

УДК 57.044; 631.46

DOI 10.37279/2413-1725-2020-6-2-259-266

ВЛИЯНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕРЕБРОМ НА АКТИВНОСТЬ КАТАЛАЗЫ ЧЕРНОЗЕМОВ, БУРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ И СЕРОПЕСКОВ

Цепина Н. И., Судьбина Л. В., Минникова Т. В., Колесников С. И.

*Академия биологии и биотехнологии им Д. И. Ивановского Южного федерального
университета, г. Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: loko261008@yandex.ru*

При исследовании влияния загрязнения серебром на активность каталазы трех типов почв, наиболее характерных по генетическим свойствам для юга России, в большинстве случаев было отмечено снижение данного показателя. Степень снижения активности каталазы зависела от дозы серебра и экспозиции. Наиболее токсичными для чернозема обыкновенного были дозы 10 и 100 УДК, бурая лесная почва оказалась более чувствительна к загрязнению при минимальном количестве серебра в размере 1 УДК (1 мг/кг). При сравнении устойчивости трех типов почв к загрязнению серебром был получен следующий ряд: чернозем обыкновенный > серопески ≥ бурая лесная почва. Вероятно, это обусловлено легким гранулометрическим составом серопесков и кислой реакцией среды бурых лесных почв (рН = 5,8), а также низким содержанием органического вещества (2,3 и 1,8 % соответственно), что способствует высокой подвижности и высокой токсичности серебра в этих почвах. При исследовании влияния серебра на активность каталазы чернозема обыкновенного максимальное снижение показателя было зафиксировано на 30 сутки после загрязнения. На 90 сутки при 100 УДК наблюдали тенденцию к восстановлению, однако контрольные значения не были достигнуты. Черноземы отличаются высокой численностью микроорганизмов и высокой их активностью, а механизмы толерантности к загрязнению обеспечивают детоксикацию почв от воздействия серебра.

Ключевые слова: серебро, активность каталазы, почва, загрязнение, чернозем обыкновенный, серопески, бурая лесная почва.

ВВЕДЕНИЕ

В связи с широким использованием продукции на основе наночастиц серебра увеличивается риск загрязнения почвенного покрова и поверхностных вод, поскольку элемент в такой форме способен выщелачиваться из исходного материала [1]. Все больше появляется доказательств токсичности различных форм серебра для живых организмов не только водных, но и наземных экосистем. Серебро, накапливаясь в почве в больших количествах, как и другие тяжелые металлы, способно оказывать токсическое действие на физические, химические и биологические свойства почвы. Высокие концентрации серебра вызывают изменение и более консервативных признаков почвы, таких как гумусное состояние, структура, рН среды и др. Существенные изменения затрагивают биологические свойства почвы: снижается общая численность микроорганизмов, сужается их видовой состав (разнообразие), изменяется структура микробиоценозов, падает

интенсивность основных микробиологических процессов и активность почвенных ферментов и т. д. Поэтому исследование активности ферментов может быть использовано для выявления основных изменений в почвенной среде под влиянием серебра [2]. В литературе существует много достоверных данных о токсическом влиянии различных форм серебра на почвенные бактерии [3–5]. Кроме того известны случаи не только ингибирования активности почвенных дегидрогеназ, уреазы [6], фосфатазы [2], но и стимуляция активности уреазы и фосфатазы [7] малыми дозами серебра.

Однако, влияние серебра на активность каталазы почв в современной литературе не обнаружено. В связи с этим является актуальным изучение активности этого фермента при загрязнении серебром, поскольку активность каталазы является показателем потенциальной биологической активности почвы и отражает интенсивность процессов минерализации в ней.

Целью настоящей работы было изучить влияние загрязнения серебром на активность каталазы почв юга России, значительно различающихся по устойчивости к химическому загрязнению: черноземов, бурых лесных почв и серопесков.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объектов исследования были выбраны три типа почв юга России, различные по своим генетическим свойствам: чернозем обыкновенный, серопески и бурая лесная почва. Эксперимент проводили в лабораторных условиях.

Образцы почв была отобрана из верхнего слоя 0–10 см, поскольку серебро, как и другие тяжелые металлы, обычно депонируется именно в поверхностном слое почвы [8]. Характеристика мест отбора проб почв представлена в таблице 1.

