

УДК 57.044; 631.46

ИЗМЕНЕНИЕ АКТИВНОСТИ КАТАЛАЗЫ В ПОЧВАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ И КАВКАЗА ПРИ ЗАГРЯЗНЕНИИ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И НЕФТЬЮ

Мощенко Дарья Ивановна, аспирант, Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологий, Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42, dimoshenko@sfnedu.ru

Кузина Анна Андреевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологий, Российская Федерация, 344006 г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42, nyuta_1990@mail.ru

Колесников Сергей Ильич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, зав. кафедрой экологии и природопользования, Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологий, Российская Федерация, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, 105/42, kolesnikov@sfnedu.ru

В результате проведенного исследования была получена зависимость токсического влияния тяжёлых металлов на почвы Центрального Предкавказья и Кавказа от вида загрязнителя: $Cr > Cu \geq Pb \geq Ni$. Был получен ряд почв исследуемых регионов по степени устойчивости активности каталазы к загрязнению тяжёлыми металлами (почвы расположены по мере снижения их устойчивости): горно-лугово-степная (90) \geq чернозём обыкновенный (84) = горно-луговая дерново-торфянистая (84) \geq горно-луговая дерновая (81) = горно-луговая черноземовидная (81) \geq дерново-карбонатная (79) \geq чернозём выщелоченный (горный) (78) \geq тёмно-серая лесная (76) \geq чернозём оподзоленный (горный) (75) \geq бурая лесная слабонасыщенная (74) \geq чернозём типичный (горный) (65).

Ключевые слова: каталаза, загрязнение почв, нефть, никель, свинец, хром, медь, Центральное Предкавказье, Кавказ, устойчивость, биодиагностика

CHANGES IN CATALASE ACTIVITY IN THE SOILS OF THE CENTRAL CISCAUCASIA AND THE CAUCASUS WHEN CONTAMINATED WITH HEAVY METALS AND OIL

Moshchenko Darya Ivanovna, postgraduate student, Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology, 105/42 B. Sadovaya St., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation, dimoshenko@sfnedu.ru

Kuzina Anna Andreevna, Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology, 105/42 B. Sadovaya St., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation, nyuta_1990@mail.ru

Kolesnikov Sergey Ilich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology, 105/42 B. Sadovaya St., Rostov-on-Don, 344006, Russian Federation, kolesnikov@sfnu.ru

As a result of the study, the dependence of the toxic effect of heavy metals on the soils of the Central Ciscaucasia and the Caucasus on the type of pollutant was obtained: $Cr > Cu \geq Pb \geq Ni$. A number of soils of the Central Ciscaucasia and the Caucasus were obtained according to the degree of resistance of catalase activity to heavy metal contamination (soils are located as their resistance decreases): mountain-meadow-steppe (90) \geq ordinary chernozem (84) = mountain-meadow sod-peaty (84) \geq mountain-meadow soddy (81) = mountain-meadow chernozem-likes (81) \geq sod-calcareouses (79) \geq chernozem leached (mountain) (78) \geq dark gray forest (76) \geq chernozem podzolized (mountain) (75) \geq Brown forest weakly unsaturated (74) \geq typical chernozem (mountain) (65).

Keywords: catalase, soil pollution, oil, nickel, lead, chromium, copper, Central Ciscaucasia, Caucasus, stability, biodiagnostics

Территория Центрального Предкавказья и Кавказа имеет разнообразный почвенный покров и играет важнейшую роль в продовольственной безопасности России. На данной территории располагается обширное количество предприятий, выбросы которых попадают в атмосферу, оседают на почве, стекают в водоёмы [11].

Каталаза – распространённый фермент, встречающийся почти во всех живых организмах. У каталазы один из самых высоких показателей оборотов среди всех ферментов, так как она способна разлагать более одного миллиона молекул перекиси водорода на единицу молекулу фермента [9]. Определение активности каталазы, благодаря простоте опыта, высокой скорости метода определения, малой трудоёмкости, подтверждённой высокой чувствительности и информативности, относится к одному из результативных параметров биодиагностики состояния почв при внесении поллютантов [1].

