

УДК 631.46

DOI: 10.18522/2308-9709-2024-50-3

## **Применение активности дегидрогеназ в диагностике здоровья почв Юга России в условиях антропогенного воздействия**

Даденко Е.В., Тищенко С.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И.

*Южный федеральный университет, Ростов-на-Дону, Россия*

### *Аннотация*

Проведен анализ многолетних исследований, посвященных рассмотрению влияния различных антропогенных факторов на биологическую активность основных типов почв Юга России. Основное внимание уделено обзору применимости такого параметра как активность дегидрогеназ в качестве биоиндикатора экологического состояния почв. Дегидрогеназы широко используются для оценки состояния почв и демонстрируют различную чувствительность и информативность на широкий спектр воздействий. Были проанализированы следующие виды антропогенных воздействий: сельскохозяйственное использование, загрязнение нефтью и нефтепродуктами, загрязнение тяжелыми металлами, загрязнение антибиотиками, переувлажнение и оглеение, воздействие разных видов электромагнитных излучений, пожары и вырубки. Предложена методика, основанная на учете чувствительности и однозначности реакции показателя на воздействие. Чувствительность оценивалась в баллах, которые присваивались на основе изменения активности фермента при разных уровнях воздействия (минимальные, средние и высокие дозы факторов) по сравнению с контролем или фоном. Выявлено, что большинство видов антропогенного воздействия из рассмотренных снижают активность дегидрогеназ. Интенсивность снижения зависит от характера и степени воздействия, типа почв, а также условий окружающей среды. Выявлено увеличение активности дегидрогеназных систем почвы под воздействием повышенного увлажнения. Показатель однозначно рекомендован для диагностики деградационных процессов в почве и мониторинга антропогенных воздействий. Составлен ряд воздействий на почвы Юга России по убыванию применимости показателя активности дегидрогеназ для оценки их последствий: загрязнение антибиотиками  $\geq$

пожары > загрязнение хромом и медью > сельскохозяйственное использование (распашка) > загрязнение мазутом и бензином  $\geq$  гамма-излучение > рубка леса  $\geq$  загрязнение нефтью  $\geq$  переувлажнение > загрязнение соляной кислотой  $\geq$  загрязнение никелем и хромом  $\geq$  воздействие магнитных полей > СВЧ излучение.

*Ключевые слова:* дегидрогеназы, антропогенное воздействие, здоровье почв, распашка, вырубки, пожары, тяжелые металлы, антибиотики, нефть и нефтепродукты, переувлажнение, электромагнитное загрязнение.

## **Введение**

Здоровье почвы, определяемое ее биологической, химической и физической целостностью, является ключевым аспектом обеспечения выполнения своей функциональной роли, а также фактором устойчивого развития наземных экосистем (Killham, Staddon, 2002; Doran, 2002). Однако, интенсивное сельское хозяйство, рубка лесов, загрязнение различной природы, урбанизация и другие воздействия человека все чаще становятся причиной деградации и ухудшения функционирования почв. Деградация, вызванная как природными, так и антропогенными факторами, представляет серьезную проблему и приводит к снижению способности почвы выполнять ключевые экосистемные функции, такие как обеспечение плодородия, поддержание биоразнообразия, регулирование водного и углеродного баланса и др. В условиях возрастающего антропогенного воздействия разработка надежных и чувствительных методов для своевременного выявления негативных изменений и оценки состояния почв становится все более актуальной задачей. Среди различных показателей, характеризующих здоровье почв, особое внимание уделяется активности ферментов. Это катализаторы, отвечающие за многочисленные химические реакции, сложных процессов разложения органического вещества и круговорота питательных веществ в почве (Dick, 1997). Важным свойством почвенных ферментов

является оперативное реагирование на изменение экологических условий. Понимание того, как неблагоприятные факторы влияют на активность почвенных ферментов, является важным этапом в разработке эффективных стратегий и методов управления почвами, а также в предупреждении их изменений и восстановлении утраченного качества.

Дегидрогеназы – это внутриклеточные ферменты класса оксидоредуктаз, играющие ключевую роль в окислительно-восстановительных процессах, и метаболизме почвенных микроорганизмов (Burns, 1978). Активность дегидрогеназ является чувствительным индикатором биологической активности и плодородия почв, их реакции на стрессовые воздействия (Dick, 1997). Поскольку дегидрогеназы присутствуют в живых клетках, и проявляют высокую чувствительность к изменениям окружающей среды, их активность рекомендована в качестве интегрального показателя микробиологической активности и индикатора общего состояния почвы (Ross, 1971; *Microbiological Methods For...*, 2005; Wolińska, Stępniewska, 2012).

