

УДК 631.46:632.122(292.471)(251)

Изменение биологического состояния дерново-карбонатных почв степного Крыма при химическом загрязнении

*Колесников С. И., Кузина А. А., Богдан Е. О., Казеев К. Ш.,
Акименко Ю. В., Денисова Т. В.*

*Академия биологии и биотехнологий имени Д. И. Иванковского, Южный федеральный университет
Ростов-на-Дону, Россия
kolesnikov@sfedu.ru*

Запуск в эксплуатацию автодорожного Крымского моста, соединяющего между собой материковую часть России и полуостров Крым увеличивает риск загрязнения почв региона тяжелыми металлами. Были проведены лабораторные модельные эксперименты, в результате которых было установлено, что загрязнение дерново-карбонатной почвы степного Крыма нефтью, оксидом свинца (PbO), оксидом хрома (CrO₃), оксидом никеля (NiO) и оксидом меди (CuO) ухудшает ее биологическое состояние. Наблюдается снижение общей численности бактерий, обилия бактерий рода *Azotobacter*, активности каталазы и дегидрогеназы, целлюлозолитической способности, ухудшаются показатели прорастания и начального роста редиса. Отмечена прямая зависимость между содержанием в почве загрязняющего вещества и степенью снижения биологических показателей. Получен ряд экологической опасности тяжелых металлов для дерново-карбонатной почвы: Cr > Pb ≥ Ni ≥ Cu. Высокая токсичность хрома в дерново-карбонатных типичных почвах степного Крыма, вероятней всего, определяется его высокой подвижностью в щелочных и окислительных условиях. Дерново-карбонатные почвы занимают промежуточное положение между более устойчивыми к загрязнению черноземами и темно-каштановыми почвами и более уязвимыми коричневыми и горно-луговыми почвами Крыма. На основании нарушения экологических функций почвы получены ориентировочные значения для разработки региональных нормативов предельно допустимого содержания свинца, хрома, никеля, меди и нефти в дерново-карбонатных почвах Крымского полуострова.

Ключевые слова: дерново-карбонатные почвы, загрязнение, нефть, свинец, хром, медь, никель, биодиагностика.

ВВЕДЕНИЕ

Запуск в эксплуатацию автодорожного Крымского моста, соединяющего между собой материковую часть России и полуостров Крым, – одно из важных событий экономической, политической сферы в 2018 году. В то же время, масштабное строительство автомагистрали Таврида, возрастание транспортного потока на курорты Крымского побережья, а также активное функционирование курортной зоны и увеличение туристических объектов может вызвать усиление загрязнения почв.

На территории Крыма расположены редкие и уникальные для России почвы и экосистемы, требующие особой охраны. При этом пределы их устойчивости к химическому загрязнению не установлены. Ранее было исследовано влияние загрязнения тяжелыми металлами и нефтью на другие почвы Крыма: черноземы южные и остаточнок-карбонатные, темно-каштановые, коричневые типичные, карбонатные, выщелоченные и выщелоченные красноцветные, бурые лесные, горно-луговые почвы (Вернигорова и др., 2015; Kolesnikov et al., 2016).

Цель настоящих исследований – изучить изменение биологического состояния дерново-карбонатных почв Крыма при загрязнении нефтью и тяжелыми металлами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения данного исследования был заложен модельный опыт по загрязнению тяжелыми металлами (ТМ) и нефтью в лабораторных условиях.

Объектом исследования была выбрана дерново-карбонатная почва (Республика Крым, Симферопольский район, с. Трудовое, 45° 0'44.44"N, 34°12'41.18"E). Эти почвы занимают значительные территории Крымского полуострова (Драган, 2004). Для исследований отбирали верхний слой почвы 0–10 см.

Данная почва характеризуется относительно высокой биологической активностью: общая численность бактерий – 4,7 млрд/г почвы, активность каталазы – 7,8 мл O₂/г почвы за 1 мин., активность дегидрогеназы – 13,8 мг ТФФ/10 г почвы за 24 ч, обилие бактерий рода *Azotobacter* – 100 % комочков обрастания.

В ходе исследования отобранную почву загрязняли нефтью и ТМ: оксидами свинца (PbO), хрома (CrO₃), никеля (NiO) и меди (CuO). ТМ вносили в почву в виде оксидов, так как они чаще всего поступают в почву в оксидной форме (Kabata-Pendias, 2010) и для исключения воздействия анионов на исследуемые показатели почв, что наблюдается при использовании солей металлов.

