

УДК 631.46; 574

ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ КОРИЧНЕВЫХ КАРБОНАТНЫХ ПОЧВ КРЫМА К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И НЕФТЬЮ

*Вернигорова Н. А., Кузина А. А., Моспаненко А. Ф., Казеев К. Ш.,
Акименко Ю. В., Колесников С. И.*

*ФГАОУ ВПО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия
E-mail: kolesnikov@sfedu.ru*

Коричневые почвы Крымского полуострова уникальны для России. Однако развитие транспортной и курортной инфраструктуры может вызвать усиление загрязнения почв. В результате модельных исследований установлено, что загрязнение ТМ и нефтью коричневой карбонатной почвы хромом, медью, никелем, свинцом и нефтью приводит к снижению ее биологической активности. По степени негативного влияния на биологические свойства коричневой карбонатной почвы тяжелые металлы образуют следующий ряд: $Cr > Cu \geq Pb \geq Ni$. Коричневые карбонатные почвы проявили себя как одни из наименее устойчивых почв Крымского полуострова к загрязнению тяжелыми металлами.

Ключевые слова: коричневые почвы, загрязнение, тяжелые металлы, нефть, биодиагностика.

ВВЕДЕНИЕ

На территории сухих дубовых и фисташковых лесов и можжевельникового редколесья горного Крыма распространены уникальные для России коричневые почвы.

В 2018 году завершается строительство автомобильного и железнодорожного мостов через Керченский пролив. Увеличение транспортного потока в Крым и развитие сопутствующей дорожной и курортной инфраструктуры может вызвать усиление загрязнения почв. Одной из приоритетных экологических проблем современности является химическое загрязнение почв. При этом пределы устойчивости коричневых карбонатных почв к химическому загрязнению не установлены.

Цель данной работы – оценить устойчивость коричневых карбонатных почв Крыма к химическому загрязнению (Pb, Cu, Cr, Ni, нефть) по биологическим показателям.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Загрязнение тяжелыми металлами (ТМ) и нефтью моделировали в лабораторных условиях.

Объектом исследования была выбрана коричневая карбонатная почва, отобранная в Республике Крым, в окрестностях с. Кипарисного (44°36'19.74" N, 34°21'15.06" S). Для исследований отбирали верхнюю часть почвы 0–10 см.

Данная почва отличается тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, относительно небольшим содержанием гумуса в верхнем горизонте – 1,7 %, средней оструктуренностью, нейтральной реакцией среды – $pH = 7,8$, средней биологической активностью (общая численность бактерий – 3,2 млрд/г почвы, активность каталазы – 6,3 мл O_2 /г почвы за 1 мин, активность дегидрогеназы – 10,1 мг ТФФ/10 г почвы за 24 часа, обилие бактерий рода *Azotobacter* – 45 % комочков обрастания).

В качестве загрязняющих веществ были выбраны нефть и ТМ: оксид свинца (PbO), оксид хрома (CrO_3), оксид никеля (NiO) и оксид меди (CuO). Данные ТМ считаются приоритетными загрязнителями на Юге России [1, 2]. Кроме того, эти ТМ интересны для сравнения: их предельно допустимые концентрации (ПДК) составляют 100 мг/кг почвы. Использовали значения ПДК, разработанные в Германии [3]. 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 ее содержание в почве выражали в процентах.

ТМ вносили в почву в количестве 1, 10, 100 ПДК (100, 1000 и 10000 мг/кг соответственно), нефть – 1, 5, 10 % от массы почвы. Содержание ТМ в почве до 100 и даже более ПДК нередко встречается в районах предприятий металлургической, химической и топливной промышленности.

Использовали оксиды ТМ: CrO_3 , CuO , NiO , PbO . Во-первых, значительная доля ТМ поступает в почву именно в форме оксидов [4]. Во-вторых, использование оксидов ТМ позволяет исключить воздействие на свойства почвы сопутствующих анионов, как это происходит при внесении солей металлов.

Почву инкубировали в вегетационных сосудах при комнатной температуре (20–22 °С) и оптимальном увлажнении (60 % от полевой влагоемкости) в трехкратной повторности.

Биологические свойства почвы определяли через 30 суток после загрязнения. При оценке химического воздействия на биологическое состояние почвы этот срок является наиболее информативным [5].