Целью настоящего исследования являлось изучение возможности использования активности дегидрогеназ для оценки экологического состояния почв Юга России. Анализ проведен на основании многолетних данных, полученных на кафедре экологии и природопользования Южного федерального университета, посвященных различным видам антропогенного воздействия на почву. Охвачен целый ряд зональных и интразональных почв Юга России. Итоговая оценка позволит определить целесообразность использования активности дегидрогеназ в качестве диагностического инструмента для оценки состояния почв под влиянием антропогенных факторов.

### **Материалы и методы**

Даденко Е. В., Тищенко С. А., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Применение активности дегидрогеназ в диагностике здоровья почв Юга России в условиях антропогенного воздействия // «Живые и биокосные системы». – 2024. – № 50; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-50/article-3>; DOI: 10.18522/2308-9709-2024-50-3

Проведена оценка применимости показателя активности дегидрогеназ для диагностики состояния почв под влиянием сельскохозяйственного использования (традиционная обработка почвы) и выхода почв и сельскохозяйственной обработки (залежный режим), загрязнения тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами, антибиотиками, электромагнитного загрязнения, СВЧ-излучения, переувлажнения, вырубок и пожаров (таблица 1). Анализ применимости показателя активности почвы проведен на основании многолетних данных, полученных на кафедре экологии и природопользования Южного федерального университета. Проанализирован большой объем литературных источников и фондового материала кафедры. Выбранные факторы являются наиболее распространенными антропогенными воздействиями на почвенные компоненты наземных экосистем.

Таблица 1 – Исследуемые воздействия

Вид воздействия	Характеристики (дозы)	Условия исследования	Источник
Сельскохозяйственное использование	Сравнительная оценка целинных, залежных и пахотных почв. Влияние распашки разной продолжительности: от нескольких лет до более чем 100 лет.	полевые	Прудникова и др., 2013; Даденко и др., 2013, 2014, 2015, 2016
Загрязнение нефтью и нефтепродуктами	Загрязнители: нефть, мазут, бензин, солянка. Действие различных концентраций: 1%, 0.5%, 1%, 2.5%, 5%, 10%, 25% и 50% от массы почвы.	полевые, модельные	Колесников и др. 2013, 2014, 2018; Гайворонский и др., 2014; Жаркова и др., 2014; Петрова и др. 2014; Вернигорова и др., 2015
Загрязнение тяжелыми металлами	В качестве загрязняющих веществ были выбраны, Cr, Cu, Ni, Pb,. Действие разных концентраций в почве: 1, 5, 10, 100 ПДК.	полевые, модельные	Колесников и др. 2013, 2018; Жаркова и др, 2014; Петрова и

			др., 2014; Вернигорова и др., 2015; Кузина и др., 2015
Переувлажнение и оглеение	Затопление почв водой и раствором соли NaCl в разной концентрации: 1, 2.5, 5, 10, 30 г/л. Моделирование затопления и оглеения путем затопления почвы (застойный режим) и периодического промывания (застойно-промывной режим). Изучение почв переувлажненных ландшафтов	Модельные и полевые	Казеев и др., 2006; Стрелкова, 2006; Кандашова и др. 2015, 2016, Старова, Тищенко, 2018; Лозовая, 2024
Электромагнитное излучение, в т.ч. СВЧ	Влияние переменных магнитных полей на почвы при разной интенсивности и продолжительности воздействия	модельные	Денисова и др., 2007, 2008, 2011
Загрязнение антибиотиками	Влияние бензилпенициллина, нистатина, фармазина, окситетрациклина, ампициллина, стрептомицина, тилозина, тромексина, изизерилла на ферментативную активность почв: 1, 1, 10, 100, 300, 450, 600, 1000 мг/кг	модельные	Акименко и др., 2013, 2015, 2023
Пожары	Влияние степного и верхового пожара, разной интенсивности. Воздействию разных факторов пирогенного воздействия: низкотемпературной плазмы, инфракрасного излучения, пала соломы, дыма от продуктов горения. Пал разной интенсивности в полевом модельном исследовании.	полевые и модельные	Одабашян и др., 2017, 2020; Одабашян, 2019; Казеев и др., 2020
Вырубки	Сравнительное исследование вырубок разного возраста	полевые	Тер-Мисакянц, 2013; Солдатов и др. 2020; Казеев и др., 2021