Цель настоящей работы – исследовать изменение активности каталазы в почвах Центрального Предкавказья и Кавказа при загрязнении тяжёлыми металлами и нефтью.

Материалы и методы исследования

В качестве объектов исследования были использованы основные почвы Центрального Предкавказья и Кавказа. В таблице 1 указаны координаты отборы образцов и характеристики перечисленных почв.

Таблица 1

Основные характеристики почв Центрального Предкавказья и Кавказа

Наименование почв по эколого-генетической классификации	Классификация по WRB [12]	Тип экосистемы	Место отбора образца	Координаты	Содержание органического вещества, %	pH	Гранулометрический состав
Чернозём обыкновенный	Наріс Chernozems Rachic	Пашня	Ставропольский край, Кочубеевский район, с. Кочубеевское	44°36'12.48"С 41°50'26.30"В	4,5	7,1	Легкоглинистый
Чернозём выщелоченный (горный)	Voronіc Chernozems Rachic	Пашня	Карачаево-Черкесская Республика, Хабезский район, аул Али-Бердуковский	43°57'53.78"С 41°43'36.21"В	4,0	6,9	Тяжелосуглинистый
Чернозём оподзоленный (горный)	Voronіc Chernozems Rachic	Пашня	Карачаево-Черкесская Республика, Хабезский район, аул Кош-Хабль	44° 8'1.43"С 41°51'14.39"В	4,1	6,5	Тяжелосуглинистый
Дерново-карбонатная	Rendzic Leptosols Eutric	Пашня	Карачаево-Черкесская Республика, Зеленчукский район, ст. Передовая	44°06'26.42"С 41°25'22.27"В	3,2	7,1	Тяжелосуглинистый
Тёмно-серая лесная	Greyіc Phaeozems Albic	Буково-дубовый лес	г. Ставрополь, заказник «Русский лес»	45°02'37.58"С 41°52'51.68"В	5,6	6,5	Тяжелосуглинистый
Бурая лесная слабонасыщенная	Наріс Cambisols Eutric	Буково-грабовый лес	Карачаево-Черкесская Республика, Карачаевский городской округ, г. Теберда	43°23'11.06"С 41°42'20.32"В	7,7	4,9	Тяжелосуглинистый
Горно-луговая дерново-торфянистая	Umbrіc Leptosols Vrsnic	Горный луг	Карачаево-Черкесская Республика, Карачаевский городской округ, п. Домбай	43°17'30.70"С 41°38'50.91"В	24,3	5,3	Среднесуглинистый
Горно-луговая дерновая	Umbrіc Leptosols Duutric	Горный луг	Карачаево-Черкесская Республика, Малокарачаевский район, с. Кичи-Балдык	43°46'16.43"С 42°39'56.43"В	12,2	6,4	Среднесуглинистый
Горно-луговая черномовицкая	Mollic Leptosols Eutric	Горный луг	Кабардино-Балкарская Республика, Зольский район, урочище Дамлы-Су	43°26'28.90"С 42°33'15.60"В	10,3	6,5	Среднесуглинистый
Горно-лугово-степная	Mollic Leptosols Eutric	Горный луг	Кабардино-Балкарская Республика, Эльбрусский район, г. Тарныуз	43°26'0.52"С 42°58'29.02"В	13,7	6,6	Легкоглинистый
Чернозем типичный (горный)	Voronіc Chernozems Rachic	Пашня	Ставропольский край, Предгорный район, с. Юла	43°58'59.16"С 42°56'9.83"В	7,1	7,4	Тяжелосуглинистый

Образцы почв для лабораторного моделирования загрязнения были отобраны в слое 0–10 см, где накапливается основное количество загрязняющих веществ.

В качестве загрязняющих веществ были выбраны нефть и тяжёлые металлы (ТМ): Cr, Cu, Ni, Pb, поскольку именно этими ТМ в значительной степени загрязнены почвы на юге России [8].