Лабораторно-аналитические исследования были выполнены с использованием общепринятых методов [6, 7]. Определяли общую численность бактерий, обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы и дегидрогеназы, целлюлозолитическую активность, фитотоксические свойства почвы. Общую численность бактерий в почве учитывали методом люминесцентной микроскопии по Звягинцеву, Кожевину, *Azotobacter* – методом комочков обрастания на среде Эшби, целлюлозолитическую способность – по степени разложения хлопчатобумажного полотна, активность каталазы – по методике Галстяна, дегидрогеназы – по методике Галстяна в модификации Хазиева, о фитотоксичности почв судили по изменению длины корней редиса.

На основе вышеперечисленных биологических показателей определяли интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы.

Представленный набор показателей дает информативную картину протекающих в почве биологических процессов и ее экологического состояния.

Для расчета ИПБС значение каждого из указанных выше показателей на контроле (в незагрязненной почве) принимали за 100 % и по отношению к нему выражали в процентах значения в остальных вариантах опыта (в загрязненной почве). Затем определяли среднее значение пяти выбранных показателей для каждого варианта опыта. Полученное значение (ИПБС) выражено в процентах по отношению к контролю (к 100 %). Используемая методика позволяет интегрировать относительные значения разных показателей, абсолютные значения которых не могут быть интегрированы, так как имеют разные единицы измерения.

Для проверки полученных данных на достоверность был проведен дисперсионный анализ с последующим определением наименьшей существенной разности (НСР).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате исследования установлено, что загрязнение ТМ и нефтью коричневой карбонатной почвы хромом, медью, никелем, свинцом и нефтью приводит к ухудшению биологических показателей: общей численности бактерий, активности каталазы и дегидрогеназы, целлюлозолитической активности, обилия бактерий рода *Azotobacter*, длины корней редиса, ИПБС (рис. 1–7).

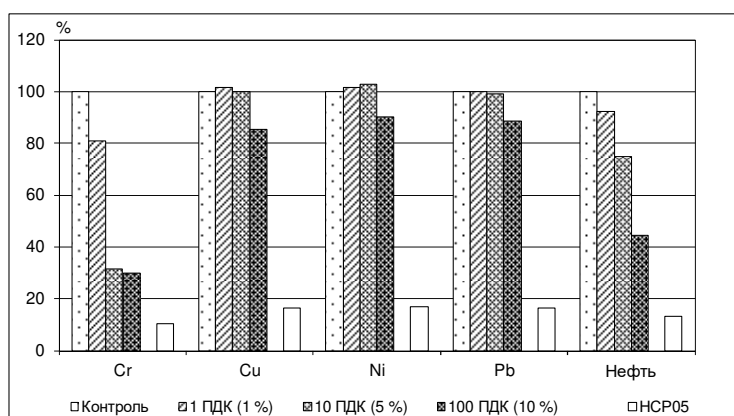


Рис. 1. Влияние химического загрязнения на активность каталазы коричневой карбонатной почвы, % от контроля

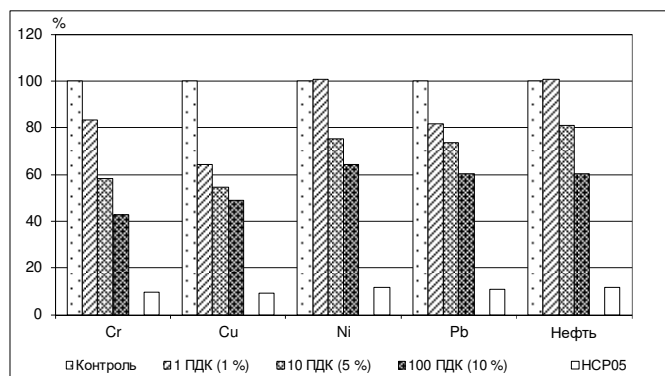


Рис. 2. Влияние химического загрязнения на активность дегидрогеназы коричневой карбонатной почвы, % от контроля

