

4.1.3. АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ,  
ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ  
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 504.064.36:631.445.42:631.8

DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2024\_4\_47

EDN: INIAFJ

**Биомониторинг чернозема выщелоченного в условиях  
длительного применения удобрений и мелиоранта****Ольга Михайловна Кольцова<sup>1✉</sup>, Илья Сергеевич Корчагин<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I,  
Воронеж, Россия<sup>1</sup> olga.koltsova.52@mail.ru✉

**Аннотация.** Рассмотрены влияние различных агрохимикатов на состояние почвенно-биотического комплекса чернозема выщелоченного и возможность использования биомониторинга в оценке и направленности изменений в нем. Биотесты показали высокую чувствительность к применяемым агрохимикатам. Так, всхожесть семян редиса по вариантам опыта составила 64–85%, при этом максимальные значения отмечены на мелиорированном варианте, минимальные – при совместном внесении органоминеральных удобрений, то есть на варианте с наиболее высокой кислотностью. Здесь проявился эффект токсичности, обусловивший снижение всхожести более чем на 20%. Установлено, что на вариантах с самой высокой кислотностью количество бактерий наименьшее: на контроле – 0,76 млн КОЕ/г почвы, при совместном внесении органоминеральных удобрений – 0,86 КОЕ/г почвы. Наиболее близким к целине является вариант применения мелиоранта – 5,8 млн КОЕ/г почвы. Количество грибов, наоборот, резко возрастает с ростом почвенной кислотности, образуя следующий ряд по убыванию: органоминеральные удобрения > контроль без удобрений > контроль органический фон > орг. фон + мелиорант. Выявлены напряженные отношения в условиях системы почва – растение по фосфору, что привело к росту активности фосфатазы с 0,27 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> на 1 г почвы на целине до 0,75 при совместном внесении органоминеральных удобрений. В этих же условиях отмечено снижение активности каталазы – с 14,6 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> за 1 мин на 1 г почвы на целине до 9,8 при совместном внесении удобрений. Наиболее близкими к целине эти показатели были на варианте применения мелиоранта – 0,43 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> и 15,6 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub>, что указывает на сбалансированность почвенных процессов при восстановлении кислотности до оптимальной.

**Ключевые слова:** чернозем выщелоченный, минеральные и органические удобрения, дефекат, кислотность почвы, биомониторинг, биотестирование, активность микробоценоза, ферментативная активность

**Для цитирования:** Кольцова О.М., Корчагин И.С. Биомониторинг чернозема выщелоченного в условиях длительного применения удобрений и мелиоранта // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17, № 4(83). С. 47–54. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2024\\_4\\_47-54](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_47-54).

4.1.3. AGRICULTURAL CHEMISTRY, AGRONOMIC SOIL SCIENCE,  
PROTECTION AND QUARANTINE OF PLANTS  
(AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

**Biomonitoring of leached chernozem under conditions  
of long-term application of fertilizers and ameliorant****Olga M. Koltsova<sup>1✉</sup>, Ilya S. Korchagin<sup>2</sup>**<sup>1,2</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia<sup>1</sup> olga.koltsova.52@mail.ru✉

**Abstract.** The influence of various agrochemicals on the state of soil-biotic complex of leached chernozem and the possibility of using biomonitoring in assessing and directing changes in it are considered. Biotests have shown high sensitivity to the agrochemicals used. Thus, the germination rate of radish seeds according to the experimental variants was 64–85%, while the maximum values were noted in the ameliorated variant, the minimum values were noted in the variant of combined application of organic fertilizers, that is, in the variant with the highest acidity. Here, the effect of toxicity was manifested, which led to a decrease in germination by more than 20%. It was revealed that the variants with the highest acidity had the lowest number of bacteria: on the control it was 0.76 million CFU/g of soil, and in the variant of combined application of organic fertilizers it was 0.86 CFU/g of soil. The closest to virgin land was the variant with ameliorant application, i.e. 5.8 million CFU/g of soil. On the contrary, the number of fungi increases sharply with increasing soil acidity, forming the following

descending row: organomineral fertilizers > control without fertilizers > control organic background > organic background + ameliorant. Strained relations in the conditions of soil – plant phosphorus system were revealed, which led to an increase in phosphatase activity: from 0.27 mg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per 1 g in virgin soil to 0.75 mg of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per 1 g at combined application of organo-mineral fertilizers. Under the same conditions, a decrease in catalase activity was noted from 14.6 cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub> per 1 min per 1 g in virgin soil to 9.8 at combined fertilization. Phosphatase activity and catalase activity were the closest to indicators of virgin soil in the ameliorated variant: 0.43 mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per 1 g and 15.6 cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub> per 1 min per 1 g, which indicates the balance of soil processes and restoring optimal acidity.