В качестве объекта исследования выступали зональные и интразональные почвы Юга России (таблица 2)

Таблица 2 – Объекты исследования

Почва	Местоположение
-------	----------------

Даденко Е. В., Тищенко С. А., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Применение активности дегидрогеназ в диагностике здоровья почв Юга России в условиях антропогенного воздействия // «Живые и биокосные системы». – 2024. – № 50; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-50/article-3>; DOI: 10.18522/2308-9709-2024-50-3

Чернозем обыкновенный обычных и карбонатных родов	Мясниковский, Октябрьский, Зерноградский р-ны Ростовской обл., Предкавказье
Чернозем выщелоченный	Белореченский р-н Краснодарский край; Респ. Адыгея
Чернозем южный	Ростовский заповедник, Орловский р-н Ростовской обл.; Шолоховский район Ростовской обл., Краснодарский край
Чернозем остаточнок-карбонатный	Респ. Крым
Темно-каштановая	Респ. Крым; Астраханская область
Каштановая	Респ. Калмыкия
Светло-каштановая	Респ. Калмыкия
Бурая полупустынная	Астраханская область; Респ. Калмыкия
Коричневая почва выщелоченных и карбонатных родов	Краснодарский край; Респ. Крым
Бурая лесная	Гузерибль, Респ. Адыгея; пос. Никель, Респ. Адыгея; Респ. Крым; Краснодарский край
Серая лесная	Гузерибль, Респ. Адыгея; пос. Никель Респ. Адыгея
Желтозем	Краснодарский край
Горно-луговая почва	Плато Лагонаки, Респ. Адыгея; Республика Крым
Дерново-карбонатная	пос. Гузерибль, Респ. Адыгея; Краснодарский край
Солонцы, солончаки	Астраханская область
Песчаные	Усть-Донецк, Ростовская область; Астраханская область; Респ. Калмыкия

Определение активности дегидрогеназ проведено методом А.Ш. Галстяна (Казеев и др., 2016) с использованием бесцветной соли тетразолия — 2,3,5-трифенилтетразолий хлористый — ТТХ, которая восстанавливается в присутствии дегидрогеназ в красное соединение

формаза — трифенил-формаза — ТФФ. Инкубация осуществлялась в анаэробных условиях 24 часа. Экстракцию формаза осуществляли этиловым спиртом. Полученный окрашенный раствор ТФФ колориметрировали при длине волны 540 нм. Количество формаза (мг/мл) определяли по калибровочному графику.

Оценка применимости активности дегидрогеназ для диагностических целей основана на учете чувствительности и однозначности реакции показателя на воздействие. Чувствительность оценивалась в баллах (таблица 3) на основе изменения активности фермента при разных уровнях воздействия (минимальные, средние и высокие дозы факторов) по сравнению с контролем или фоном. Также введен поправочный коэффициент чувствительности, учитывающий реакцию на дозу фактора. Повышающий коэффициент применялся, если фермент демонстрировал высокую дозозависимую реакцию даже на малые концентрации фактора (интенсивность воздействия и др.). При реакции на малые дозы (низкая интенсивность фактора) применяется коэффициент 1,2, отражающий высокую чувствительность к данному воздействию. За реакцию только в ответ на высокие дозы (интенсивность) – 0,8 балла. Также учитывалась стабильность показателя - реакция с разным знаком (рост/снижение по сравнению с контролем) классифицировалась как неоднозначная и в вычисления добавлялся понижающий коэффициент 0,8.

Таблица – 3 Оценка чувствительности активности дегидрогеназ в зависимости от изменения показателя в % от контроля

Степень изменения показателя в % от контроля	Балл	Изменение
0-3	1	минимальное
3-10	2	незначительное
10-30	3	умеренное
30-50	4	сильное
50 и более	5	очень сильное

## Результаты и обсуждение

В таблице 4 представлены результаты балльной оценки по предложенной методике.