Таблица 1

Характеристика мест отбора проб почв

Название типа почвы	Место отбора	Географические координаты	Тип угодья	Содержание гумуса %	pH (водный)
Чернозем обыкновенный	г. Ростов-на-Дону, Ботанический сад ЮФУ	47°14'17.54" с.ш., 39°38'33.22" в.д.	пашня	3,7	7,8
Серопески	Ростовская область, Усть-Донецкий р-н.	47° 46.015' с.ш. 40° 51.700' в.д.	разнотравно-злаковая степь	2,3	6,8
Бурая лесная почва	Республика Адыгея, п. Никель	44° 10.649' с.ш. 40° 9.469' в.д.	грабово-буковый лес	1,8	5,8

Поскольку предельно допустимая концентрация (ПДК) серебра в почве не разработана, его содержание выражали в виде условно допустимой концентрации

(УДК). Значения УДК были приняты равными трем фоновым концентрациям серебра в почве. Это обусловлено тем, что ПДК большинства тяжелых металлов и металлоидов составляют около трех фоновых концентраций в почве [9]. Среднее фоновое содержание серебра в почве по В. А. Алексеенко (2013) [10] составляет 0,37 мг/кг. Соответственно, УДК приняли равной 1 мг/кг. Чтобы добиться равномерного распределения серебра в почве, вносили хорошо растворимый в воде нитрат серебра (AgNO_3), в количестве 3, 30 и 300 фоновых концентраций (1, 10 и 100 мг/кг соответственно).

Образцы почвы (1 кг) инкубировали в пластиковых вегетационных сосудах, в трехкратной биологической повторности, при комнатной температуре (20–22 °С) и оптимальном увлажнении (60 % от полевой влагоемкости).

Выбор активности каталазы, как представителя класса оксидоредуктаз, для оценки состояния почв после загрязнения серебром был обусловлен тем, что именно этот класс ферментов наиболее чувствителен к химическому загрязнению [11–14]. Активность каталазы отражает интенсивность процессов минерализации в почве и является чувствительным показателем биологического состояния почв. Активность каталазы чернозема обыкновенного определяли через 10, 30 и 90 суток после загрязнения, серопесков и бурой лесной почвы через 10 суток после внесения серебра в почву. Лабораторно-аналитические исследования были выполнены с использованием общепринятых методов в биологии, почвоведении и экологии [15]. Активность каталазы определяли газометрическим методом по методике А. Ш. Галстяна (1978) [16]: по объему разложившейся перекиси водорода за 1 мин и измеряли в мл O_2 в 1 г почвы за 1 минуту ($n = 36$, в 3 биологических и 4 аналитических повторностях).

Достоверность полученных результатов оценивали с помощью дисперсионного анализа и последующим определением наименьшей существенной разности (НСР).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

При исследовании влияния серебра на активность каталазы почв в большинстве случаев наблюдали снижение данного показателя (рис. 1). Для большинства тяжелых металлов, в том числе для серебра, характерно ингибирование активности ферментов [11]. При внесении в почву серебра в количестве 10 и 100 УДК наблюдалось снижение показателя активности каталазы серопесков и бурой лесной почвы на 21–28 % от контроля. Чернозем обыкновенный и при 100 УДК был более устойчив к загрязнению: активность фермента снизилась на 11 % от контроля.

При сравнении устойчивости трех типов почв к загрязнению серебром по активности каталазы был получен следующий ряд: чернозем обыкновенный > серопески \geq бурая лесная почва.

Более низкая устойчивость к загрязнению серебром серопесков и бурых лесных почв обусловлена легким гранулометрическим составом серопесков и кислой реакцией среды бурых лесных почв ($\text{pH} = 5,8$), а также низким содержанием органического вещества (2,3 и 1,8 % соответственно), что способствует высокой подвижности и высокой токсичности серебра.