**Keywords:** leached chernozem, mineral and organic fertilizers, defecate, soil acidity, biomonitoring, biotesting, microocenosis activity, fermentation activity

**For citation:** Koltsova O.M., Korchagin I.S. Biomonitoring of leached chernozem under conditions of long-term application of fertilizers and ameliorant. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2024;17(4):47-54. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2024\\_4\\_47-54](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2024_4_47-54).

**В**ведение  
Для реализации оценки воздействия деятельности человека на окружающую среду была разработана целая система мероприятий, которая получила название мониторинг окружающей среды [8]. Именно мониторинг помогает оценить степень воздействия любого антропогенного воздействия, в том числе и сельскохозяйственного, на окружающую среду в пространстве и времени. Иными словами, значение мониторинга заключается не в получении сиюминутных данных, а в анализе многолетнего опыта изучения таких воздействий. Особенно это важно для сельскохозяйственного производства, где негативные последствия имеют высокую скорость распространения и, наоборот, низкие темпы их устранения [12].

Биомониторинг – это постоянный контроль за состоянием экосистем по биологическим параметрам согласно заранее разработанной и четко осуществляемой программе полевых и лабораторных исследований. Биомониторинг является составной частью экологического мониторинга. Он позволяет оценить качество окружающей среды и степень ее загрязнения и проводится с целью исследования состояния воздушной, почвенной и водной сред с помощью живых организмов [3]. Часто как синонимы используются понятия биотестирование или биоиндикация. Основное преимущество биомониторинга – оценка качества окружающей среды и степени ее загрязнения по состоянию биоты на разных уровнях организации живой материи (от биомолекул и клеток, включая органоиды, до группировок организмов) [1].

Биомониторинг позволяет решить одну из важнейших проблем в области биологии, почв – распад сложных органических веществ в природных условиях и возврат минеральных элементов питания растений в глобальные круговороты, что делает их практически «неиссякаемыми» [13].

Большинство методов биомониторинга относится к пассивной биоиндикации и позволяет визуально определить комплексную реакцию живой природы в ответ на длительное воздействие различных антропогенных факторов и при достаточно длительном наблюдении сделать прогноз о дальнейшем направлении изменений в экосистеме. В частности, к таким методам относится определение микробиологической и ферментативной активности почвы. Биотестирование, или использование в лабораторных условиях тест-объектов, является активным биомониторингом [1].

### Материалы и методы

Исследования по агроэкологической оценке состояния чернозема выщелоченного проводились в условиях длительного стационарного опыта отдела химизации УНТЦ «Агротехнология», заложенного в 1987 г. Их целью является изучение влияния длительного применения минеральных и органических удобрений, а также мелиоранта на плодородие и урожайность сельскохозяйственных культур. Опыт входит в состав стационарных опытов Географической сети РФ.

До закладки опыта агроэкологическая оценка чернозема выщелоченного показала, что его почвенно-поглощающий комплекс недонасыщен кальцием. Обменная кислотность по рН<sub>KCl</sub> относится к группе среднекислых и составляет 5,14–5,52 при высо-

кой гидролитической кислотности – порядка 6–7 мг-экв/100 г почвы и, как следствие, низкой для черноземов степени насыщенности основаниями – 80–85% [5]. Эти данные выявили необходимость проведения химической мелиорации чернозема выщелоченного кальцийсодержащими веществами.

Для изучения были выбраны следующие варианты:

- контроль без удобрений;
- контроль органический фон – 40 т/га навоза один раз в ротацию севооборота в черный пар;
- органический фон + оптимальное количество минеральных удобрений, что для озимой пшеницы составляет по 60 кг д. в. на 1 га (фосфор и калий вносятся осенью, а азот дробно в виде подкормок два раза за вегетацию, как правило, рано весной и в межфазный период «выход в трубку – начало колошения»);
- органический фон + дефекация в дозе, рассчитанной по величине гидролитической кислотности и равной ее полуторной величине.

