

Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



ДАУД РАМА МУХАММАД

**ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ К
ХИМИЧЕСКОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ**

03.02.08 – экология (биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Ростов-на-Дону – 2020

Работа выполнена на кафедре экологии и природопользования
Академии биологии и биотехнологии имени Д.И. Ивановского
Южного федерального университета

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Колесников Сергей Ильич,
Южный федеральный университет, кафедра
экологии и природопользования, заведующий

Официальные оппоненты: **Яковлева Людмила Вячеславовна**
доктор биологических наук, доцент,
Астраханской государственной университет,
кафедра почвоведения, землеустройства и
кадастра, заведующая

Жаркова Мария Геннадьевна
кандидат биологических наук,
Донской государственной технический
университет, кафедра технических средств
аквакультуры, доцент

Защита диссертации состоится **23 декабря 2020 г. в 15:00** на заседании диссертационного совета ЮФУ03.01 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая 105/42, к. 203.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.lib.sfedu.ru/diss/show/1283097/>.

Автореферат разослан «___» ноября 2020 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 803а, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ03.01 Акименко Ю.В., а также в формате .pdf на e-mail: jvakimenko@sfedu.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Акименко Юлия Викторовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Засушливые земли (аридные, семиаридные и сухие субгумидные районы) занимают 41% поверхности суши, на них живет более 38% населения Земли, в результате чего, эти территории подвергаются значительному антропогенному воздействию (Hu, Nan, 2018). При этом они очень важны своими экологическими функциями, в частности поддержанием биологического разнообразия и устойчивости биосферы (Davidson, 2014; Kingsford et al., 2016; Greed et al., 2017; Menéndez-Serra et al., 2019). Не составляют исключение и аридные экосистемы Юга России.

Почвенный покров аридных экосистем Европейской части юга России характеризуется значительным разнообразием почв. Он представлен зональными каштановыми и бурыми полупустынными почвами, а также интразональными песчаными и засоленными почвами (Вальков и др., 2008; Национальный атлас почв Российской Федерации, 2011; Казеев, Колесников, 2015). Эти почвы значительно различаются по эколого-генетическим свойствам (Вальков и др., 2008), а соответственно и по устойчивости к техногенным воздействиям.

Одними из приоритетных загрязняющих аридные почвы элементов являются кадмий, хром, свинец, медь, цинк, селен. В отдельных случаях предельно-допустимые концентрации (ПДК) этих элементов в аридных почвах Астраханской области и Калмыкии превышены в пять и более раз (Отчет о научно-производственной деятельности..., 2016; Дьяченко, Матасова, 2016). Загрязнение почв аридных экосистем Юга России свинцом, медью, хромом и никелем было исследовано ранее (Колесников и др., 2011; 2013), а загрязнение кадмием, цинком и селеном исследовано впервые.

Одной из главных перспектив развития Юга России являются топливно-энергетические ресурсы: нефть, природный газ, каменный уголь (Дружинин и др., 2001). Процессы производства, переработки и транспортировки нефти и нефтепродуктов часто сопровождаются загрязнением почв. Развитие нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей промышленности на Юге России увеличивает риски загрязнения почв нефтью и нефтепродуктами.

Кроме того, аридные почвы Юга России все сильнее загрязняются антибиотиками и пестицидами, в связи с интенсификацией их применения в сельском хозяйстве. Окситетрациклин и имидором являются одними из наиболее широко применяемых на Юге России препаратов.

Цель настоящей работы — исследовать устойчивость почв аридных экосистем Юга России к загрязнению поллютантами различной химической природы: кадмием, цинком, селеном, нефтью, бензином, мазутом, окситетрациклином, имидором по биологическим показателям.

Задачи исследования:

1. Установить закономерности влияния загрязнения почв аридных экосистем Юга России поллютантами различной химической природы — кадмием и цинком (тяжелые металлы), селеном (неметалл), нефтью, бензином (легкая фракция

нефти), мазутом (тяжелая фракция нефти), окситетрациклином (антибиотик), имидором (пестицид) — на биологические свойства почв: микробиоту, ферментативную активность, фитотоксичность.