В лабораторном эксперименте моделировали загрязнение почвы следующими концентрациями ТМ – 1, 10, 100 ПДК (100, 1000 и 10000 мг/кг соответственно). Так как ПДК в почве нефти в настоящее время не разработана, поэтому ее содержание в почве выражали в процентах – 1, 5, 10 % от массы почвы.

Почву инкубировали в вегетационных сосудах при комнатной температуре (20–22 °С) и оптимальном увлажнении (60 % от полевой влагоемкости) в трехкратной повторности. Лабораторно-аналитические исследования проводились через 30 дней после загрязнения с использованием методов, общепринятых в биологии, почвоведении и экологии (Казеев, Колесников, 2012). 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. Для объединения большого количества показателей использовали методику определения интегрального показателя биологического состояния (ИПБС) почвы, позволяющую оценить его в целом.

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

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В результате проведенных модельных исследований было установлено, что внесение оксидов ТМ (свинца, хрома, никеля и меди) и нефти вызывает снижение биологических показателей дерново-карбонатной почвы Крыма. Достоверно зафиксировано уменьшение численности бактерий (рис. 1), активности каталазы (рис. 2), дегидрогеназы (рис. 3), угнетение целлюлозолитической способности (рис. 4), снижение обилия бактерий рода *Azotobacter* (рис. 5), ухудшение показателей роста растений (рис. 6), ИПБС (рис. 7). В большинстве случаев наблюдали снижение значений биологических показателей с увеличением количества загрязняющего вещества в почве.

Поскольку ТМ вносили в почву в одинаковой концентрации 100 мг/кг, возможно, их корректное сопоставление по силе токсического воздействия на биологические показатели почвы. Оксид хрома оказал очень значительное негативное воздействие на биологическое состояние почвы. Оксиды других металлов (никеля, меди и свинца) проявили меньшее токсическое воздействие. Ряд экологической опасности ТМ для дерново-карбонатной почвы выглядит следующим образом: Cr > Pb ≥ Ni ≥ Cu. Высокая токсичность хрома в дерново-карбонатных типичных почвах степного Крыма, вероятней всего, определяется его высокой подвижностью в щелочных и окислительных условиях (Zachara et al, 1989). Этот вопрос требует дальнейших специальных исследований.

Ранее были получены схожие закономерности токсического воздействия ТМ и нефти на дерново-карбонатные почвы Черноморского побережья Кавказа (Колесников и др., 2016). Сравнительная оценка показала меньшую устойчивость к загрязнению нефтью и ТМ дерново-карбонатных почв Крыма относительно аналогичных почв Черноморского побережья Кавказа.

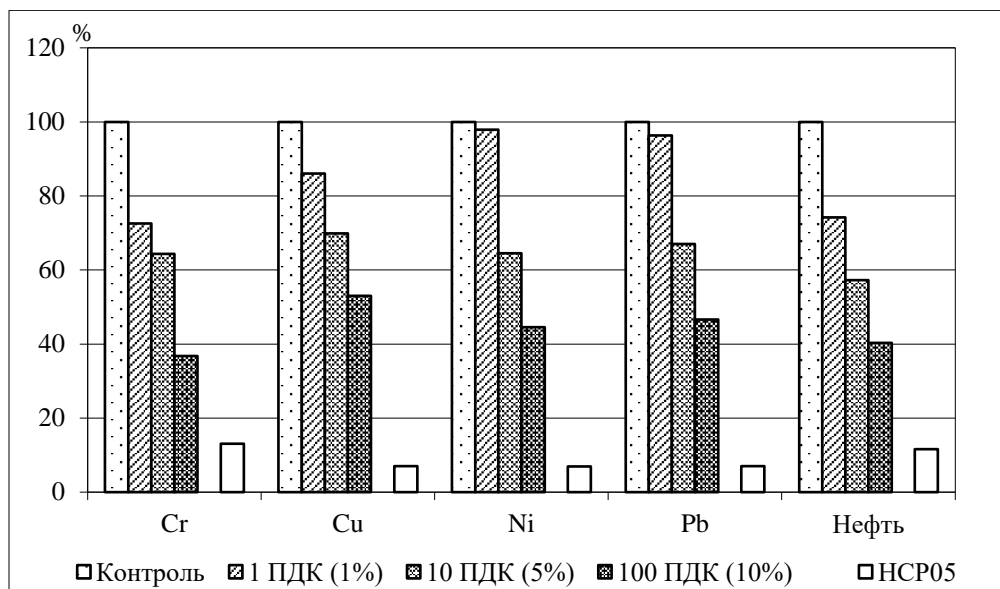


Рис. 1. Влияние химического загрязнения на общую численность бактерий дерново-карбонатной почвы степного Крыма, % от контроля