В опытах в качестве мелиоранта применяли дефекацию (отход свеклосахарного производства), который содержит кальций в форме  $\text{CaCO}_3$  в количестве около 50%.

Закладка опыта, отбор образцов и аналитические работы проводились по общепринятым методикам.

### **Результаты и их обсуждение**

Микроорганизмы – очень чувствительные индикаторы, резко реагирующие на различные изменения в среде. Так как почва характеризуется определенным составом и численностью разных групп микробиоты (бактерии, водоросли, грибы), то показателями биологической активности почв, применяемых в биоиндикации, могут служить количественные характеристики численности и биомассы разных групп почвенной микробиоты, их общая продуктивность, некоторые данные их энергетики, активность основных процессов, связанных с круговоротом элементов, ферментативная активность почв, а также количество и скорость накопления некоторых продуктов жизнедеятельности почвообитающей микробиоты.

#### *Микробиологическая диагностика в биомониторинге агроэкосистем*

Уже стало аксиомой, что на любые биогенные процессы в почве существенное влияние оказывают ее физико-химические свойства. В агроэкосистеме эти свойства формируются в процессе деятельности человека по применению различных агроприемов. Как отмечалось выше, в изучаемых черноземах выщелоченных на фоне длительного применения агрохимикатов выявлено резкое подкисление почвенного раствора. В таких условиях неизбежно происходит перестройка всего почвенно-биотического комплекса и в первую очередь микробиоценоза.

После проведения агротехнических работ по внесению удобрений и мелиоранта согласно схеме опыта произошли значительные изменения этих показателей и прежде всего кислотного режима изучаемого чернозема выщелоченного. Были выявлены закономерности изменения указанного параметра в разные по влажности годы. Обменная кислотность по вариантам опыта колебалась в интервале 5,2–6,3, максимальные значения отмечены на вариантах внесения одного навоза и дефеката по орг. фону – 6,0–6,3, минимальное – на варианте применения органоминеральных удобрений – 5,2.

В кислых условиях отмечено преобладающее развитие такой группы микроорганизмов, как грибы, за счет создания огромного разветвленного мицелия в почве. Причем грибы быстрее распространяются в верхних слоях, обладают высокоактивным ферментным аппаратом и способностью быстро окислять и разлагать углеводы, жиры и белки [6].

В исследованиях агроэкологического состояния чернозема выщелоченного провели определение численности бактерий рода *Bacillus* и грибов рода *Micromycetes* (плесень, мучнистая роса, ржавчина и др.). Аналитические работы выполнялись в лаборатории биотехнологии переработки сельскохозяйственной продукции Центра биотехнологических исследований ВГАУ. Данные по изменению изучаемых групп микроорганизмов в целом за период вегетации приводятся в таблице 1.

Таблица 1. Изменение состава микробоценоза по вариантам опыта, среднее за 2022–2024 гг., слой 0–20 см

Варианты	Численность бактерий рода <i>Bacillus</i> , млн на 1 г почвы	Общая численность грибов рода <i>Micromycetes</i> , млн КОЕ/г почвы
Целина	7,30	1,1
Контроль без удобрений	0,76	5,8
Органический фон	2,60	3,2
Орг. фон + NPK	0,86	6,3
Орг. фон + фекал	5,80	1,8
НСР <sub>0,95</sub>	0,7	0,6

Анализ данных, представленных в таблице 1, подтверждает, что характер распределения микроорганизмов по группам и по вариантам опыта прежде всего обусловлен кислотностью почв. Наибольшее количество бактерий отмечено на варианте целины, а наименьшее – на варианте совместного внесения органоминеральных удобрений. По вариантам опыта выявлена значительная перестройка в соотношении групп микробоценоза. Хотя приоритет остается за бактериями, но на вариантах с самой высокой кислотностью их количество наименьшее: контроль без удобрений – 0,76 млн на 1 г почвы, на варианте совместного внесения органоминеральных удобрений – 0,86 млн на 1 г почвы. Наиболее близкое к целине значение численности бактерий отмечено на варианте внесения мелиоранта – 5,8 млн. Количество грибов резко возрастает с ростом почвенной кислотности, образуя следующий ряд по убыванию: органоминеральные удобрения > контроль без удобрений > контроль органический фон > орг. фон + мелиорант. Эта закономерность полностью отражает и изменение кислотности почвенного раствора по вариантам опыта.