Загрязнение моделировали в лабораторных условиях. Концентрации ТМ были выбраны 1, 10, 100 ПДК, что равняется 100, 1 000 и 10 000 мг/кг почвы. Использовали значения ПДК, разработанные в Германии [4]. Во-первых, потому, что ПДК в почве общего (валового) содержания меди и никеля в России отсутствуют. Во-вторых, «российская» ПДК свинца зачастую не может быть использована, так как меньше содержания этого элемента во многих почвах. ПДК в почве нефти также не разработана, поэтому её содержание в почве выражали в процентах.

ТМ в почву вносили в форме оксидов: CrO₃, CuO, NiO, PbO. Их существенная доля поступает в почву именно в этой форме [8]. Применение оксидов ТМ исключает воздействие на показатели почвы сопутствующих анионов, как это бывает при внесении солей металлов.

Почву инкубировали в вегетационных сосудах при комнатной температуре (+20...+22 °С) и оптимальном увлажнении (60 % полной влагоёмкости) в трёхкратной повторности.

Активность каталазы определяли методом Галстяна, оценивая объём кислорода, высвободившегося после разложения H₂O₂ при контакте с исследуемой почвой [3; 6], через 30 суток после загрязнения. Установлено, что этот срок является наиболее информативным для оценки химического воздействия на почву [10].

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования представлены в таблице 2.

Таблица 2

Степень снижения активности каталазы в почвах Центрального Предкавказья и Кавказа

Химическое вещество	Концентрации вносимых веществ*				НСР ₀₅
	Незагрязнённая почва	1 ПДК (1 %)	10 ПДК (5 %)	100 ПДК (10 %)	
Чернозём обыкновенный					
Cr	11,4	11,6	4,2	2,9	1,0
Cu	11,4	11,6	11,1	10,5	0,8
Ni	11,4	11,9	11,2	11,1	0,8
Pb	11,4	11,6	10,4	9,2	0,8
Нефть	11,4	10,6	5,2	2,3	1,0
НСР ₀₅		1	0,8	0,6	

Продолжение таблицы 2

Химическое вещество	Концентрации вносимых веществ*				
	Незагрязненная почва	1 ПДК (1 %)	10 ПДК (5 %)	100 ПДК (10 %)	НСП ₀₅
Чернозём выщелоченный (горный)					
Cr	6,6	3,8	2,0	0,7	0,4
Cu	6,6	5,6	5,4	4,8	0,4
Ni	6,6	5,9	5,4	5,2	0,4
Pb	6,6	6,5	6,3	6,0	0,5
Нефть	6,6	4,1	4,0	3,6	0,6
НСП ₀₅		0,5	0,5	0,6	
Чернозём оподзоленный (горный)					
Cr	7,3	4,3	1,3	0,4	0,4
Cu	7,3	5,5	5,4	4,4	0,4
Ni	7,3	6,9	6,6	6,3	0,5
Pb	7,3	6,7	5,4	5,0	0,4
Нефть	7,3	6,0	4,9	3,9	0,7
НСП ₀₅		0,6	0,6	0,6	
Чернозём типичный (горный)					
Cr	6,1	2,4	1,5	1,0	0,4
Cu	6,1	5,3	4,6	4,1	0,4
Ni	6,1	4,0	3,5	3,3	0,3
Pb	6,1	3,5	3,3	2,7	0,3
Нефть	6,1	3,7	3,2	2,7	0,5
НСП ₀₅		0,9	1,1	1,2	
Дерново-карбонатная					
Cr	5,2	4,6	3,3	1,7	0,5
Cu	5,2	4,9	4,3	2,8	0,3
Ni	5,2	4,8	4,0	3,5	0,3
Pb	5,2	5,0	4,4	3,6	0,3
Нефть	5,2	4,5	3,1	1,6	0,5
НСП ₀₅		0,4	0,4	0,4	
Тёмно-серая лесная					
Cr	6,7	5,2	3,5	1,9	0,6
Cu	6,7	6,1	5,1	3,7	0,4
Ni	6,7	6,3	5,3	4,6	0,4
Pb	6,7	6,2	4,9	4,2	0,4
Нефть	6,7	5,9	3,9	2,3	0,6
НСП ₀₅		0,5	0,5	0,5	
Бурая лесная слабонасыщенная					
Cr	2,5	1,9	1,1	0,6	0,2
Cu	2,5	2,4	2,3	2,0	0,2
Ni	2,5	1,9	1,9	1,8	0,1
Pb	2,5	1,9	1,7	1,5	0,1
Нефть	2,5	1,8	1,0	0,5	0,2
НСП ₀₅		0,2	0,2	0,2	

