантный анализ показал, что исследуемые участки значимо ( $p < 0,001$ ) отличаются друг от друга по специфике аккумуляции ТМ в почве.

Свинец, никель, цинк, как показывают исследования [1; 10], оказывают острое токсическое воздействие на тест-объекты.

При исследовании токсичности почвенной вытяжки по выживаемости *Paramecium caudatum*, *Eisenia foetida* почвенные образцы на контрольном участке и в п. Сухая Балка являлись достоверно ( $p < 0,05$ ) нетоксичными, процент выживших особей варьировал от

60 до 100. Почвенные образцы, отобранные в д. Кубеково и Творогово, по результатам биотестирования отнесены к слаботоксичным (табл. 2).

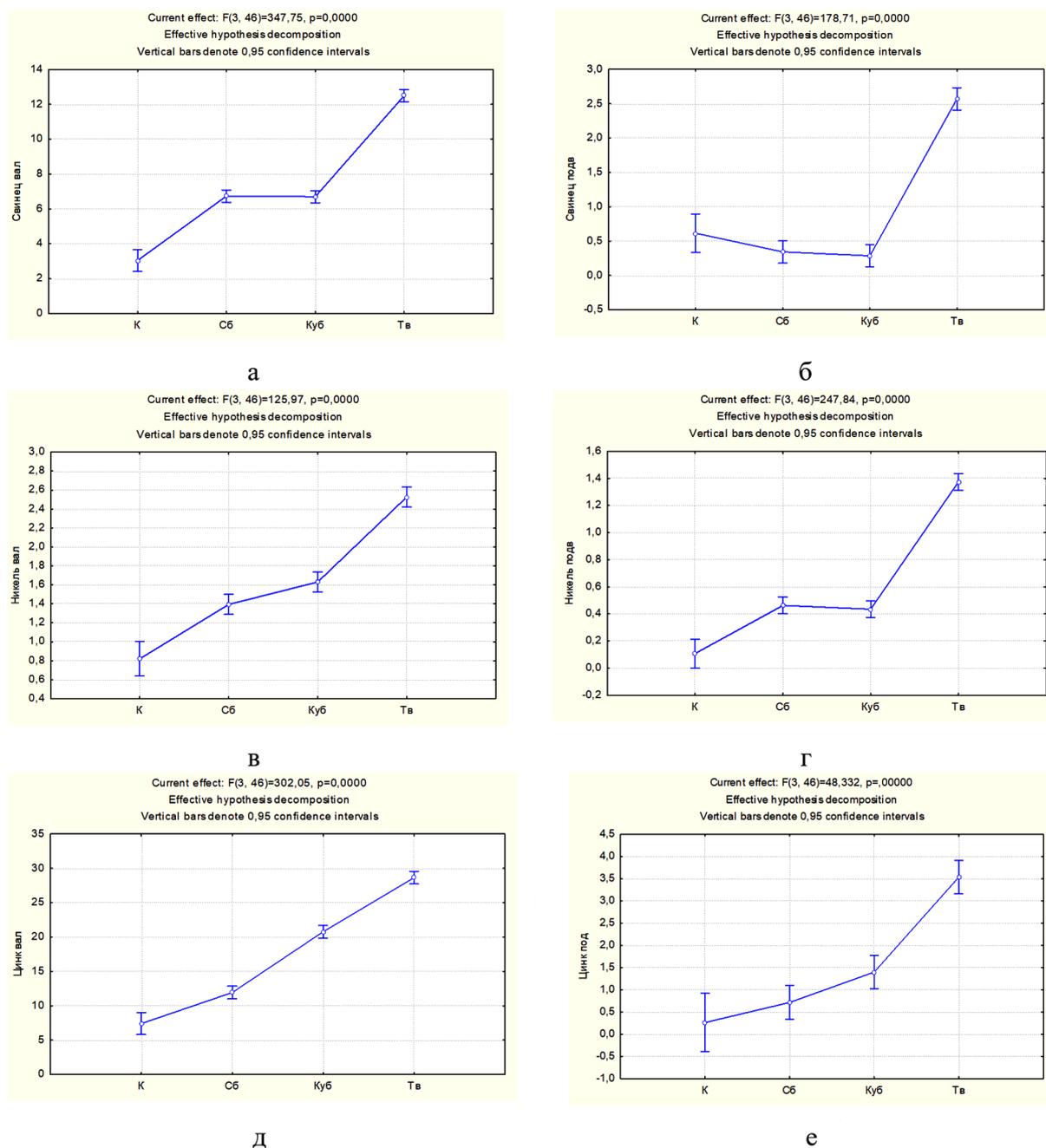


Рис. 2. Содержание ТМ в образцах, отобранных с почвенного покрова Красноярского края: а — валовых форм свинца, б — подвижных форм свинца, в — валовых форм никеля, г — подвижных форм никеля, д — валовых форм цинка, е — подвижных форм цинка

Каждый исследуемый участок отличался собственной закономерностью изменения показателей в зависимости от удаленности от автодороги. На участках п. Сухая Балка и д. Кубеково наблюдается линейное изменение — отрицательное и положительное соответственно. На участке д. Творогово закономерность не обнаружена.

Установлено, что между концентрацией валовых форм цинка в почвенных образцах и выживаемостью *Eisenia foetida* и *Paramecium caudatum* существует сильная отрица-

тельная связь (коэффициент корреляции  $r = -0,98 \dots -0,99$ ). Между металлами (Pb, Zn, Ni) имеются положительные связи от средней до очень высокой степени ( $r = 0,74 \dots 0,99$ ), максимально высокая связь — для валовых форм никеля и свинца в почве (табл. 3).

Таблица 2

Результаты биотестирования почвенных образцов