*Метод ферментативных реакций в биоиндикации состояния чернозема выщелоченного*

Как известно, своеобразным интегрированным показателем биологической активности почвы является активность наиболее распространенных ферментов. Ферменты – это продукты жизнедеятельности всех живых систем, которые они выделяют для разложения потребляемых органических веществ до более простых мономеров, а из них строят собственное органическое вещество. Кроме того, ферменты поступают в почву в результате жизнедеятельности организмов с целью расщепления (минерализации) органического вещества почвы до простых минеральных соединений с последующим их потреблением [2]. В агроэкосистемах этот процесс идет наиболее интенсивно в условиях нехватки минеральных элементов питания сельскохозяйственных культур для формирования урожая и общей биомассы.

Нами определялась активность двух почвенных ферментов: фосфатазы, отвечающей за минерализацию фосфорорганических соединений, и каталазы, принимающей участие в окислительно-восстановительных реакциях разложения ядовитой перекиси водорода до кислорода и воды.

Необходимо отметить, что, осуществляя функциональные связи между основными составляющими экосистемы – почвой и населяющими ее живыми организмами через механизмы вещественно-энергетического обмена, ферменты способствуют поддержанию целостности и устойчивости системы [11].

Данные об изменении активности фосфатазы и каталазы в пахотном слое почв по вариантам опыта приведены в таблице 2.

Таблица 2. Активность фосфатазы и каталазы, среднее за 2022–2024 гг.

Варианты	Фосфатаза, мг P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> на 1 г почвы	Каталаза, см <sup>3</sup> O <sub>2</sub> за 1 мин на 1 г почвы
Целина	0,27	14,6
Контроль без удобрений	0,84	9,3
Органический фон	0,62	12,5
Орг. фон + NPK	0,75	9,8
Орг. фон + дефекат	0,43	15,6
НСР <sub>0,95</sub>	0,10	1,3

Анализ данных таблицы 2 показывает, что на всех вариантах опыта активность фосфатазы повышается, что указывает на высокую потребность в минеральном фосфоре для растений и нехватку его в почвенном комплексе, что связано как с его высоким потреблением, так и переходом минеральных форм в органофосфаты. Это наблюдается даже на варианте внесения минеральных фосфатов с удобрениями, то есть неблагоприятная почвенная среда препятствует их усвоению растениями. Более благоприятные условия складываются на мелиорированном варианте, наиболее близком к естественной экосистеме целины. Это указывает на менее напряженные отношения в условиях системы почва – растение по данному элементу.

При неблагоприятных условиях почвенно-биотического комплекса минеральный фосфор закрепляется в виде органофосфатов, которые можно расщепить за счет выделения соответственно фосфатазы. Поэтому чем выше потребность растений в этом элементе, тем больше фосфатазы они будут синтезировать и выделять посредством корневых систем [2]. Снижение активности фосфатазы показывает на хорошую сбалансированность минерального и органического фосфора в почве и его хорошую доступность для растений.

Но для такого фермента, как каталаза, понижение активности является отрицательным результатом, так как это свидетельствует о резком торможении процесса разложения перекиси водорода, выделяемой растениями и другими организмами в почву, что создает условия токсикоза, ухудшая рост и развитие растений, а в агроэкосистеме – снижая продуктивность сельскохозяйственных культур.

Как следует из данных таблицы 2, наибольшая активность каталазы отмечена на мелиорированном варианте, где этот показатель даже выше, чем в естественной экосистеме целины. Здесь напряженность и направленность процессов формирования наиболее благоприятных почвенных условий максимальна. На остальных вариантах агроэкосистемы условия резко меняются, и вновь это связано с кислотностью почвенно-биотического комплекса чернозема выщелоченного, ведь оптимум среды для каталазы – это близкая и даже нейтральная реакция среды [9, 10]. Именно такие условия выявлены в почве целинного участка, а в опыте они достигнуты на мелиорированном варианте, где активность каталазы самая высокая – 15,6 см<sup>3</sup> O<sub>2</sub> за 1 мин на 1 г почвы. Коэффициенты корреляции активности фосфатазы и каталазы с содержанием кальция, т.е. с кислотностью почвы, составили 0,88 и 0,99, связь тесная [4].