Таблица – 4 Результаты оценки применимости показателя активности дегидрогеназы в оценке состояния почв

	% от контроля, минимальный	% от контроля, максимальный	изменение (усредненное) по сравнению с контролем, %,	балл	коэффициент однозначности	Коэффициент чувствительности	ИТОГ
Сг	8	88	49	4	1	1,2	4,8
Сu	28	99	32	4	1	1,2	4,8
Ni	9	109	28	3	0,8	1	2,4
Pb	2	103	28	3	0,8	1	2,4
Нефть	5	105	36	4	0,8	1	3,2
Мазут	49	96	28	3	1	1,2	3,6
Бензин	69	98	16	3	1	1,2	3,6
Солярка	80	102	9	3	0,8	1,2	2,9
Антибиотики	31	96	69	5	1	1,2	6
Переувлажнение и оглеение	10	285	33	4	0,8	1	3,2
Сельскохозяйственное использование (распашка)	45	70	31	4	1	1	4
Пожары (комплекс факторов пирогенного воздействия)	4	78	56	5	1	1,2	6
Магнитные поля	47	113	10	3	0,8	1	2,4
СВЧ-излучение	28	172	5	2	0,8	1,2	1,9
Гамма-излучение	50	98	25	3	1	1,2	3,6
Вырубка	2	102	48	4	1	0,8	3,2



Оценка показала, что применение активности дегидрогеназ в диагностических целях наиболее эффективно при загрязнении антибиотиками (таблица 4). Итоговая оценка составила максимально возможные 6 баллов. Отмечено, что степень снижения активности фермента зависит от дозы (Акименко и др., 2013; 2015; 2023). Максимальное воздействие антибиотика наблюдается на начальном этапе загрязнения, затем идет тенденция к восстановлению, но чаще всего неполному (Акименко и др., 2015). Влияние антибиотиков на ферментный пул носит пролонгированный характер (Акименко и др., 2013). На основе корреляции между содержанием антибиотиков в почве и снижением активности ферментов, дегидрогеназа отнесена к наиболее информативным показателям ( $r=-0,91$ ) (Акименко и др., 2023). Сопоставление лабораторных и полевых исследований показало, что общие закономерности влияния антибиотиков на почву сохраняются, но степень воздействия сильнее в лабораторных условиях. Восстановление биологических свойств идет быстрее в полевых условиях (Акименко и др., 2015).

Максимальный балл среди изученных воздействий также присвоен применению активности дегидрогеназ для оценки пирогенного эффекта и последствий пожаров (таблица 4). Все факторы пирогенного воздействия (низкотемпературная плазма, инфракрасное излучение, пал, дым от продуктов горения) вызывают снижение активности фермента. Степень снижения зависит от интенсивности и продолжительности воздействия, параметров увлажнения почвы (Казеев и др., 2020). Наблюдается тенденция к снижению активности дегидрогеназ в течении нескольких дней после пала, с последующей частичной реабилитацией через месяц, но не достигающей контрольных значений (Одабашян и др., 2017, 2019, 2020). Влияние связано как с прямым действием (разрушение клеток, денатурация ферментов), так и с

изменением условий жизнедеятельности микроорганизмов (гидротермические параметры, физико-химические характеристики почв). Корреляционный анализ показал высокую степень зависимости ферментативной активности от длительности и интенсивности воздействий (Казеев и др., 2020).

Активность дегидрогеназ в почве снижается под воздействием тяжелых металлов. Степень угнетения фермента зависит от типа почв, вида загрязняющего вещества и его концентрации (Петрова и др., 2014; Вернигорова и др., 2015). Действие тяжелых металлов на активность дегидрогеназ может проявляться через прямое ингибирование ферментов, а также через подавление активности микроорганизмов (Жаркова и др., 2014). Активность дегидрогеназ демонстрирует высокую степень корреляции с концентрацией загрязнителей (Жаркова и др., 2014; Петрова и др., 2014; Вернигорова и др., 2015). Наибольшую чувствительность фермент проявляет к загрязнению медью и хромом, демонстрируя снижения активности даже при малых дозах этих элементов. Именно за эти воздействия начислен максимальный балл (4,8) по загрязнению металлами в нашем исследовании (таблица 4). Реакция на никель и свинец не всегда однозначна на малых дозах загрязнителя. Однозначное подавление отмечено при повышении их концентрации в модельных экспериментах. Именно поэтому итоговый балл оценки для этих металлов значительно ниже – 2,4.

Изучение влияния нефти и нефтепродуктов на почвы демонстрирует их подавляющее действие на активность дегидрогеназ (Колесников и др. 2013, 2014, 2018; Гайворонский и др., 2014; Петрова и др. 2014; Вернигорова и др., 2015; Кузина и др., 2015). Степень угнетения активности различается для разных типов почв. Почвы с высоким уровнем биологической активности демонстрируют большую устойчивость (Петрова и др., 2014; Гайворонский и

др., 2014), особенно к низким концентрациям нефти. Наибольшую чувствительность фермент проявляет к загрязнению мазутом, демонстрируя снижения активности даже при малых дозах. Для загрязнения нефтью отмечена неоднозначная реакция фермента на малые дозы в ряде почв, при довольно высокой его чувствительности к большим концентрациям загрязнителя. Довольно высокий итоговый балл нашей оценки – 3,6 (таблица 4), свидетельствует о результативности применение фермента при оценке загрязнения мазутом и бензином.