№ участка	Шифр точки	Результаты биотестирования, % выживаемости ( $M \pm m$ )		Заключение по тестированию почвенных образцов
		по <i>Paramecium caudatum</i>	по <i>Eisenia foetida</i>	
1	К	100,0±0,0	100,0±0,0	нетоксичные
2	С650	93,6±12,2	94,0±11,1	нетоксичные
2	С6100	88,6±7,9	79,0±18,8	нетоксичные
2	С6150	96,2±6,5	98,0±5,5	нетоксичные
3	Ку650	69,0±22,6	71,0±15,4	слаботоксичные
3	Ку6100	74,3±5,9	72,0±5,5	слаботоксичные
3	Ку6150	75,4±3,3	74,0±11,2	слаботоксичные
4	Тв50	60,3±4,8	69,2±17,4	слаботоксичные
4	Тв100	67,9±12,8	64,4±5,6	слаботоксичные
4	Тв150	63,7±5,5	68,4±9,8	слаботоксичные

Таблица 3

Матрица корреляций между концентрацией ТМ в почве, выживаемостью *Eisenia foetida* и *Paramecium caudatum*

Показатель	Pb вал.	Pb подв.	Ni вал.	Ni подв.	Zn вал.	Zn подв.	Выжив. <i>Paramecium caudatum</i>	Выжив. <i>Eisenia foetida</i>	Удаленность от дороги	Автотранспортная нагрузка
Pb вал.	1	0,83	0,99	0,99	0,92	0,96	-0,87	-0,85	0,01	0,96
Pb подв.	0,83	1	0,81	0,91	0,74	0,90	-0,65	-0,57	0,04	0,95
Ni вал.	0,99	0,81	1	0,97	0,97	0,98	-0,93	-0,91	0,05	0,96
Ni подв.	0,99	0,91	0,97	1	0,90	0,98	-0,83	-0,79	-0,04	0,95
Zn вал.	0,92	0,74	0,97	0,90	1	0,95	-0,99	-0,98	-0,03	0,86
Zn подв.	0,96	0,90	0,98	0,98	0,95	1	-0,91	-0,87	-0,21	0,85
Выжив. <i>Paramecium caudatum</i>	-0,87	-0,65	-0,93	-0,83	-0,99	-0,91	1	0,99	0,09	0,64
Выжив. <i>Eisenia foetida</i>	-0,85	-0,57	-0,91	-0,79	-0,98	-0,87	0,99	1	0,06	0,53
Удаленность от дороги	0,01	0,04	0,05	-0,04	-0,03	-0,21	0,09	0,06	1	—
Автотранспортная нагрузка	0,96	0,95	0,96	0,95	0,86	0,85	0,64	0,53	—	1

Тест-объект *Paramecium caudatum* показал большие корреляционные связи с содержанием ТМ в почвенных образцах и автотранспортной нагрузкой, чем тест-объект *Eisenia foetida*.