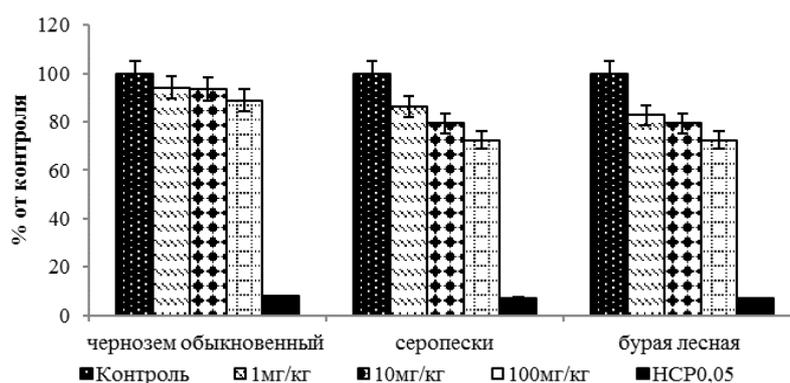


Рис. 1. Влияние загрязнения серебром (1, 10 и 100 мг/кг) на активность каталазы почв с различной устойчивостью к химическому загрязнению, % от контроля

Аналогичные закономерности большей устойчивости черноземов были получены ранее для других тяжелых металлов, таких как свинец, хром, медь, никель [11, 13].

Через 10 суток после загрязнения максимальный токсический эффект на активность каталазы чернозема обыкновенного оказала доза 100 мг/кг (100 УДК), что показывает высокую степень устойчивости данного типа почвы, поэтому было изучено влияние серебра на протяжении периода 90 суток.

Исследование динамики изменения активности каталазы чернозема обыкновенного в течение 90 суток после загрязнения серебром выявило, что это приводит к снижению активности каталазы на 10–15 % от контроля (рис. 2).

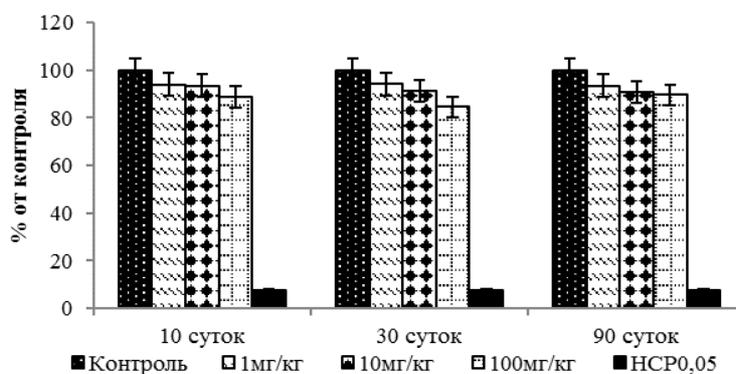


Рис. 2. Влияние загрязнения серебром (1, 10 и 100 мг/кг) на активность каталазы чернозема обыкновенного через 10, 30 и 90 суток, % от контроля

Причем, при 1 и 10 УДК на 30 и 90 сутки эксперимента наблюдали одинаковое снижение исследуемого показателя на 10–15 %. При 100 УДК (100 мг/кг) на 90

сутки после загрязнения наблюдали тенденцию к восстановлению активности каталазы, однако контрольные значения до загрязнения серебром достигнуты не были. Чернозем обыкновенный обладает высокой буферной способностью, высоким содержанием гумуса, емкостью почвенного поглощающего комплекса, благоприятным окислительным условиям и слабощелочной реакции среды, при которых тяжелые металлы переходят в неподвижные и малотоксичные формы для живых организмов [8]. Черноземы отличаются высокой численностью микроорганизмов и высокой их активностью, а механизмы толерантности к загрязнению обеспечивают детоксикацию почв от воздействия серебра.