Активность почвенных дегидрогеназ позволяет диагностировать действие избыточного увлажнения и оглеения на почвы. Изменение активности фермента при переувлажнении почв зависит от условий увлажнения, длительности опыта, химической природы и концентрации растворенных в воде веществ (Казеев и др., 2006; Кандашова и др., 2015, 2016). Итоговая оценка активности фермента довольно высокая (таблица 4) – 3,2, но необходимо отметить, что высокий балл за чувствительность связан не сколько с подавлением активности фермента по сравнению с контролем, сколько с его стимуляцией. Значительный рост активности дегидрогеназ при затоплении почв связывают с повышенной активностью дегидрирования в анаэробных условиях и развитием анаэробной микрофлоры (Стрелкова, 2006). Переувлажнение почв является мощным фактором воздействия на структуру микробных сообществ почв, микроорганизмы мгновенно реагируют на изменения условий увлажнения увеличением численности одних экологических групп и уменьшением других (Кутовая и др., 2016). Затопление почвы приводит и к значительному изменению обилия микрофлоры, однако при ее подсыхании микробная система стремится вернуться в исходное состояние (Казеев и др., 2006). Именно этими изменениями микробиоценоза обусловлена неоднозначная реакция активности дегидрогеназ на процессы

подтопления и засоления в эксперименте. Закономерности, полученные в ходе модельных экспериментов, подтверждаются и при полевых исследованиях. Исследования локально переувлажненных ландшафтов Зерноградского района Ростовской области также выявили существенное увеличение активности дегидрогеназ в черноземах, подвергающихся грунтовому подтоплению относительно автоморфных аналогов (Старова, Тищенко, 2018; Рудова, 2024).

Активность дегидрогеназ достаточно чувствительна к длительному сельскохозяйственному использованию. За это воздействие по итогам расчетов начислено 4 балла. Распашка приводит к значительному снижению активности фермента, особенно в верхних горизонтах, подвергающихся максимальному воздействию (Даденко и др., 2014, 2015). Снижение составляет 30 и более %. Активность фермента также отзывчива на изменения в постагрогенных почвах и информативна для оценки восстановительных процессов в них (Даденко и др., 2015; Мясникова, 2015; Казеев и др., 2020). Уже на молодой залежи, в первый год выхода из сельскохозяйственного производства активность фермента на 20 % выше, чем на пашне. В дальнейшем, при увеличении залежного периода эффект восстановления активности дегидрогеназ растет до значений, свойственных ненарушенным (целинным) почвам соответствующих типов.

СВЧ излучение оказывает неоднозначный эффект на активность дегидрогеназ (Денисова и др., 2011а). Не обнаружено значительных изменений активности фермента под влиянием СВЧ-излучения, а в отдельных случаях отмечен стимулирующий эффект. Итоговый балл 1,9. Показана высокая чувствительность фермента к воздействию гамма-излучения (Денисова и др., 2011б). Именно за это воздействие начислено наибольшее количество баллов среди всех электромагнитных воздействий – 4 балла.

Магнитное поле вызывает различный неоднозначный отклик в зависимости от его характеристик, особенностей почв и длительности воздействия (Денисова и др., 2007, 2008, 2011б).

Активность дегидрогеназ демонстрирует чувствительность к изменениям произошедшим вследствие рубки леса. Активность дегидрогеназ отражает нарушения почвенно-растительного покрова и показывает динамику нарушений почвенных процессов при сукцессии на месте рубки (Казеев и др., 2021). Балл по этому воздействию составил 3,2. Интенсивность изменения активности фермента на это воздействие сильно варьирует при разных степенях нарушения почвенного покрова (Тер-Мисакянц и др., 2013). В первый год после рубки леса активность значительно снижается на участках с сильным и средним повреждением почвенного покрова. Через 3-5 лет после рубки активность дегидрогеназ на таких участках более чем на 50% ниже контрольного уровня неповрежденных зон (Солдатов и др., 2020; Казеев и др., 2021). Однако, на участках со слабым, и отдельных участках, со средним нарушением, значения близки или выше контроля (Солдатов и др., 2020; Казеев и др., 2021). Наблюдается нелинейная динамика изменения активности дегидрогеназ, которая связана с процессами восстановления растительности и органического вещества (Тер-Мисакянц и др., 2013). В ходе восстановительной сукцессии на участках со средней и сильной степенью повреждения активность ферментов не достигает значений, характерных для контрольных почв (Солдатов и др., 2020)