В результате факторного анализа обнаружено, что варьирование концентраций ТМ в почве обусловлено преимущественно первым фактором (рис. 3).

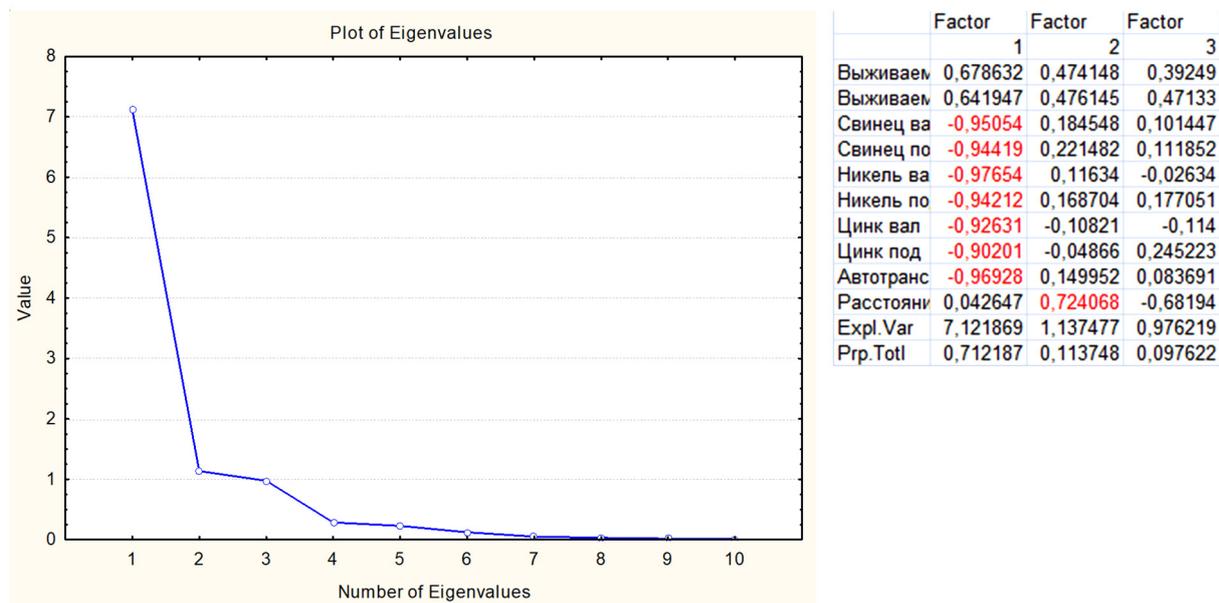


Рис. 3. Результаты факторного анализа концентрации ТМ в почвенном покрове

Ось Value соответствует информационному вкладу фактора в терминах дисперсии. Факторы с информационным вкладом меньше 1 принято считать «шумом». Анализ факторных нагрузок показывает, что группа элементов Pb-Ni-Zn имеет один общий основной источник (фактор 1).

#### Закключение

При экологической оценке состояния почв придорожной территории в Емельяновском районе Красноярского края не выявлены превышения концентраций валовых и подвижных форм свинца, цинка, никеля по сравнению с ПДК (ОДК), но имелись отличия от контрольных значений.

По реакции *Paramecium caudatum* и *Eisenia foetida* установлено, что слаботоксичными были почвенные образцы, взятые в д. Творогово, д. Кубеково, образцы в п. Сухая Балка нетоксичные.

Таким образом, применение методов биотестирования позволяет обнаружить негативное воздействие элементов-токсикантов на биоту даже в небольших концентрациях. Для определения токсичности почвенных вытяжек рекомендуем использовать как тест-объект *Paramecium caudatum*, так как он обладает более высокой чувствительностью к токсикантам (Pb, Zn, Ni).