Продолжение таблицы 2

Химическое вещество	Концентрации вносимых веществ*				
	Незагрязненная почва	1 ПДК (1 %)	10 ПДК (5 %)	100 ПДК (10 %)	НСП ₀₅
Горно-луговая дерново-торфянистая					
Cr	9,4	8,2	6,1	1,8	0,8
Cu	9,4	9,3	7,6	7,3	0,6
Ni	9,4	9,6	9,1	9,0	0,7
Pb	9,4	9,9	8,4	7,7	0,6
Нефть	9,4	6,3	5,8	4,8	0,9
НСП ₀₅		0,7	0,8	0,9	
Горно-луговая дерновая					
Cr	10,8	9,0	6,9	1,3	0,9
Cu	10,8	9,4	9,0	8,0	0,7
Ni	10,8	10,5	10,2	8,9	0,7
Pb	10,8	10,4	9,5	8,6	0,7
Нефть	10,8	10,3	5,3	4,3	1,0
НСП ₀₅		0,9	0,9	0,9	
Горно-луговая чернозёмовидная					
Cr	7,0	5,0	2,1	1,2	0,5
Cu	7,0	6,6	6,4	5,8	0,5
Ni	7,0	6,5	6,5	5,6	0,5
Pb	7,0	7,2	6,4	6,0	0,5
Нефть	7,0	7,1	3,6	2,6	0,7
НСП ₀₅		0,6	0,6	0,6	
Горно-лугово-степная					
Cr	13,7	13,4	9,5	2,0	1,3
Cu	13,7	12,8	12,8	12,7	0,9
Ni	13,7	13,3	12,9	12,6	0,9
Pb	13,7	14,9	13,5	13,4	1,0
Нефть	13,7	13,3	11,7	9,7	1,6
НСП ₀₅		1,2	1,3	1,5	

Примечание: *ПДК – для ТМ, % – для нефти.

Данное исследование показало, что при загрязнении почв Центрального Предкавказья и Кавказа ТМ и нефтью наблюдается снижение активности каталазы.

ТМ, связываясь с молекулами каталазы, прикрепляются к сульфгидрильным группам, что приводит к сбою ферментативных функций. Компоненты нефти, обволакивая почвенные частицы, ограничивают проникновение воздуха, работа окислительно-восстановительного фермента каталазы затрудняется.

В результате проведенного исследования была получена зависимость токсического влияния тяжёлых металлов на почвы Центрального Предкавказья и Кавказа от вида загрязнителя: $Cr (48) > Cu (82) \geq Pb (83) \geq Ni (87)$. Токсичное влияние хрома подтверждено и другими исследованиями [2; 5; 13].

В результате сравнительной оценки степени снижения активности каталазы в результате химического загрязнения был получен ряд почв

Центрального Предкавказья и Кавказа по степени их устойчивости к загрязнению тяжёлыми металлами (почвы расположены по мере снижения их устойчивости): горно-лугово-степная (90) \geq чернозём обыкновенный (84) = горно-луговая дерново-торфянистая (84) \geq горно-луговая дерновая (81) = горно-луговая чернозёмовидная (81) \geq дерново-карбонатная (79) \geq чернозём выщелоченный (78) \geq тёмно-серая лесная (76) \geq чернозём оподзоленный (75) \geq бурая лесная слабонасыщенная (74) \geq чернозём типичный (горный) (65).

Стоит отметить довольно сильное угнетение активности каталазы в чернозёме типичном (горном) при загрязнении Cr.

Полученную последовательность устойчивости почв можно объяснить их генетическими свойствами, в частности, концентрацией органического вещества, биологической активностью, гранулометрическим составом и др. Эта закономерность была подтверждена работами других авторов [7].

Выводы:

1. При загрязнении почв Центрального Предкавказья и Кавказа нефтью, хромом, никелем и свинцом наблюдается снижение активности каталазы.