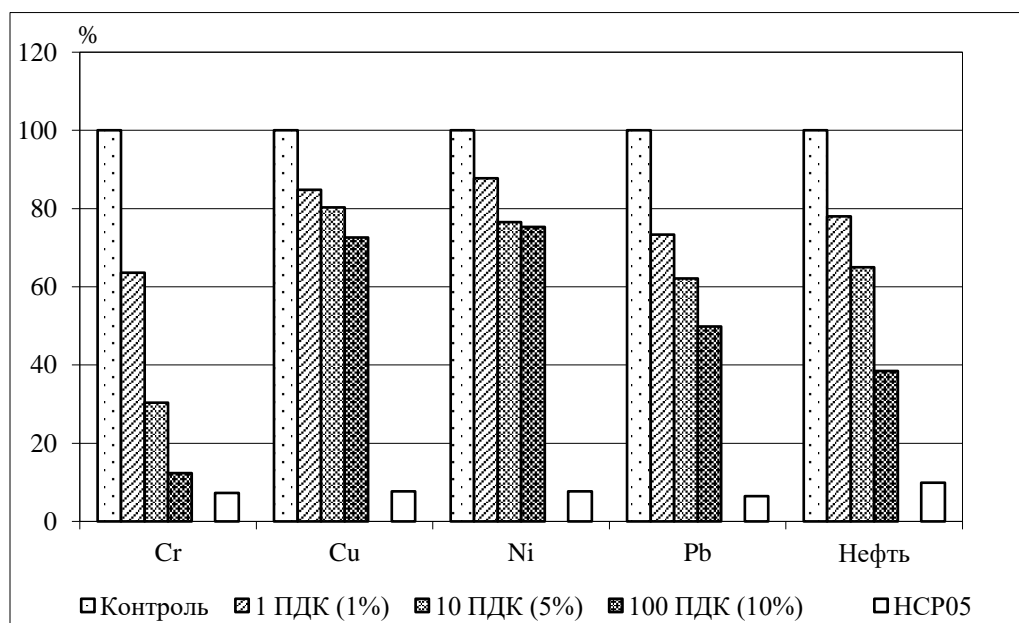


Рис. 2. Влияние химического загрязнения на активность каталазы дерново-карбонатной почвы степного Крыма, % от контроля