#### Список использованной литературы

1. Баранов А. П., Воронина Л. П., Лунев М. И. Биотестирование загрязненной тяжелыми металлами почвы с использованием инфузорий // Агрехимический вестник. 2016. № 6. С. 36—39.
2. Гигиенические нормативы 2.1.7.2041-06. Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве. Введ. 2006-01-04. М. : Изд-во стандартов, 2006. 11 с.
3. ГОСТ 17.4.4.02-84. Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М. : Стандартинформ, 2008. 8 с.
4. ГОСТ 33036-2014. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для дождевых червей. М. : Стандартинформ, 2019. 3 с.
5. ГОСТ Р 52398-2005. Классификация автомобильных дорог. Основные параметры и требования. URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52398-2005> (дата обращения: 07.04.2022).

6. Демиденко Г. А., Шуранов В. В. Оценка токсичности кормов с использованием инфузорий *Paramecium caudatum* // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 10 (109). С. 5—11.
7. Карташев А. Г., Залялетдинова Н. А. Сообщества инфузорий в почвах Красноярского края // Вестник Тамбовского университета. Сер. Естественные и технические науки. 2014. Т. 19, № 5. С. 1512—1516.
8. Красноярск. Экологические очерки / Р. Г. Хлебопрос, О. В. Тасейко, Ю. Д. Иванова [и др.]. Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012. 130 с.
9. Любomiрова Е. М., Романова Е. М., Романов В. В., Шленкина Т. М. Биотестирование токсичности почв свалок твердых бытовых отходов // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2013. № 4 (24). С. 50—54.
10. Поляк Ю. М., Бакина Л. Г., Маячкина Н. В., Дроздова И. В., Каплан А. В., Голод Д. Л. Биодиагностика состояния окультуренной городской почвы, загрязненной тяжелыми металлами, методами биоиндикации и биотестирования // Почвы и окружающая среда. 2018. № 1 (4). С. 231—242. DOI: 10.31251/pos.v1i4.34.
11. РД 52.18.289-90. Руководящий документ. Методические указания. Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным анализом. Дата введения 01.06.91. Утвержден Государственным комитетом СССР по гидрометеорологии. М., 1990. 37 с.
12. Тюлюш Т. С., Коротченко И. С. Экологическое состояние почв различных районов Красноярска // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2018. № 6 (141). С. 283—288.
13. Шадрин И. А., Васильева Т. В. Оценка токсичности почв окрестностей г. Красноярска методами биотестирования // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2015. № 2 (101). С. 32—38.
14. Assessment of heavy metal contamination levels and health risks in environmental media in the northeast region / Cui Yongbo, Bai Li, Li Chunhui, He Zijian, Liu Xinru // Sustainable Cities and Society. 2022. Vol. 80. DOI: 10.1016/j.scs.2022.103796.
15. Combustion-derived nanoparticulate induces the adverse vascular effects of diesel exhaust inhalation / N. L. Mills, M. R. Miller, A. J. Lucking [et al.] // European Heart Journal. 2011. Vol. 32, N 21. P. 2660—2671. DOI: 10.1093/eurheartj/ehr195.
16. Korotchenko I. S., Pervyshina G. G., Rozhkova N. A., Kostetskay T. V., Lebedev N. A. Concentration of heavy metals in the soil cover of industrial zones of Krasnoyarsk // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Vol. 677. DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042110.

Поступила в редакцию 19.05.2022

**Коротченко Ирина Сергеевна**, кандидат биологических наук, доцент  
Красноярский государственный аграрный университет  
Российская Федерация, 660049, Красноярск, пр-т Мира, 90  
E-mail: [kisaspi@mail.ru](mailto:kisaspi@mail.ru)  
ORCID: 0000-0002-9099-9537

**Медведева Виктория Андреевна**, аспирант  
Красноярский государственный аграрный университет  
Российская Федерация, 660049, Красноярск, пр-т Мира, 90  
E-mail: [medvedeva\\_victoriya@mail.ru](mailto:medvedeva_victoriya@mail.ru)