*Агроэкологическая оценка состояния чернозема выщелоченного на основе определения токсичности методом биотестирования*

Содержание и накопление тяжелых металлов и радионуклидов в почве в результате воздействия тех или иных агроприемов можно выявлять как прямыми методами аналитических определений, так и по косвенным показателям на основе биологических тест-объектов. В процессе агроэкологической оценки почвенно-биотического комплекса была установлена возможность выявления степени токсичности почвенного раствора по пока-

зателям состояния тест-объектов. В этом случае использовали два показателя: всхожесть семян и величину отросшего корня. Токсичной считается величина 20% и более [7]. В качестве тест-объектов использовали семена редиса и кресс-салата. Для анализа отбирали семена одинаковые по размеру, цвету и целостности оболочки в количестве 25 шт. Семена раскладывали равномерно на смоченную почву в чашках Петри и инкубировали в термостате трое суток при температуре 26°. После окончания срока инкубации подсчитывали количество взошедших семян и измеряли отросшие корни, рассчитывали всхожесть в процентах к общему количеству и сравнивали с эталоном. В соответствии со схемой опыта специальных исследований по определению влияния средств защиты растений на урожайность сельскохозяйственных культур не проводили, использовалась принятая для возделывания культур севооборота система применения средств защиты растений. Но, как известно, все они содержат тяжелые металлы и другие токсичные компоненты.

В таблице 3 приведены результаты определения токсичности чернозема выщелоченного в отношении остаточных количеств пестицидов, в качестве тест-объекта были выбраны семена редиса.

**Таблица 3. Токсичность чернозема выщелоченного в отношении остаточных количеств пестицидов (пахотный горизонт, тест-объект – редис)**

Варианты опыта	Длина корня, мм			Всхожесть	
	общая	средняя на 1 семя	% к контролю	количество, шт.	% к общему количеству
Контроль без удобрений	184	9	100	20	80
Орг. фон	325	17	176	20	80
Орг. фон + NPK	296	18	161	16	64
Орг. фон + дефека	384	28	208	21	85

Данные таблицы 3 показывают, что всхожесть семян редиса по вариантам опыта составила 64–85%. Наибольшей она была на мелиорированном варианте, а наименьшей – при совместном внесении органоминеральных удобрений, т.е. на варианте наиболее высокой кислотности. Здесь проявился эффект токсичности, обусловивший снижение всхожести более чем на 20%. На отрастание корня редиса ни один из вариантов не оказал токсичного воздействия, выявлено различное стимулирующее влияние, максимальной эта величина была на мелиорированном варианте – 384 мм.

Аналогичные данные были получены при определении токсичности чернозема выщелоченного в отношении остаточных количеств тяжелых металлов, в качестве тест-объекта были выбраны семена кресс-салата (табл. 4).

**Таблица 4. Токсичность чернозема выщелоченного в отношении остаточных количеств тяжелых металлов (пахотный горизонт, тест-объект – кресс-салат)**

Варианты опыта	Длина корня, мм			Всхожесть	
	общая	средняя на 1 семя	% к контролю	количество, шт.	% к общему количеству
Контроль без удобрений	292	15	100	20	85
Орг. фон	372	15	127	25	100
Орг. фон + NPK	335	14	115	24	95
Орг. фон + дефека	680	27	233	25	100

Как видно из данных таблицы 4, на всхожесть семян кресс-салата ни на одном из вариантов не выявлено токсического воздействия. Значения этого показателя изменялись в интервале от 85% (контроль) до 100% (орг. фон и мелиорированный вариант). Минимальное значение всхожести было на контроле, однако ее снижение не превышало 20%. По отрастанию корня ситуация была аналогичной опыту с редисом. Отмечено различное стимулирующее действие агрохимикатов, при этом значительно выделялся мелиориро-

ванный вариант: общая длина корней составила 680 мм, превысив показатель контроля в 2,3 раза, что также достоверно свидетельствует о влиянии кислотности, так как наименьшее отрастание было отмечено на варианте совместного внесения удобрений.