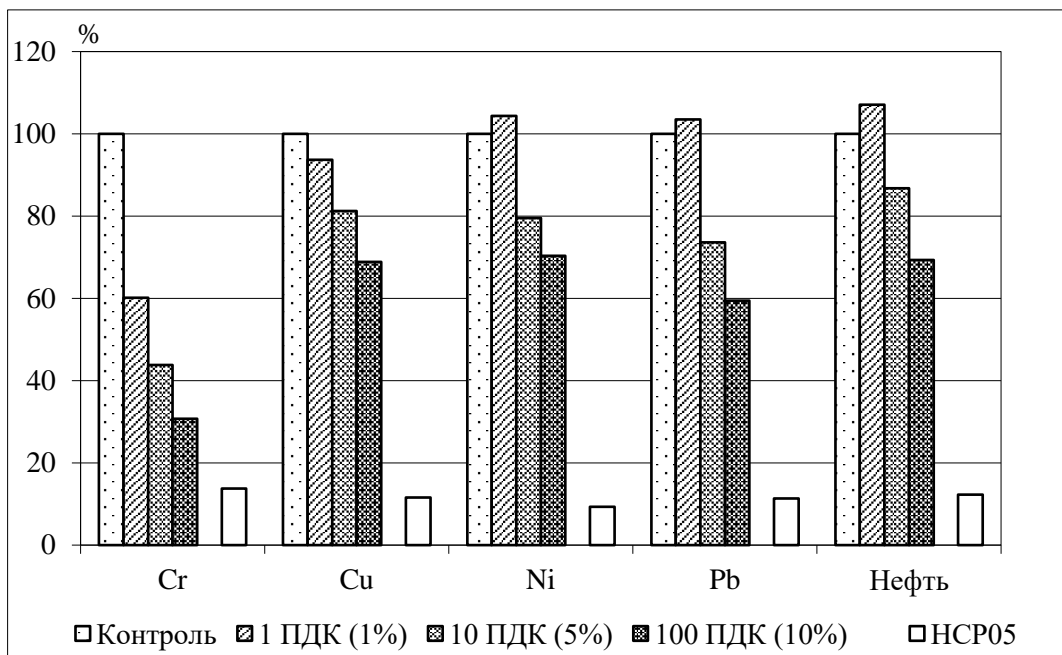


Рис. 3. Влияние химического загрязнения на активность дегидрогеназы дерново-карбонатной почвы степного Крыма, % от контроля

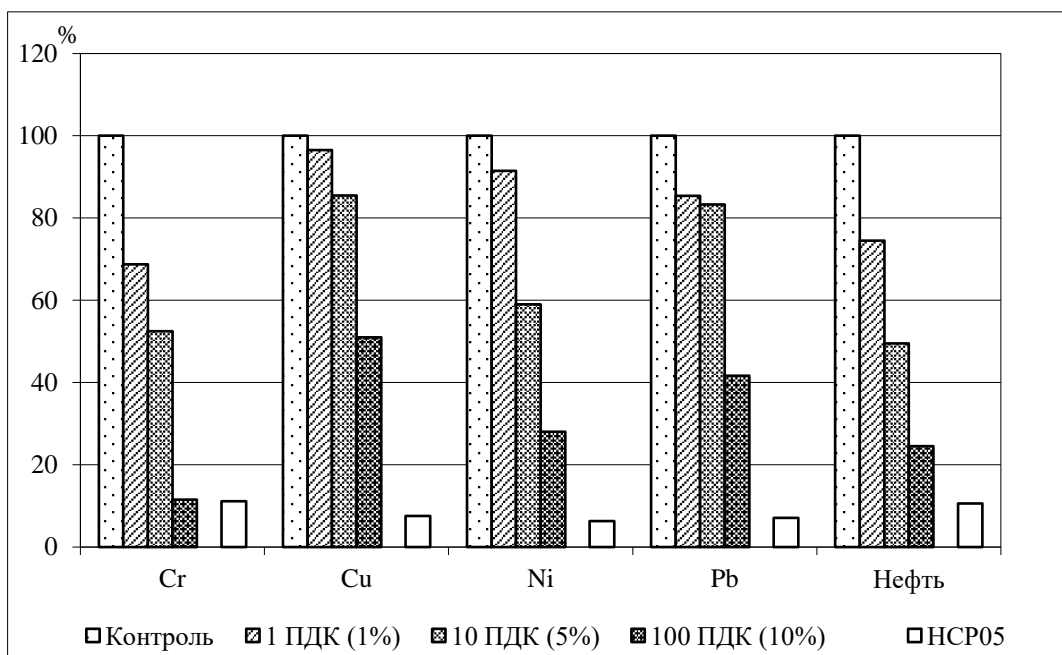


Рис. 4. Влияние химического загрязнения на целлюлозолитическую активность дерново-карбонатной почвы степного Крыма, % от контроля