UDC 504.06:631.453

I. S. Korotchenko

V. A. Medvedeva

**Biodiagnostics of the soil condition in the Emelyanovo district of the Krasnoyarsk Territory under conditions of traffic load**

The paper assesses the state of soils of agricultural lands in the Emelyanovo district of the Krasnoyarsk Territory by biotesting under conditions of traffic load. The study of soil samples for the content of heavy metals (lead, nickel, zinc) showed no excess of sanitary and hygienic standards. It was found that the traffic load contributed to the accumulation of heavy metals in the soil, in the most trafficked area — the village of Tvorogovo, an excess ( $p < 0.001$ ) of the concentrations of mobile forms of Ni, Zn, Pb was noted — up to 14, 18, 4 times, respectively, compared with the control. Biotesting of the soil extract using *Paramecium caudatum*, *Eisenia foetida* revealed the absence of toxicity in the control plots and the village of Sukhaya Balka, and weak toxicity in the plots of the villages of Kubekovo and Tvorogovo. For the most correct assessment of the ecological state of the soil, it is advisable to combine chemical analysis and biotesting. Based on the results of the correlation analysis, we recommend using *Paramecium caudatum* for the ecological assessment of soils by biodiagnostics.

**Key words:** biotesting, pollution, soil, transport, heavy metals, *Eisenia foetida*, *Paramecium caudatum*.

**Korotchenko Irina Sergeevna**, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor  
Krasnoyarsk State Agrarian University  
Russian Federation, 660049, Krasnoyarsk, Prospect Mira, 90  
E-mail: [kisaspi@mail.ru](mailto:kisaspi@mail.ru)  
ORCID: 0000-0002-9099-9537

**Medvedeva Victoria Andreevna**, Postgraduate student  
Krasnoyarsk State Agrarian University  
Russian Federation, 660049, Krasnoyarsk, Prospect Mira, 90  
E-mail: [medvedeva\\_victoriya@mail.ru](mailto:medvedeva_victoriya@mail.ru)

**References**

1. Baranov A. P., Voronina L. P., Lunev M. I. Biotestirovanie zagryaznennoi tyazhelymi metallami pochvy s ispol'zovaniem infuzorii [Bioassay soil contaminated with heavy metals using ciliates]. *Agrokhimicheskii vestnik — Agrochemical Herald*, 2016, no. 6, pp. 36—39. (In Russian)
2. *Gigienicheskie normativy 2.1.7.2041-06. Predel'no dopustimye kontsentratsii (PDK) khimicheskikh veshchestv v pochve. Vved. 2006-01-04* [Hygienic standards 2.1.7.2041-06. Maximum allowable concentrations (MACs) of chemicals in soil. Introduction 2006-01-04]. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 2006. 11 p. (In Russian)
3. *GOST 17.4.4.02-84. Okhrana prirody. Pochvy. Metody otbora i podgotovki prob dlya khimicheskogo, bakteriologicheskogo, gel'mintologicheskogo analiza* [GOST 17.4.4.02-84. Protection of Nature. Soils. Methods for taking and preparing samples for chemical, bacteriological, helminthological analysis]. Moscow, Standartinform Publ., 2008. 8 p. (In Russian)
4. *GOST 33036-2014. Metody ispytaniy khimicheskoi produktsii, predstavlyayushchei opasnost' dlya okruzhayushchei sredy. Opredelenie ostroi toksichnosti dlya dozhdevykh chervei* [GOST 33036-2014. Methods for testing chemical products that are hazardous to the environment. Determination of acute toxicity to earthworms]. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 3 p. (In Russian)
5. *GOST R 52398-2005. Klassifikatsiya avtomobil'nykh dorog. Osnovnye parametry i trebovaniya* [GOST R 52398-2005. Road classification. Basic parameters and requirements]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-52398-2005> Accessed: 07.04.2022. (In Russian)
6. Demidenko G. A., Shuranov V. V. *Otsenka toksichnosti kormov s ispol'zovaniem infuzorii Paramecium caudatum* [The assessment of the forage toxicity using the *Paramecium caudatum* ciliates]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Bulletin of KrasGAU*, 2015, no. 10 (109), pp. 5—11. (In Russian)
7. Kartashev A. G., Zalyaletdinova N. A. *Soobshchestva infuzorii v pochvakh Krasnoyarskogo kraia* [Communities of infusorians in soils of Krasnoyarsk krai]. *Vestnik Tambovskogo universiteta. Ser. Estestvennyye i tekhnicheskie nauki*, 2014, vol. 19, no. 5, pp. 1512—1516. (In Russian)