2. В результате проведённого исследования была получена зависимость токсического влияния тяжёлых металлов на почвы Центрального Предкавказья и Кавказа от вида загрязнителя: Cr > Cu \geq Pb \geq Ni.

3. Был получен ряд почв Центрального Предкавказья и Кавказа по степени устойчивости активности каталазы к загрязнению тяжёлыми металлами (почвы расположены по мере снижения их устойчивости): горно-лугово-степная (90) \geq чернозём обыкновенный (84) = горно-луговая дерново-торфянистая (84) \geq горно-луговая дерновая (81) = горно-луговая чернозёмовидная (81) \geq дерново-карбонатная (79) \geq чернозём выщелоченный (78) \geq тёмно-серая лесная (76) \geq чернозём оподзоленный (75) \geq бурая лесная слабонасыщенная (74) \geq чернозём типичный (горный) (65).

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

Список литературы

1. Даденко, Е. В. Влияние пастбищной нагрузки на ферментативную активность лесных почв Северо-Западного Кавказа / Е. В. Даденко, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – № 2–2, т. 18. – С. 345–348.

2. Дауд, Р. М. Оценка устойчивости почв аридных экосистем к химическому загрязнению : монография / Р. М. Дауд, С. И. Колесников, Т. В. Минникова, А. А. Кузина, К. Ш. Казеев, Ю. В. Акименко // Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Южный федеральный университет, 2021. – 256 с.

3. Казеев, К. Ш. Методы биодиагностики наземных экосистем / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, Ю. В. Акименко, Е. В. Даденко. – Ростов-на-Дону : Южный федеральный университет, 2016. – 356 с.
4. Касьяненко, А. А. Контроль качества окружающей среды / А. А. Касьяненко. – Москва : РУДН, 1992. – 136 с.
5. Колесников, С. Экологические нормативы содержания тяжелых металлов в бурых лесных почвах Крыма и Кавказа / С. Колесников, Д. Мощенко, А. Кузина, Т. Тер-Мисакянц, Е. Неведомая, Н. Вернигорова, К. Казеев // Экология и промышленность России. – 2021. – Т. 25 (1). – С. 65–71. – DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-1-65-71>.
6. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. – Москва : МГУ, 1991. – 304 с.
7. Титова, К. В. Оценка влияния локальных производственных объектов на почвы пос. Соловецкий (Соловецкий архипелаг, Архангельская область) / К. В. Титова, Э. В. Швакова, Л. Ф. Попова, А. Н. Трофимова, С. С. Попов // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. – 2020. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-lokalnyh-proizvodstvennyh-obektov-na-pochvy-pos-solovetskiy-solovetskiy-arhipelag-arhangel'skaya-oblast> (дата обращения: 23.10.2021).
8. Kabata-Pendias, A. Trace Elements in Soils and Plants / A. Kabata-Pendias. – 4th ed. – Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. – P. 548.
9. Kaushal, J. Catalase Enzyme: Application in Bioremediation and Food Industry / J. Kaushal, S. Mehandia, G. Singh, A. Raina, S. K. Arya // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. – 2018. – № 16. – P. 192–199. – DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.07.035> (дата обращения: 10.10.2021).
10. Kolesnikov, S. I. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters / S. I. Kolesnikov, K. S. Kazeev, Y. V. Akimenko // Environmental Monitoring and Assessment. – 2019. – P. 191. – P. 54402. – DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7718-3> (дата обращения: 10.10.2021).
11. Rovira, J. Concentrations of trasse elements and PCDD / Fs around a municipal solid waste in cinerator in Girona (Catalonia, Spain). Human healts risks for the population living in the neighborhood / J. Rovira, M. Nadal, M. Schuhmacher, J. L. Domingo // Sci. Total Environ. – 2018. – Vol. 630. – P. 34–45.
12. World Reference Base for Soil Resources. – Rome : FAO, 2006. – 128 p.
13. Xiao, L. The influence of bioavailable heavy metals and microbial parameters of soil on the metal accumulation in rice grain / L. Xiao, D. Guan, M. R. Peart, Y. Chen, Q Li, J. Dai // Chemosphere. – 2017. – Vol. 185. – P. 868–878. – DOI: [10.1016/j.chemosphere.2017.07.096](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.096).