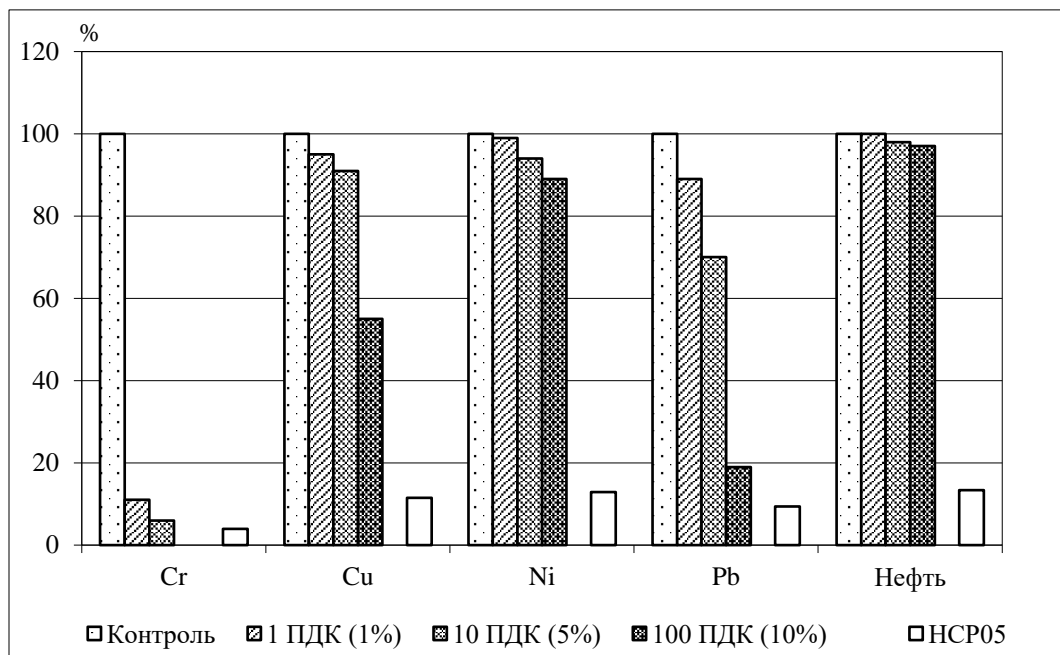


Рис. 5. Влияние химического загрязнения на численность бактерий рода *Azotobacter* в дерново-карбонатной почве степного Крыма, % от контроля

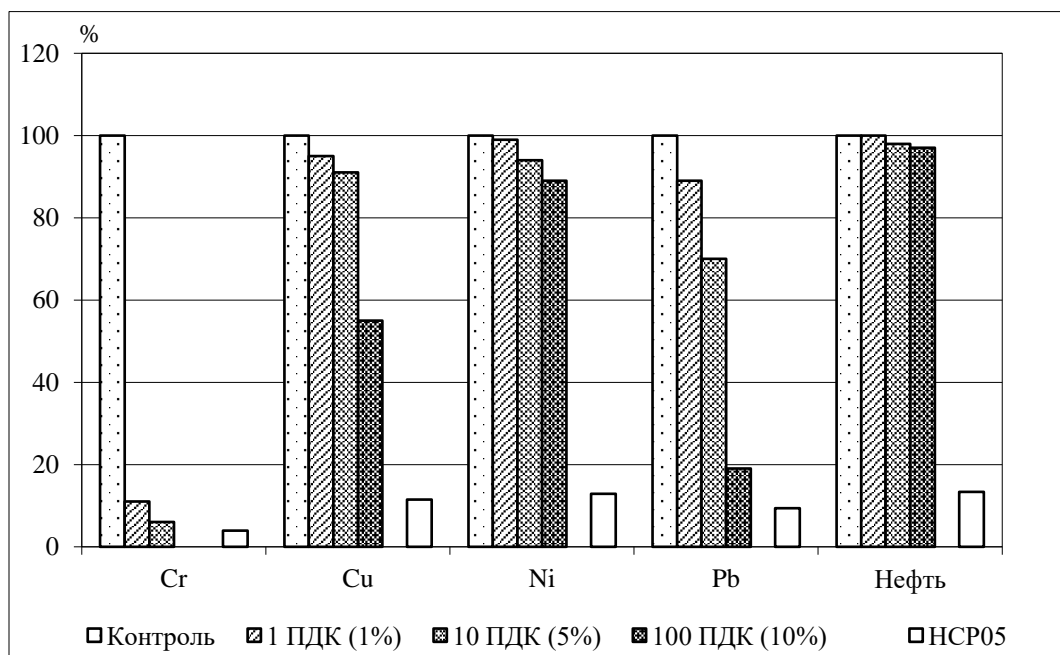


Рис. 6. Влияние химического загрязнения на фитотоксичность дерново-карбонатной почвы степного Крыма, % от контроля