### **Заключение**

Проведенный анализа многолетних исследований посвященных изучению влияния различных антропогенных факторов на почвы Юга России, показал высокую диагностическую ценность активности дегидрогеназ для оценки их экологического состояния. Этот показатель широко используется в

диагностике состояния почв и демонстрирует различную чувствительность и информативность к широкому спектру воздействий. Дегидрогеназная активность почв проявила себя как восприимчивый индикатор деградационных процессов, связанных с сельскохозяйственным воздействием (распашкой), вырубкой леса, загрязнением различными поллютантами (антибиотики, нефть, мазут, бензин, медь и хром), гамма-излучением, переувлажнением, а также пирогенным воздействием. Результаты исследований продемонстрировали, что активность дегидрогеназ изменяется довольно существенно в ответ на эти воздействия. Важным является то, что этот показатель – очень информативный инструмент для диагностики ранних нарушений экологического состояния почв.

На основании анализа составлен ряд изученных воздействий на почвы Юга России по убыванию применимости показателя активности дегидрогеназ для оценки последствий: загрязнение антибиотиками  $\geq$  пожары  $>$  загрязнение хромом = загрязнение медью  $>$  сельскохозяйственное использование (распашка)  $>$  загрязнение мазутом и бензином  $\geq$  гамма-излучение  $>$  рубка леса  $\geq$  загрязнение нефтью  $\geq$  переувлажнение  $>$  загрязнение соляной кислотой  $\geq$  загрязнение никелем и хромом  $\geq$  воздействие магнитных полей  $>$  СВЧ излучение

Для более полной и достоверной оценки состояния почв активность дегидрогеназ целесообразно использовать в комплексе с другими биологическими и физико-химическими показателями.

Полученные результаты подчеркивают перспективность использования активности дегидрогеназ в качестве инструмента для оценки и мониторинга экологического состояния почв Юга России и могут быть использованы для разработки экологических нормативов и мер по охране почв.

## Список литературы

Даденко Е. В., Тищенко С. А., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Применение активности дегидрогеназ в диагностике здоровья почв Юга России в условиях антропогенного воздействия // «Живые и биокосные системы». – 2024. – № 50; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-50/article-3>; DOI: 10.18522/2308-9709-2024-50-3

1. Акименко Ю. В., Колесников С. И., Казеев К. Ш. Экологически безопасные концентрации антибиотиков в черноземах обыкновенных // Живые и биокосные системы. 2023. № 45; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-45/article-4>
2. Акименко Ю. В. Казеев К. Ш. Колесников С. И. Мазанко М. С. Экологические последствия загрязнения почв антибиотиками // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15. – № 3 (4). – С. 1196-1199.
3. Акименко Ю. В., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Влияние загрязнения антибиотиками на биологические свойства чернозема обыкновенного: монография / Ю. В. Акименко, К. Ш. Казеев, С. И. Колесников; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. – 154 с.
4. Акименко Ю. В., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Динамика ферментативной активности чернозема при внесении антибиотиков // Научный журнал КубГАУ. – №85(01). – 2013.– С. 587-594.
5. Вернигорова Н. А., Колесников С. И., Казеев К. Ш. Оценка устойчивости почв и наземных экосистем Крыма к химическому загрязнению: монография / Н. А. Вернигорова, С. И. Колесников, К. Ш. Казеев; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. - 126 с.
6. Гайворонский В. Г., Колесников С. И., Казеев К. Ш. Устойчивость почв юга России к загрязнению мазутом: монография / В.Г. Гайворонский, С. И. Колесников, К. Ш. Казеев; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2014. – 144 с.
7. Даденко Е. В., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Мясникова М. А. Влияние распашки на биохимические свойства черноземов юга России:

монография / Е. В.; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, – 2015. – 116 с.

8. Даденко Е. В., Мясникова М. А., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // Почвоведение. – 2014. – № 6. – С. 724-733.

9. Даденко Е. В., Прудникова М. А., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Применение показателей ферментативной активности при оценке состояния почв под сельскохозяйственными угодьями // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. – 2013. – Т. 15. – № 3 (5). – С. 1274-1277.