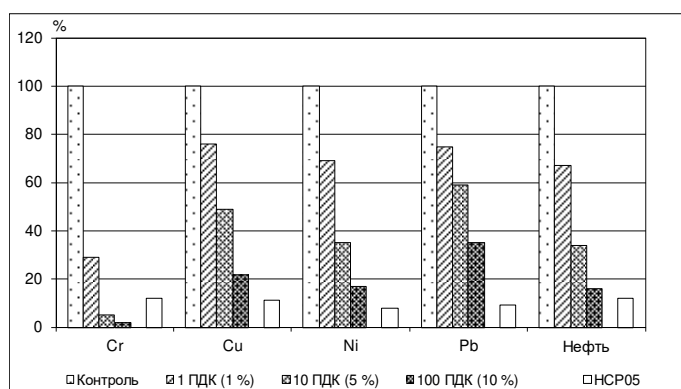


Рис. 3. Влияние химического загрязнения на целлюлозолитическую активность коричневой карбонатной почвы, % от контроля

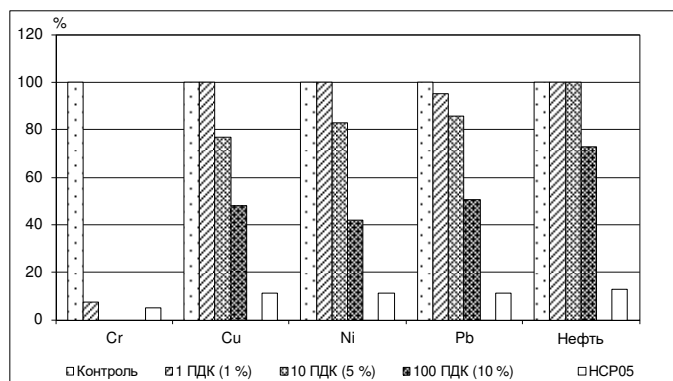


Рис. 4. Влияние химического загрязнения на численность бактерий рода *Azotobacter* в коричневой карбонатной почве, % от контроля

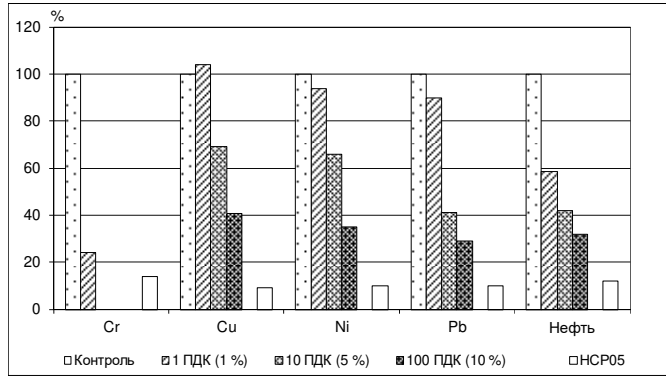


Рис. 5. Влияние химического загрязнения на фитотоксичность коричневой карбонатной почвы, % от контроля

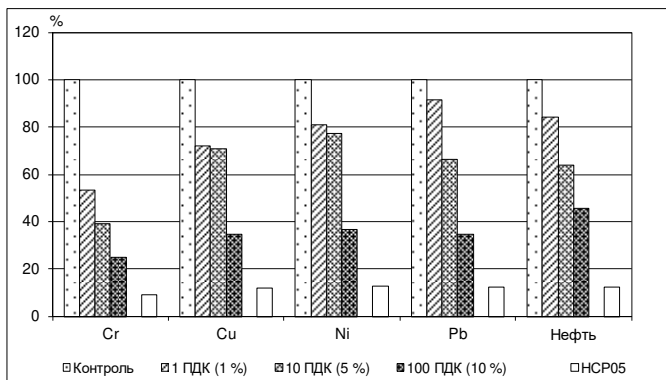


Рис. 6. Влияние химического загрязнения на численность бактерий в коричневой карбонатной почве, % от контроля

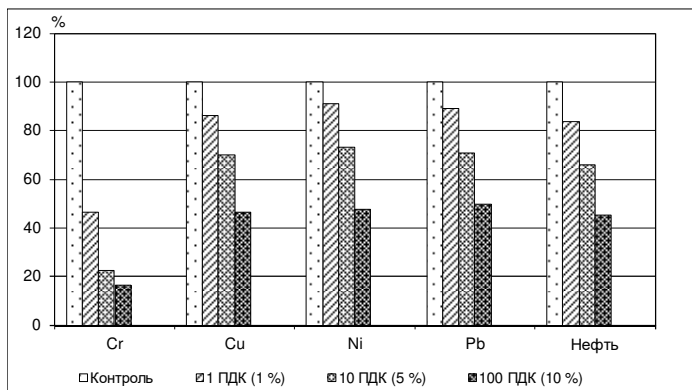


Рис. 7. Влияние химического загрязнения на интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) коричневой карбонатной почвы, % от контроля

Установлена прямая зависимость степени снижения исследуемых показателей от концентрации загрязняющих веществ и их природы.