References

1. Dadenko, E. V., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. Vliyanie pastbishchnoy nagruzki na fermentativnuyu aktivnost lesnykh pochv Severo-Zapadnogo Kavkaza [Influence of pasture load on enzymatic activity of forest soils of the North-Western Caucasus]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk* [Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2016, no. 2-2, vol. 18, pp. 345–348.
2. Daud R. M., Kolesnikov S. I., Minnikova T. V., Kuzina A. A., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu. V. *Otsenka ustoychivosti pochv aridnykh ekosistem k khimicheskomu zagryazneniyu* [Assessment of soil stability of arid ecosystems to chemical pollution]. Rostov-on-Don, Taganrog, Southern Federal University Publ. House, 2021, 256 p.
3. Kazeev, K. Sh., Kolesnikov S. I., Akimenko Yu. V., Dadenko E. V. *Metody biodiagnostiki nazemnykh ekosistem* [Methods of biodiagnostics of terrestrial ecosystems]. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ. House, 2016, 356 p.
4. Kasyanenko, A. A. *Kontrol kachestva okruzhayushchey sredy* [Environmental quality control]. Moscow, RUDN Publ. House, 1992, 136 p.

5. Kolesnikov, S., Moshchenko D., Kuzina A., Ter-Misakyants T., Unknown E., Vernigorova N., Kazeev K. Ekologicheskie normativy sodержaniya tyazhelykh metallov v burykh lesnykh pochvakh Kryma i Kavkaza [Environmental standards for the content of heavy metals in brown forest soils of the Crimea and the Caucasus]. *Ekologiya i promyshlennost Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2021, vol. 25 (1), pp. 65–71. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2021-1-65-71>.

6. *Metody pochvennoy mikrobiologii i biokhimii* [Methods of soil microbiology and biochemistry]. Ed. by D. G. Zvyagintsev. Moscow, Moscow State University Publ. House, 1991, 304 p.

7. Titova, K. V., Shvakova E. V., Popova L. F., Trofimova A. N., Popov S. S. Otsenka vliyaniya lokalnykh proizvodstvennykh obektov na pochvy pos. Solovetskiy (Solovetskiy arhipelag, Arkhangelskaya oblast) [Assessment of the impact of local production facilities on the soils of the village. Solovetsky (Solovetsky Archipelago, Arkhangelsk region)]. *Izvestiya Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya "Biologiya. Ekologiya"* [Izvestiya Irkutsk State University. Series "Biology. Ecology"], 2020. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/otsenka-vliyaniya-lokalnyh-proizvodstvennyh-obektov-na-pochvy-pos-solovetskiy-solovetskiy-arhipelag-arhangelskaya-oblast> (accessed: 10/23/2021).

8. Kabata-Pendias, A. *Trace Elements in Soils and Plants*. Boca Raton, FL, Crc Press, 2010, 4th ed., p. 548.

9. Kaushal, J., Mehandia S., Singh G., Raina A., Arya S. K. Catalase Enzyme: Application in Bioremediation and Food Industry. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 2018, no. 16, pp. 192–199. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2018.07.035>. Date of treatment 10.10.2021.

10. Kolesnikov, S. I., Kazeev K. S., Akimenko Y. V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2019, no. 191, p. 54402. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7718-3> (accessed: 10.10.2021).

11. Rovira, J., Nadal M., Schuhmacher M., Domingo J. L. Concentrations of trace elements and PCDD/Fs around a municipal solid waste incinerator in Girona (Catalonia, Spain). Human health risks for the population living in the neighborhood. *Sci. Total Environ*, 2018, vol. 630, pp. 34–45.

12. *World Reference Base for Soil Resources*. FAO, Rome, 2006, 128 p.

13. Xiao, L., Guan D., Peart M. R., Chen Y., Li Q., Dai J. The influence of bioavailable heavy metals and microbial parameters of soil on the metal accumulation in rice grain. *Chemosphere*, 2017, vol. 185, pp. 868–878. DOI: [10.1016/j.chemosphere.2017.07.096](https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.07.096).