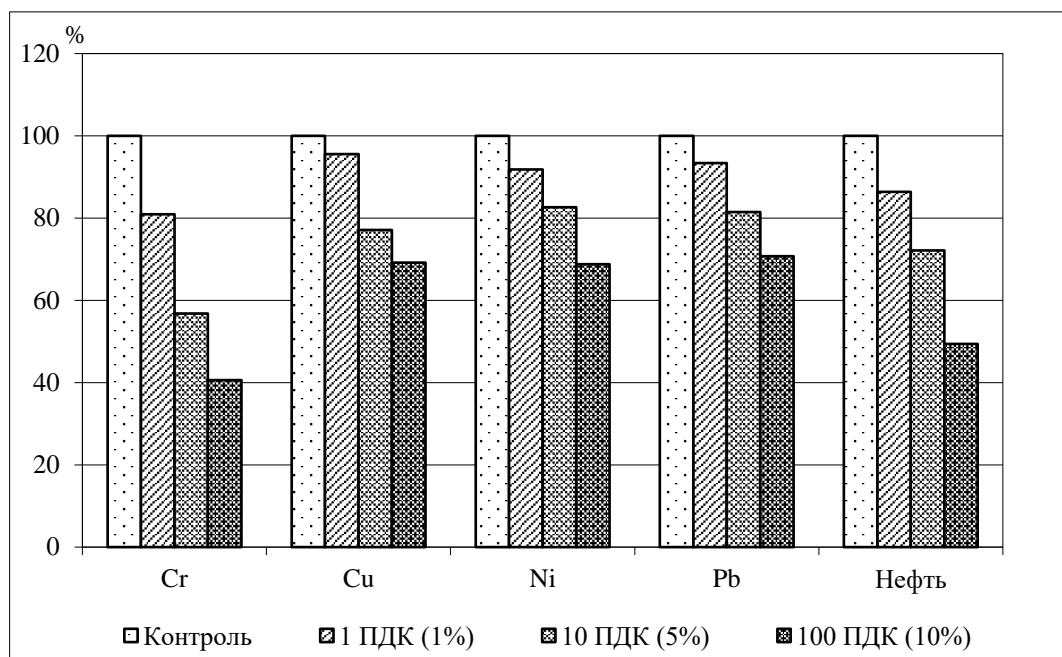


Рис. 7. Влияние химического загрязнения на интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) дерново-карбонатной почвы степного Крыма, % от контроля

Сравнительный анализ устойчивости почв Крымского полуострова к загрязнению нефтью и ТМ по степени ухудшения биологического состояния почвы показал, что дерново-карбонатные почвы занимают промежуточное положение между более устойчивыми к загрязнению черноземами и темно-каштановыми почвами и более уязвимыми коричневыми и горно-луговыми почвами, исследованными ранее (Вернигорова и др., 2015; Kolesnikov et al., 2016).

Ранее (Колесников и др., 2002) было установлено, что снижение ИПБС на 5–10 % приводит к изменению информационных экотипов почв, при снижении на 10–25 % происходят биохимические, химические, физико-химические и целостные нарушения, при снижении на 25 % и более – физические. На основе результатов настоящего исследования были построены уравнения регрессии, отражающие зависимость снижения значений ИПБС от содержания в почве загрязняющего вещества. По этим уравнениям рассчитаны концентрации загрязняющих веществ, при которых происходит нарушение групп экологических функций почвы, и предложена схема регионального экологического нормирования загрязнения дерново-карбонатных почв Крыма (табл. 1).

ВЫВОДЫ

1. Загрязнение дерново-карбонатной почвы степного Крыма нефтью, оксидом свинца (PbO), оксидом хрома (CrO₃), оксидом никеля (NiO) и оксидом меди (CuO) ухудшает ее биологическое состояние. Наблюдается снижение общей численности бактерий, обилия бактерий рода *Azotobacter*, активности каталазы и дегидрогеназы, целлюлозолитической способности, ухудшаются показатели прорастания и начального роста редиса.

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

3. Получен ряд экологической опасности тяжелых металлов для дерново-карбонатной почвы: Cr > Pb ≥ Ni ≥ Cu.

4. Дерново-карбонатные почвы занимают промежуточное положение между более устойчивыми к загрязнению черноземами и темно-каштановыми почвами и более уязвимыми коричневыми и горно-луговыми почвами.

5. Установлены ориентировочные значения предельно допустимого содержания свинца, хрома, никеля, меди и нефти в дерново-карбонатных почвах Крымского полуострова, которые могут быть использованы для разработки региональных экологических нормативов.