Так как концентрации тяжелых металлов были выбраны одинаковые (1 ПДК=100 мг/кг почвы), то возможно их сопоставление. Был получен ряд токсичности ТМ для биологических показателей коричневой карбонатной почвы: $Cr > Cu \geq Pb \geq Ni$. Оксид хрома по сравнению с другими ТМ оказал наибольшее токсическое действие. Подобная закономерность была выявлена ранее в исследованиях с другими почвами Причерноморья и Приазовья России [8, 9].

Коричневые карбонатные почвы проявили себя как одни из наименее устойчивых почв Крыма к загрязнению ТМ и нефтью. Более уязвимыми оказались только бурые лесные почвы. Это связано, прежде всего, с низким содержанием гумуса. В результате ТМ слабо закрепляются в почве, остаются подвижными и в значительной степени проявляют свои токсические и ингибирующие свойства по отношению к микроорганизмам, растениям и ферментам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Загрязнение коричневой карбонатной почвы Крымского полуострова нефтью, оксидами хрома, никеля, меди и свинца ухудшает ее биологические свойства. Наблюдается снижение активности каталазы и дегидрогеназы, общей численности бактерий, обилия бактерий рода *Azotobacter*, целлюлозолитической способности, ухудшаются показатели прорастания и начального роста редиса.

Отмечена прямая зависимость между содержанием в почве загрязняющего вещества и степенью снижения биологических показателей.

По степени негативного влияния на биологические свойства коричневой карбонатной почвы ТМ образуют следующий ряд: $Cr > Cu \geq Pb \geq Ni$.

Коричневые карбонатные почвы проявили себя как одни из наименее устойчивых почв Крыма к загрязнению ТМ и нефтью. Более уязвимыми оказались только бурые лесные почвы. Это связано, прежде всего, с низким содержанием гумуса.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации (5.5735.2017/8.9) и государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-3464.2018.11).

Список литературы

1. Алексеев В. А. Металлы в окружающей среде. Прибрежные аквальные ландшафты Черноморского побережья России / В. А. Алексеев, А. В. Суворинов, Е. В. Власова. – М.: ФГБНУ НИИ ПМТ, 2012. – 360 с.
2. Дьяченко В. В. Геохимия, систематика и оценка состояния ландшафтов Северного Кавказа / В. В. Дьяченко – Ростов н/Д.: Издательский центр «Комплекс», 2004. – 268 с.
3. Касьяненко А. А. Контроль качества окружающей среды / А. А. Касьяненко – М.: Изд-во РУДН, 1992. – 136 с.
4. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants / Kabata-Pendias A., fourth ed. – CRC Press, Boca Raton FL. – 2011. – 505 p.

5. Колесников С. И. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного / С. И. Колесников, К. Ш. Казеев, В. Ф. Вальков // Экология. – 2000. – № 3. – С. 193–201.
6. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под. ред. Д. Г. Звягинцева. – М.: Изд-во МГУ, 1991. – 304 с.
7. Казеев К. Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Южный федеральный университет – Ростов н/Д: Изд-во Южного федерального университета, 2012. – 380 с.
8. Колесников С. И. Влияние загрязнения нефтью и тяжелыми металлами на биологические свойства желтозема / С. И. Колесников, А. А. Кузина, Н. А. Вернигорова, К. Ш. Казеев, Ю. В. Акименко // Агрохимия. – 2016. – № 11. – С. 58–64.
9. Колесников С. И. Оценка устойчивости бурых лесных оподзоленных почв черноморского побережья Кавказа к химическому загрязнению / С. И. Колесников, А. А. Кузина, Н. А. Евстегнеева, К. Ш. Казеев // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия «Естественные науки». – 2016. – № 1 (189). – С. 66–70.

ASSESSMENT OF RESISTANCE OF BROWN CARBONATE SOILS OF THE CRIMEA TO POLLUTION BY HEAVY METALS AND OIL

Vernigorova N. A., Kuzina A. A., Mospanenko A. F., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu. V., Kolesnikov S. I.

*Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
E-mail: kolesnikov@sfedu.ru*

Brown soils of the Crimean peninsula are unique for Russia. However, the development of transport and resort infrastructure can cause increased pollution of soils. The limits of stability of brown carbonate soils to chemical contamination have not been established.

Pollution by heavy metals and oil was modeled in the laboratory. The object of the study was chosen brown carbonate soil, selected in the Republic of Crimea, in the vicinity of the village Kiparisnoe. Oil and heavy metals were chosen as chemical contaminants: lead oxide (PbO), chromium oxide (CrO₃), nickel oxide (NiO) and copper oxide (CuO). Heavy metals were introduced into the soil in the amount of 1, 10, 100 MPC (100, 1000 and 10,000 mg / kg, respectively), oil – 1, 5, 10 % of the mass of the soil. The content of heavy metals in the soil up to 100 or even more than MPC is often found in the areas of enterprises of the metallurgical, chemical and fuel industries. The soil was incubated in vegetative vessels at room temperature (20–22 °C) and optimal moistening (60 % of the field moisture capacity) in triplicate. Biological properties of soil were determined 30 days after contamination.

In this study, the total numbers of bacteria, the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*, the activity of catalase and dehydrogenase, cellulolytic activity, phytotoxic properties of the soil were determined. The total number of bacteria in the soil was taken into account by the method of luminescent microscopy according to Zvyagintsev, Kozhevin, *Azotobacter* by the method of fouling clusters on Ashby medium, cellulolytic ability by the degree of decomposition of cotton cloth, catalase activity by Galstyan's

method, dehydrogenase by Galstyan's method in Haziev's modification, phytotoxicity. Soils were judged by the change in the length of the roots of the radish.

On the basis of the above biological indicators, the integral index of the biological state of the soil was determined. The presented set of indicators gives an informative picture of the biological processes taking place in the soil and its ecological state.

As a result of model studies it has been established that contamination of TM and oil of brown carbonate soil by chromium, copper, nickel, lead and oil leads to a decrease in biological activity. The total number of bacteria decreases, the activity of catalase and dehydrogenase, cellulolytic ability, the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*, the phytotoxic properties of the soil are enhanced.

By the degree of negative influence on the biological properties of the brown carbonate soil, heavy metals form the following series: $Cr > Cu \geq Pb \geq Ni$. Brown carbonate soils have proved to be one of the least resistant soils to contamination with heavy metals.

Keywords: brown soils, pollution, heavy metals, oil, biodiagnostics.

References

1. Alekseenko V. A., Suvorinov A. V., Vlasova E. V. *Metals in the environment. Coastal aquatic landscapes of the Black Sea coast of Russia*. 360 p. (Moscow, 2012).
2. Dyachenko V. V. *Geochemistry, systematics and assessment of the state of landscapes of the North Caucasus*. 268 p. (Rostov-on-Don, 2004).
3. Kasyanenko A. A. *Environmental quality control*, 136 p. (Moscow, 1992).
4. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 4th Edition., 548 p. (Boca Raton, FL: Crc Press, 2011).
5. Kolesnikov S. I., Kazeev K. Sh., Valkov V. F. Influence of pollution by heavy metals on the ecological and biological properties of the chernozem of the common-vein, *Ecology*, **3**, 193 (2000).
6. *Soil Microbiology and Biochemistry Methods*, Zvyagintsev D. G. (Ed.), 304 p. (Moscow, 199).
7. Kaseyev K. Sh., Kolesnikov S. I. *Biodiagnosis of soils: methodology and methods of research*, 260 p. (Rostov-on-Don, 2012).
8. Kolesnikov S. I., Kuzina A. A., Vernigorova N. A., Kazeev K. Sh., Akimenko Yu. V. Influence of pollution by oil and heavy metals on the biological properties of yellow earth, *Agrochemistry*, **11**, 58 (2016).
9. Kolesnikov S. I., Kuzina A. A., Evstegneeva N. A., Kazeev K. Sh. Assessment of the stability of brown forest podzolized soils of the Black Sea coast of the Caucasus to chemical pollution. *News of higher educational institutions. North-Caucasian region. Series: Natural Sciences*. **1**, **189**, 66 (2016).