По величине отрастания корня обеих тест-культур установлено, что стимулирующий эффект комплексного применения органоминеральных удобрений оказался ниже, чем эффект применения только навоза, что можно объяснить высокой чувствительностью культур к кислотности почвенного раствора.

Таким образом, метод диагностики состояния чернозема выщелоченного при применении различных агрохимикатов по тест-объектам является высокоинформативным и может быть широко использован в экологических исследованиях по влиянию тяжелых металлов и остаточных количеств пестицидов на почвенно-биотический комплекс чернозема выщелоченного с недонасыщенным кальцием почвенно-поглощающим комплексом.

### **Заключение**

Широкое внедрение интенсивных технологий в сельскохозяйственное производство вызвало перестройку экологической обстановки, что, в свою очередь, отразилось и на биологической активности самой почвы, которая определяется содержанием в ней органического вещества, ходом микробиологических и ферментативных процессов.

Полученные результаты биомониторинга на основе как активного подхода (биотестирование), так и пассивных методов (активность микробоценоза и почвенных ферментов) показали их высокую эффективность. Исследованиями установлено, что состав микробоценоза является прекрасным диагностическим показателем состояния почвенно-поглощающего комплекса чернозема выщелоченного, так как происходит перераспределение групп микроорганизмов в результате подкисления почвенного раствора. На контрольном варианте и варианте применения органоминеральных удобрений, где отмечены самые высокие показатели кислотности, количество бактерий снижается, а грибов возрастает.

Выявлены высокие индикаторные свойства реакции почвенных ферментов на различные агроприемы. При этом активность фосфатазы показывает несбалансированность питания растений по фосфору даже на варианте применения фосфорных минеральных удобрений, а по каталазе – снижение окислительно-восстановительного потенциала при подкислении почвенного раствора.

Метод диагностики состояния чернозема выщелоченного при применении различных агрохимикатов по тест-объектам является высокоинформативным и может быть широко использован в экологических исследованиях по определению влияния тяжелых металлов и остаточных количеств пестицидов на почвенно-биотический комплекс почвы и, следовательно, качество получаемого урожая сельскохозяйственных культур.

Таким образом, все изученные методы биоиндикации состояния почвенно-биотического комплекса чернозема выщелоченного показали высокую эффективность и могут быть рекомендованы для использования в экологическом аудите состояния почвы в результате длительного применения различных агрохимикатов.

---

### **Список источников**

1. Белюченко И.С., Федоненко Е.В., Смагин А.В. Биомониторинг состояния окружающей среды: учебное пособие. Краснодар: КубГАУ, 2014. 153 с.
2. Диксон М., Уэбб Э. Ферменты: в 3 т.; пер. с англ. Москва: Мир, 1982. Т. 1. 392 с.
3. Евстифеева Т.А., Фабарисова Л.Г. Биологический мониторинг: учебное пособие. Оренбург: ОГУ, 2012. 119 с.
4. Кольцова О.М., Коровина А.Г. Диагностика биоресурсного потенциала чернозема выщелоченного лесостепи методом ферментативных реакций // Современные проблемы сохранения плодородия черноземов: материалы международной научно-практической конференции, посвященной 170-летию В.В. Докучаева (Воронеж, 21–22 апреля 2016 г.). Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2016. С. 253–263.
5. Кольцова О.М., Стекольников К.Е. Экологическая оптимизация использования черноземов Воронежской области // Экология Центрально-Черноземной области Российской Федерации. 1998. № 1. С. 6–9.
6. Лавренчук Л.С., Ермошин А.А. Микробиология: практикум. Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2019. 107 с.