Аналогичные закономерности наибольшей токсичности тяжелых металлов на 30-е сутки и тенденция к восстановлению биологических свойств почв на 90-е сутки были установлены ранее для других тяжелых металлов [11, 14]. При выращивании озимого ячменя на загрязненном бенз(а)пиреном (BaP) черноземе обыкновенном с ростом концентрации BaP активность каталазы также снижалась более, чем на 80 % относительно контроля [12]. При изучении влияния ряда тяжелых металлов (Hg, Cd, Pb, Cr, Cu, Zn, As и др.) на почвы авторами также отмечены выраженные тенденции к восстановлению биологических свойств почв, в том числе активности каталазы только на 90-е сутки после загрязнения [13, 14].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что при загрязнении серебром черноземов, бурых лесных почв и серопесков в большинстве случаев происходило ингибирование активности каталазы. Степень уменьшения данного показателя зависела от дозы вносимого в почву серебра. Ингибирование активности каталазы чернозема обыкновенного наблюдали при дозах 10 и 100 УДК, бурая лесная почва оказалась более чувствительна к загрязнению серебром уже при минимальной концентрации серебра 1 УДК (1 мг/кг). При сравнении устойчивости трех типов почв к загрязнению серебром был получен следующий ряд: чернозем обыкновенный > серопески ≥ бурая лесная почва. Более низкая устойчивость к загрязнению серебром почв обусловлена легким гранулометрическим составом серопесков и кислой реакцией среды бурых лесных почв (pH = 5,8), а также низким содержанием органического вещества (2,3 и 1,8 % соответственно), что способствует высокой подвижности, а, следовательно, и высокой токсичности серебра в этих почвах. При исследовании динамики влияния серебра на активность каталазы чернозема обыкновенного максимальное снижение показателя было зафиксировано на 30 сутки после загрязнения, при этом на 90 сутки наблюдали тенденцию к восстановлению, однако контрольные значения не были достигнуты. Благодаря хорошей буферной способности, высокому содержанию гумуса и емкости почвенного поглощающего комплекса, благоприятным окислительным условиям, нейтральной реакции среды серебро, как большинство тяжелых металлов, переходит в неподвижные и малотоксичные формы для живых организмов. Черноземы отличаются высокой численностью микроорганизмов и высокой их активностью, а механизмы толерантности к загрязнению обеспечивают детоксикацию почв от воздействия серебра.

Исследование выполнено при государственной поддержке ведущих научных школ Российской Федерации (грант Президента РФ НШ-2511.2020.11) и Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания в сфере научной деятельности (№0852-2020-0029).

Список литературы

1. Pittol M. Macroscopic effects of silver nanoparticles and titanium dioxide on edible plant growth / M. Pittol, D. Tomacheski, D. N. Simões, V. F. Ribeiro, R. M. Campomanes Santana // *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. - 2017. - Vol 8. - P. 127-133.
2. Eivazi F. Pedosphere Effects of Silver Nanoparticles on the Activities of Soil Enzymes Involved in Carbon and Nutrient Cycling / F. Eivazi, Z. Afrasiabi, E. Jose // *Pedosphere*. - 2018. - Vol. 28, Iss. 2. - P. 209-214.
3. Beddow J. Effects of engineered silver nanoparticles on the growth and activity of ecologically important microbes / J. Beddow, B. Stolpe, P. Cole [et al.] // *Environmental Microbiology Reports*. - 2014. - Vol. 6 (5). - P. 448-458.
4. Samarajeewa A. D. Effect of silver nano-particles on soil microbial growth, activity and community diversity in a sandy loam soil / A. D. Samarajeewa, J. R. Velicogna, J. I. Princz [et al.] // *Environmental Pollution*. - 2017. - Vol. 220. - P. 504–513.
5. Singh H. Extracellular synthesis of silver nanoparticles by *Pseudomonas* sp. THG-LS1.4 and their antimicrobial application / H. Singh, J. Dua, P. Singh [et al.] // *Journal of Pharmaceutical Analysis*. - 2018. - Vol. 8, Iss. 4. - P. 258–264.
6. Shin Y. J. Evidence for the inhibitory effects of silver nanoparticles on the activities of soil exoenzymes / Y. J. Shin, J. I. Kwak, Y. J. An // *Chemosphere*. - 2012. - Vol. 88 (4). - P. 524–529.
7. Rahmatpour S. Dose–response effects of silver nanoparticles and silver nitrate on microbial and enzyme activities in calcareous soils / S. Rahmatpour, M. Shirvani, M. R. Mosaddeghi [et al.] // *Geoderma*. - 2017. - Vol. 285. - P. 313–322.
8. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias. - 4th Edition. Boca Raton, FL: CrcPress. - 2010. - 548 p.
9. Kolesnikov S. I. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters / S. I. Kolesnikov, K. Sh. Kazeev, Yu. V. Akimenko // *Environmental Monitoring and Assessment*. - 2019. - No 191. - P. 544.
10. Kolesnikov S. I. Changes in the Ecological and Biological Properties of Ordinary Chernozems Polluted by Heavy Metals of the Second Hazard Class (Mo, Co, Cr, and Ni) / S. I. Kolesnikov, A. V. Evreinova, K. Sh. Kazeev [et al.] // *Eurasian Soil Science*. - 2009. - Vol. 42, N 8. - P.936-942.
11. Минникова Т. В. Оценка влияния бенз(а)пирена на биологическую активность чернозема Ростовской области / Т. В. Минникова, С. Н. Сушкова, С. С. Манджиева [и др.] // *Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов*. - 2019. - Т. 330, № 12. - С. 91-102.
12. Kolesnikov S. I. Ranking of Chemical Elements According to Their Ecological Hazard for Soil / S. I. Kolesnikov, K. Sh. Kazeev, V. F. Val'kov [et al.] // *Russian Agricultural Sciences*. - 2010. - Vol. 36, N. 1. - P. 32–34.
13. Алексеев В. А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов: монография / В. А. Алексеев, А. В. Алексеев. - Ростов н/Д: Издательство Южного федерального университета. - 2013. - 380 с.
14. Kolesnikov S. I. Effects of Heavy Metal Pollution on the Ecological and Biological Characteristics of Common Chernozem / S. I. Kolesnikov, K. Sh. Kazeev, V. F. Val'kov // *Russian Journal of Ecology*. - 2000. - Vol. 31, N 3. - P. 174–181.
15. Казеев К. Ш. Методы биодиагностики наземных экосистем. / Казеев К. Ш., Колесников С. И., Акименко Ю. В., Даденко Е. В. - Ростов-на-Дону: Издательство ЮФУ. - 2016. - 356 с.
16. Галстян А. Ш. Унификация методов исследования активности ферментов почв / А. Ш. Галстян // *Почвоведение*. - 1978. - №2. - С. 107–114.