Таблица 1

Схема экологического нормирования содержания тяжелых металлов и нефти в дерново-карбонатных почвах Крыма по степени нарушения экологических функций

	Почвы			
	Не загрязненные	Слабо-загрязненные	Средне-загрязненные	Сильно-загрязненные
Степень снижения интегрального показателя *	< 5 %	5–10 %	10–25 %	> 25 %
Нарушаемые экологические функции **	–	Информационные	Химические, физико-химические, биохимические, целостные	Физические
Элемент	Содержание ТМ в почве, мг/кг			
Cr	< 110	110–130	130–145	> 145
Cu	< 60	60–120	120–350	> 350
Ni	< 50	50–100	100–250	> 250
Pb	< 50	50–100	100–250	> 250
Вещество	Содержание нефти в почве, %			
нефть	< 0,50	0,50–1,00	1,0–2,50	> 2,50

Примечание к таблице. * – определение интегрального показателя проводилось по С. И. Колесникову (2000). ** – классификация экологических функций по Г. В. Добровольскому и Е. Д. Никитину (1990).

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

- Вернигорова Н. А., Колесников С. И., Казеев К. Ш. Оценка устойчивости почв и наземных экосистем Крыма к химическому загрязнению. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. – 126 с.
- Добровольский Г. В., Никитин Е. Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). – М.: Наука, 1990. – 261 с.
- Драган Н. А. Почвенные ресурсы Крыма. – Симферополь: Издательство «Доля», 2004. – 208 с.
- Казеев К. Ш., Колесников С. И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. – 260 с.
- Колесников С. И., Казеев К. Ш., Вальков В. Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного // Экология. – 2000. – № 3. – С. 193–201.
- Колесников С. И., Казеев К. Ш., Вальков В. Ф. Экологические функции почв и влияние на них загрязнения тяжелыми металлами // Почвоведение. – 2002. – № 12. – С. 1509–1514.
- Колесников С. И., Кузина А. А., Казеев К. Ш., Акименко Ю. В., Козунь Ю. С., Мясникова М. А., Лубенцова Д. В. Оценка устойчивости дерново-карбонатных типичных почв Черноморского побережья Кавказа к химическому загрязнению // Российская сельскохозяйственная наука (Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук). – 2016. – № 5. – С. 37–40.
- Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2010. – 548 p.
- Kolesnikov S. I., Vernigorova N. A., Kazeev K. Sh., Kapralova O. A., Akimenko Yu. V. Ecological and biological condition of residual carbonate chernozems of Crimea steppes in terms of pollution with heavy metals and oil // 16th

International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2016. Conference Proceedings, June 28 – July 6. – 2016. – Book 5, Vol. 1. – P. 263–270.

Zachara J. M., Ainsworth C. C., Cowan C. E., Resch C. T. Adsorption of chromate by subsurface soil horizons // Soil Science Society of America Journal. – 1989. – Vol. 53. – P. 418–428.

Kolesnikov S. I., Kuzina, A. A., Bogdan, E. O., Kazeev K. S., Akimenko V., Denisova T. V. Change the biological condition of turfy-carbonate soils of the steppe Crimea influenced by chemical pollution // Ekosistemy. 2019. Iss. 17 (47). P. 87–94.

Commissioning of the highway Crimean bridge connecting the continental part of Russia and the Crimean Peninsula increases the risk of contaminating soil of the region with heavy metals. The researchers carried out laboratory model experiments and came to the conclusion that contaminating turfy-carbonate soils of the steppe Crimea with oil, lead oxide (PbO), chromium oxide (CrO₃), nickel oxide (NiO) and copper oxide (CuO) worsens its biological condition. It leads to decreasing of the total number of bacteria, the abundance of bacteria of the genus *Azotobacter*, the activity of catalase and dehydrogenase and cellulolytic ability. Moreover, it results in worsening germination rate and early stage of radish growth. There is a direct correlation between the content of pollutants in the soil and the degree of biological indicators reduction. The authors proposed the order of environmental hazards of heavy metals for turfy-carbonate soils $Cr > Pb \geq Ni \geq Cu$. High toxicity of chromium in typical turfy-carbonate soils of the steppe Crimea is most likely determined by their high mobility in alkaline and oxidative conditions. Turfy-carbonate soils take an intermediate position between more resistant to pollution chernozem and dark chestnut soils and more vulnerable brown and mountain meadow soils of Crimea. The research based on the disturbance of the ecological functions of the soil results in getting estimated values for development of regional standards of maximum permissible content of lead, chromium, nickel, copper and oil in turfy-carbonate soils of the Crimean Peninsula.

Key words: turfy-carbonate soils, pollution, bio-diagnostics, oil, lead, chrome, copper, nickel.

Поступила в редакцию 15.01.19