7. Минеев В.Г., Ремпе Е.Х., Воронина Л.П. Биотест для определения экологических последствий применения химических средств защиты растений // Доклады Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук им. В.И. Ленина (ВАСХНИЛ). 1991. № 7. С. 16–20.
8. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв: учебник. Москва: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. 237 с.
9. Наими О.И. Активность каталазы в черноземе обыкновенном и влияние на нее антропогенных факторов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2017. Т. 11-1. С. 12–15. DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10142.
10. Пейве Я.В. Биохимия почв. Москва: Сельхозгиз, 1961. 422 с.
11. Романов В.Н., Заушинцева А.В., Кожевников Н.В. Применение показателей активности ферментов для оперативной диагностики экологического состояния агрогенных почв // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33, № 7. С. 44–47. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10711.
12. Серов Г.П. Экологический аудит и экоаудиторская деятельность. Научно-практическое руководство. Москва: Дело, 2008. 408 с.
13. Тейт Р. III. Органическое вещество почвы. Биологические и экологические аспекты. 2-е изд.; пер. с англ. Москва: Мир, 1991. 398 с.

#### References

1. Belyuchenko I.S., Fedonenko E.V., Smagin A.V. Biomonitoring of the state of the environment: textbook. Krasnodar: Kuban State Agrarian University Publishers; 2014. 153 p. (In Russ.).
2. Dixon M., Webb E. Enzymes: in 3 volumes; translated from English. Moscow: Mir Press; 1982. Vol. 1. 392 p. (In Russ.).
3. Evstifeeva T.A., Fabarisova L.G. Biological monitoring: textbook. Orenburg: Orenburg State University Publishers; 2012. 119 p. (In Russ.).
4. Koltsova O.M., Korovina A.G. Diagnostics of the bioresource potential of leached forest-steppe chernozem by method of enzymatic reactions. In: Modern problems of preserving the fertility of chernozems: Proceedings of the International Research-to-Practice Conference dedicated to the 170<sup>th</sup> anniversary of V. Dokuchaev (Voronezh, April 21-22, 2016). Voronezh: Voronezh State Agrarian University Publishers; 2016:253-263. (In Russ.).
5. Koltsova O.M., Stekolnikov K.E. Ecological optimization of the utilisation of chernozem soils of Voronezh Oblast. *Ecology of the Central Chernozem Region of the Russian Federation*. 1998;1:6-9. (In Russ.).
6. Lavrenchuk L.S., Ermoshin A.A. Microbiology: practicum. Ekaterinburg: Ural University Publishers; 2019. 107 p. (In Russ.).
7. Mineev V.G., Rempe E.H., Voronina L.P. Biotest for determining the environmental consequences of the use of chemical plant protection products. *Doklady VASHNIL*. 1991;7:16-20. (In Russ.).
8. Motuzova G.V., Bezuglova O.S. Ecological monitoring of soils: textbook. Moscow: Academic Project; Gaudeamus Publishers; 2007. 237 p. (In Russ.).
9. Naimi O.I. The catalase activity of the ordinary chernozem and effect of the anthropogenic factors on its level. *International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2017;11-1:12-15. DOI: 10.24411/2500-1000-2018-10142. (In Russ.).
10. Peyve Ya.V. Biochemistry of soils. Moscow: Selkhozgiz Publishers; 1961. 422 p. (In Russ.).
11. Romanov V.N., Zaushintsena A.V., Kozhevnikov N.V. Application of enzyme activity indicators for rapid diagnostics of the ecological status of agrogenic soils. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2019;33(7):44-47. DOI: 10.24411/0235-2451-2019-10711. (In Russ.).
12. Serov G.P. Environmental audit and environmental audit activity. Research and Practice guide. Moscow: Delo Publishers; 2008. 408 p. (In Russ.).
13. Tate R.L. III. Soil organic matter. Biological and ecological effects. 2<sup>nd</sup> edition; translated from English. Moscow: Mir Publishers, 1991. 398 p. (In Russ.).

#### Информация об авторах

О.М. Кольцова – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Петра I», olga.koltsova.52@mail.ru.

И.С. Корчагин – аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и агроэкологии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Петра I», ilya\_korchagin\_karchnoy@mail.ru.

#### Information about the authors

O.M. Koltsova, Candidate of Agricultural Sciences, Docent, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, olga.koltsova.52@mail.ru.

I.S. Korchagin, Postgraduate Student, the Dept. of Agrochemistry, Soil Science and Agroecology, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, ilya\_korchagin\_karchnoy@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 20.10.2024; одобрена после рецензирования 28.11.2024; принята к публикации 10.12.2024.

The article was submitted 20.10.2024; approved after reviewing 28.11.2024; accepted for publication 10.12.2024.

© Кольцова О.М., Корчагин И.С., 2024