8. Khlebopros R. G., Taseiko O. V., Ivanova Yu. D. [et al.] *Krasnoyarsk. Ekologicheskie ocherki* [Krasnoyarsk. Environmental essays]. Krasnoyarsk, Sibirskii federal'nyi universitet Publ., 2012. 130 p. (In Russian)
9. Lyubomirova E. M., Romanova E. M., Romanov V. V., Shlenkina T. M. Biotestirovanie toksichnosti pochv svalok tverdykh bytovykh otkhodov [Biotesting the soil toxicity of household waste dumps]. *Vestnik Ul'yanovskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii — Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*, 2013, no. 4 (24), pp. 50—54. (In Russian)
10. Polyak Yu. M., Bakina L. G., Mayachkina N. V., Drozdova I. V., Kaplan A. V., Golod D. L. Biodiagnostika sostoyaniya okul'turennoi gorodskoi pochvy, zagryaznennoi tyazhelymi metallami, metodami bioindikatsii i biotestirovaniya [Biodiagnostics of the cultivated urban soil polluted by metals: bioindication and bioassay]. *Pochvy i okruzhayushchaya sreda*, 2018, no. 1 (4), pp. 231—242. DOI: 10.31251/pos.v1i4.34. (In Russian)
11. RD 52.18.289-90. *Rukovodyashchii dokument. Metodicheskie ukazaniya. Metodika vypolneniya izmerenii massovoi doli podvizhnykh form metallov (medi, svintsa, tsinka, nikelya, kadmiya, kobal'ta, khroma, margantsa) v probakh pochvy atomno-absorbtsionnym analizom. Data vvedeniya 01.06.91. Utverzhden Gosudarstvennym komitetom SSSR po gidrometeorologii* [RD 52.18.289-90. Guidance document. Methodical instructions. Method for measuring the mass fraction of mobile forms of metals (copper, lead, zinc, nickel, cadmium, cobalt, chromium, manganese) in soil samples by atomic absorption analysis. Date of introduction 01.06.91. Approved by the USSR State Committee for Hydrometeorology]. Moscow, 1990. 37 p. (In Russian)
12. Tyulyush T. S., Korotchenko I. S. Ekologicheskoe sostoyanie pochv razlichnykh raionov Krasnoyarska [Ecological state of soils in various areas of Krasnoyarsk]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Bulletin of KrasGAU*, 2018, no. 6 (141), pp. 283—288. (In Russian)
13. Shadrin I. A., Vasil'eva T. V. Otsenka toksichnosti pochv okrestnosti g. Krasnoyarska metodami biotestirovaniya [Assessment of soil toxicity around Krasnoyarsk by biotesting]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta — Bulletin of KrasGAU*, 2015, no. 2 (101), pp. 32—38. (In Russian)
14. Cui Yongbo, Bai Li, Li Chunhui, He Zijian, Liu Xinru. Assessment of heavy metal contamination levels and health risks in environmental media in the northeast region. *Sustainable Cities and Society*, 2022, vol. 80. DOI: 10.1016/j.scs.2022.103796.
15. Mills N. L., Miller M. R., Lucking A. J. [et al.]. Combustion-derived nanoparticulate induces the adverse vascular effects of diesel exhaust inhalation. *European Heart Journal*, 2011, vol. 32, no. 21, pp. 2660—2671. DOI: 10.1093/eurheartj/ehr195.
16. Korotchenko I. S., Pervyshina G. G., Rozhkova N. A., Kostetskay T. V., Lebedev N. A. Concentration of heavy metals in the soil cover of industrial zones of Krasnoyarsk. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 677. DOI: 10.1088/1755-1315/677/4/042110.