10. Денисова Т. В. Казеев К. Ш. Влияние переменного и постоянного магнитных полей на биоту и биологическую активность чернозема обыкновенного // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2007. – Т.47. – С. 345-348.

11. Денисова Т. В. Казеев К. Ш. Колесников С. И. Вальков В.Ф. Устойчивость ферментативной активности и численности микрофлоры разных почв Юга России к воздействию переменного магнитного поля промышленной частоты // Радиационная биология. Радиоэкология. – 2008. – Т. 48. – № 4. – С. 481-486.

12. Денисова Т.В., Казеев К.Ш, Колесников С.И., Вальков В.Ф. Изменение ферментативной активности и фитотоксических свойств почв Юга России под влиянием СВЧ-излучения // Агрехимия. – 2011а. – № 6. – С. 49–54

13. Денисова Т. В., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Влияние электромагнитных полей на биологические свойства почв. Ростов н/Д: ЗАО “Ростиздат”, – 2011б. – 286 с.



14. Денисова Т. В., Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Изменение биологических свойств чернозема обыкновенного после воздействия гамма-излучения // Почвоведение. – 2007. – № 9. – С. 1095-1103.

15. Жаркова М. Г., Колесников С. И. и др. Оценка экотоксичности тяжелых металлов и нефти по биологическим показателям чернозема: монография / М. Г. Жаркова, С. И. Колесников, К. Ш. Казеев, И. В. Кутузова, Е. В. Налета; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2014. – 240 с.

16. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Акименко Ю. В., Даденко Е. В. Методы биодиагностики наземных экосистем. / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников, Ю. В. Акименко, Е. В. Даденко; Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2016. – 356 с.

17. Казеев К. Ш., Одабашян М. Ю., Колесников С. И. Биологическая диагностика пирогенного воздействия на экологическое состояние почв. Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Южный федеральный университет. – 2019. – 174 с.

18. Казеев К. Ш., Солдатов В. П., Шхапавцев А. К., Шевченко Н. Е., Грабенко Е. А., Ермолаева О. Ю., Колесников С. И. Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-западного Кавказа // Лесоведение. 2021. № 4. – С. 426–436.

19. Казеев К. Ш., Стрелкова В. И., Тищенко С. А. Влияние переувлажнения на биоту и свойства почв Юга России. Ростов н/Д: Ростиздат, – 2006. – 143 с.

20. Казеев К. Ш., Трушков А. В., Одабашян М. Ю., Колесников С. И. Постагрогенное изменение ферментативной активности и содержания

органического углерода чернозема в первые 3 года залежного режима // Почвоведение. – 2020. – № 7. – С. 901-910.

21. Кандашова К. А., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Биодиагностика деградации чернозема при развитии процессов гидроморфизма (в модельном эксперименте) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2016. – Т. 18. – № 2 (2). – С. 3895-392.

22. Кандашова К. Ш. Казеев К. Ш., Колесников С. И. Влияние оглеения на эколого-биологические свойства переувлажненных почв юга России. Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, – 2015. – 108 с.

23. Колесников С. И. Казеев К. Ш. Татлок Р. К. Тлехас З. Р. Денисова Т. В. Даденко Е. В. Биодиагностика бурых лесных почв Западного Кавказа к загрязнению тяжелыми металлами, нефтью и нефтепродуктами. – Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2013. № 1. с. 493-500.

24. Колесников С. И. Татлок Р. К. Тлехас З. Р. Казеев К. Ш. Денисова Т. В. Даденко Е. В. Биодиагностика устойчивости предгорных и горных почв Западного Кавказа к загрязнению нефтью и нефтепродуктами. – Сибирский экологический журнал, 3 (2014). с. 493 – 500.

25. Колесников С. И., Кузина А. А., Вернигорова Н. А., Казеев К. Ш., Акименко Ю. В. Оценка устойчивости основных почв и экосистем Приазовья к загрязнению тяжелыми металлами и нефтью: монография; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2018. – 111 с.

26. Кузина А. А., Колесников С. И., Казеев К. Ш. Биодиагностика устойчивости почв Черноморского побережья Краснодарского края к загрязнению нефтью и тяжелыми металлами: монография; Южный

федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. 2015. – 125с.