INFLUENCE OF SILVER POLLUTION ON THE ACTIVITY OF SOIL CATALASE IN SOUTH OF RUSSIA

Tsepina N. I., Sudina L. V., Minnikova T. V., Kolesnikov S. I.

*Academy of biology and biotechnology, Department of Ecology Southern Federal University,
Rostov-on-Don, Russian Federation
E-mail: loko261008@yandex.ru*

Due to the widespread use of products based on silver nanoparticles, the risk of contamination of the soil cover and surface water increases, since an element in this form can leach out of the material. The amount of silver emissions into the environment is increasing every year. There is growing evidence of silver toxicity for living organisms of not only aquatic, but also terrestrial ecosystems. Silver, accumulating in soil in large quantities, like other heavy metals, can have a toxic effect on the physical, chemical and biological properties of the soil. High doses of the element can have a significant effect on the biological properties and ecological condition of soils. The study of enzyme activity can be used to identify major changes in the soil under the influence of silver. In this regard, it is relevant to study the effect of silver on catalase activity, since this enzyme is an indicator of the potential biological activity of the soil and reflects the intensity of mineralization processes in it.

The aim of the work was to study the effect of silver pollution on the activity of soil catalase most characteristic of the southern regions of Russia.

The object of the study identified soils characteristic of southern Russia: ordinary chernozems, seropesks and brown forest soils. For model studies, soil samples were taken from the upper arable layer (0-10 cm), since silver accumulates in the surface soil layers.

Silver pollution was modeled in a laboratory. Used silver nitrate at a concentration of 1 mg / kg, 10 mg / kg and 100 mg / kg, the experiment was 3 times biological repetition. The choice of biological indicators is due to the fact that oxidoreductases are most sensitive to chemical pollution among enzymes. This enzyme is an indicator of the biological activity of the soil and reflects the intensity of the mineralization processes in it. Laboratory and analytical studies were carried out using generally accepted methods in biology, soil science and ecology. Catalase activity was determined by the volumetric method according to A.Sh. Galstyan.

As a result of the study of the effect of silver on three types of soils, the most characteristic of the southern regions of Russia, a decrease in catalase activity was noted. The degree of reduction of this indicator depended on the dose of the element introduced into the soil. The degree of resistance to silver contamination has the following sequence: common chernozem > sulfur sands \geq brown forest soil. This is probably due to the light particle size distribution of sulfur sand and the acidic reaction of the environment of brown forest soils (pH = 5.8), as well as a low content of organic matter (1.8 % and 2.3 %, respectively), which contributes to high mobility, and therefore and high ecotoxicity of silver in these soils.

A decrease in the activity of catalase of ordinary chernozem was observed for 90 days. At 1 UDC on the 30th and 90th day of the experiment, the same decrease in the

studied parameter was observed. A similar pattern was observed at 10 UDC at the same experimental time. At 100 UDC (100 mg / kg) on the 90th day after contamination, a tendency toward restoration of catalase activity was observed, however, control values before silver contamination were not achieved. Chernozems have a high number of microorganisms and their high activity, and pollution tolerance mechanisms provide detoxification of soils from exposure to silver.

Keywords: silver, catalase activity, soil, pollution, ordinary chernozem, sierosands, brown forest soil.

References

1. Pittol M., Tomacheski D., Simões D. N., Ribeiro V. F. and Campomanes Santana R. M., Macroscopic effects of silver nanoparticles and titanium dioxide on edible plant growth, *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, **8**, 127 (2017).
2. Eivazi F., Afrasiabi Z. and Jose E., Pedosphere Effects of Silver Nanoparticles on the Activities of Soil Enzymes Involved in Carbon and Nutrient Cycling, *Pedosphere*, **28**, **2**, 209 (2018).
3. Beddow J., Stolpe B., Cole P., Lead J. R., Sapp M., Lyons B. P., Colbeck I. and Whitby C., Effects of engineered silver nanoparticles on the growth and activity of ecologically important microbes, *Environmental Microbiology Reports*, **6** (5), 448 (2014).
4. Samarajeewa A. D., Velicogna J. R., Princz J. I., Subasinghe R. M., Scroggins R. P. and Beaudette L. A., Effect of silver nano-particles on soil microbial growth, activity and community diversity in a sandy loam soil, *Environmental Pollution*, **220**, 504 (2017).
5. Singh H., Dua J., Singh P. and Yi T. H., Extracellular synthesis of silver nanoparticles by *Pseudomonas* sp. THG-LS1.4 and their antimicrobial application. *Journal of Pharmaceutical Analysis*, **8**, **4**, 258 (2018).
6. Shin Y. J., Kwak J. I. and An Y. J. Evidence for the inhibitory effects of silver nanoparticles on the activities of soil exoenzymes, *Chemosphere*, **88**(4), 524 (2012).
7. Rahmatpour S., Shirvani M., Mosaddeghi M. R., Farshid N. and Bazarganipour M., Dose–response effects of silver nanoparticles and silver nitrate on microbial and enzyme activities in calcareous soils, *Geoderma*, **285**, 313 (2017).
8. Kabata-Pendias A., *Trace Elements in Soils and Plants*, 548 p. (4th Edition. Boca Raton, FL: CrcPress, 2010).
9. Kolesnikov S. I., Kazeev K. Sh. and Akimenko Yu. V., Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters, *Environmental Monitoring and Assessment*, **191**, 544 (2019).
10. Kolesnikov S. I., Evreinova A. V., Kazeev K. Sh., and Val'kov V. F. Changes in the Ecological and Biological Properties of Ordinary Chernozems Polluted by Heavy Metals of the Second Hazard Class (Mo, Co, Cr, and Ni), *Eurasian Soil Science*, **42**, **8**, 936 (2009).
11. Minnikova T. V., Sushkova S. N., Mandzhiyeva S. S., Minkina T. M. and Kolesnikov S. I., Evaluation of the effect of benz (a) pyrene on the biological activity of chernozem in the Rostov Region, *Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo-Resource Engineering*, **330**, **12**, 91 (2019).
12. Kolesnikov S. I., Kazeev K. Sh., Val'kov V. F. and Ponomareva S. V., Ranking of Chemical Elements According to Their Ecological Hazard for Soil, *Russian Agricultural Sciences*, **36**, **1**, 32 (2010).
13. Alekseenko V. A. *Chemical elements in geochemical systems*. Clarks of soil of residential landscapes: monograph. Rostov-na-Donu, 380 p. (Publishing house of the Southern Federal University, 2013),
14. Kolesnikov S. I., Kazeev K. Sh. and Val'kov V. F., Effects of Heavy Metal Pollution on the Ecological and Biological Characteristics of Common Chernozem. *Russian Journal of Ecology*, **31**, **3**, 174 (2000).
15. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Akimenko Yu. V. and Dadenko E. V., *Metody biodiagnostiki nazemnyh ekosistem*, Rostov-na-Donu, 356 p. (Izdatel'stvo YuFu, 2016).
16. Galstyan A. Sh. Unification of methods for studying the activity of soil enzymes. *Soil Science*, **2**, 107 (1978).