27. Кутовая О. В., Тхакахова А. К., Чевердин Ю. И. Влияние поверхностного переувлажнения на биологические свойства лугово-черноземных почв Каменной Степи // Бюл. Почв. ин-та. – 2016. №82. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-poverhnostnogo-pereuvlazhneniya-na-biologicheskie-svoystva-lugovo-chernozemnyh-pochv-kamennoy-stepi>

28. Лозовая Д. Е. Изменение активности дегидрогеназ чернозёмов миграционно-сегрегационных при переувлажнении // Биология и экология : сборник тезисов Недели науки 79-ой научной студенческой конференции (22–26 апреля 2024 г.) Вып. 21 / отв. ред. К.Ш. Казеев, В.В. Вилкова ; Южный федеральный университет; – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2024. – С. 24-25

29. Одабашян М. Ю., Трушков А. В., Казеев К. Ш Колесников С. И. Влияние пала на ферментативную активность чернозема// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2017. – Т.19. – № 2-3. – С. 482-485.

30. Одабашян М. Ю., Трушков А. В., Казеев К. Ш., Минникова Т. В., Колесников С. И. Комплексное влияние факторов пирогенного воздействия на биологические свойства черноземов // Бюллетень ГНБС. – 2020. – №134. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kompleksnoe-vliyanie-faktorov-pirogenного-vozdeystviya-na-biologicheskie-svoystva-chernozemov>

31. Одабашян, М. Ю. Влияние пирогенного фактора на биологические свойства почв Ростовской области: диссертация кандидата биологических наук: 03.02.08 / Одабашян М. Ю. – Ростов-на-Дону, 2019. – 170 с.

32. Петрова Н. А., Колесников С. И., Казеев К. Ш. Влияние химического загрязнения на биологические свойства почв аридных экосистем

Юга России: монография / Н. А. Петрова, С. И. Колесников, К. Ш. Казеев; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. 2014. – 140 с.

33. Прудникова М. А., Даденко Е. В., Ермолаева О. Ю., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Использование биологических показателей в мониторинге и постагрогенных черноземов // Известия Самарского научного центра Российской Академии Наук. – 2013. – Т. 15. – № 3 (5). – С. 1406-1409.

34. Солдатов В. П., Шхапацев А. К., Казеев К. Ш., Харитонов Т. Д., Казеев Д. К., Колесников С. И. Динамика изменения активности ферментов в почвах Адыгеи с разной степенью нарушения после сведения леса // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2020. – №4 (208). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/dinamika-izmeneniya-aktivnosti-fermentov-v-pochvah-adygei-s-raznoy-stepenyu-narusheniya-posle-svedeniya-lesa>

35. Старова Э. В., Тищенко С. А. Ферментативная активность черноземов миграционно-сегрегационных при переувлажнении / Экология и природопользование: ежегодный тематический сборник / Южный федеральный университет ; [отв. ред. К. Ш. Казеев]. – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2018. – Вып. 15. С. 94-98.

36. Стрелкова В. И. Влияние переувлажнения и засоления на биологические свойства почв Юга России: Автореф. дисс. кандидата биол. наук. Ростов-на-Дону, 2006. – 24 с.

37. Тер-Мисакянц Т. А., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Деградация дерново-карбонатных почв Западного Кавказа в результате вырубki леса: монография. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, – 2013. – 104 с.

38. Burns R. G., Soil Enzymes, Academic Press, New York. 1978. – P 370–375.
39. Dick R. P. Soil enzyme activities as indicators of soil quality // Soil Science Society of America Journal. – 1997. – V. 58, – P. 107-124.
40. Doran J. W. Soil health and global sustainability: translating science into practice // Agriculture, Ecosystems & Environment. V.88(2). 2002. – P. 119-127.
41. Killham K. S., Staddon W. Bioindicators and sensors of soil health and the application of geostatistics. In In: Enzymes in the Environment (eds. R. G. Burns, R. P. Dick), Marcel Dekker, New York. 2002. – P. 391-406.
42. Methods in applied soil microbiology and biochemistry / Kassem A., Nannipieri P, 1995. Elsevier, Academic press. 576 p.
43. Ross D. J. Some factors influencing the estimation of dehydrogenase activities of some soils under pasture // Soil Biol and Biochemistry. – 1971. –V. 3 (2). – P. 97-110.
44. Wolińska A., Stępniewska Z. Dehydrogenase Activity in the Soil Environment. INTECH Open Access Publisher. 2012.

Статья поступила в редакцию 8 ноября 2024 г.

Поступила после доработки 15 ноября 2024 г.

Принята к печати 3 декабря 2024 г.

Received 8, November, 2024

Revised 15, November, 2024

Accepted 3, December, 2024