2. Дать сравнительную оценку устойчивости к загрязнению вышеуказанными поллютантами аридных почв Юга России, значительно различающиеся по генезису и свойствам: темно-каштановых, каштановых, светло-каштановых, бурых полупустынных, песчаных бурых полупустынных, солончаков, солонцов, а также черноземов обыкновенных для сравнения.
3. Разработать региональные предельно допустимые концентрации (рПДК) кадмия, цинка, селена, нефти, бензина, мазута, окситетрациклина и имидора в восьми основных типах и подтипах аридных почв Юга России.
4. Провести сравнительную оценку устойчивости к загрязнению пахотных и целинных почв.
5. Оценить пригодность биологических показателей для использования в целях оценки состояния аридных почв Юга России и нормирования степени их загрязнения исследованными поллютантами.
6. Составить прогнозные картосхемы ухудшения биологического состояния аридных почв Юга России при их загрязнении.

Основные защищаемые положения:

1. Загрязнение почв аридных экосистем Юга России кадмием и цинком (тяжелые металлы), селеном (неметалл), нефтью, бензином (легкая фракция нефти), мазутом (тяжелая фракция нефти), окситетрациклином (антибиотик), имидором (пестицид) подавляет численность бактерий и ферментативную активность, увеличивает фитотоксичность почвы. Степень негативного воздействия зависит от природы поллютанта и его концентрации в почве.
2. Черноземы и каштановые почвы Юга России более устойчивы к загрязнению кадмием, цинком, селеном, нефтью, бензином, мазутом, окситетрациклином и имидором, чем бурые полупустынные, песчаные и засоленные почвы. Пахотные и целинные аналоги черноземов и каштановых почв имеют одинаковую устойчивость к загрязнению нефтью. Составлены прогнозные картосхемы ухудшения биологического состояния аридных почв Юга России при их загрязнении исследованными поллютантами.
3. Разработаны региональные предельно допустимые концентрации (рПДК) кадмия, цинка, селена, нефти, бензина, мазута, окситетрациклина и имидора в аридных почвах Юга России на основе нарушения их экологических функций.

Научная новизна работы. Впервые установлены закономерности изменения основных биологических свойств почв аридных экосистем Юга России в условиях загрязнения кадмием, цинком, селеном, нефтью, бензином, мазутом, окситетрациклином, имидором. Впервые дана сравнительная оценка устойчивости к загрязнению вышеуказанными поллютантами аридных почв Юга России, значительно различающиеся по генезису и свойствам: темно-каштановых, каштановых, светло-каштановых, бурых полупустынных, песчаных бурых полупустынных, солончаков,

солонцов, а также черноземов обыкновенных для сравнения. Впервые дана сравнительная оценка устойчивости к загрязнению пахотных и целинных почв.

Практическая значимость. Впервые разработаны региональные предельно допустимые концентрации (рПДК) кадмия, цинка, селена, нефти, бензина, мазута, окситетрациклина и имидора в восьми основных типах и подтипах аридных почв Юга России. Впервые исследована информативность и чувствительность биологических показателей для оценки состояния аридных почв Юга России и нормирования степени их загрязнения исследованными поллютантами. Впервые составлены прогнозные картосхемы ухудшения биологического состояния аридных почв Юга России при их загрязнении.

Личный вклад автора. Диссертационная работа основана на оригинальном материале, полученном лично автором в результате модельных экспериментальных исследованиях с 2016 по 2020 гг. Разработка программы исследований, формулировка цели и задач, выбор объектов и методов проведены автором совместно с научным руководителем. Лабораторные модельные опыты выполнены лично автором. Анализ и обобщение полученных результатов проведены автором при участии научного руководителя.

Апробация диссертации. Результаты исследования были представлены на Международных научных конференциях: Intrenational multidisciplinary scientific geosconference SGEM (Albena- Bulgaria, 2018), «Ломоносов» (Москва, 2018, 2019), «Современное состояние черноземов» (Ростов-на-Дону, 2018), «Экология и биология почв» (Ростов-на-Дону, 2017), «Техногенные системы и экологический риск», (Обнинск, 2018), «Экология и Здоровье» (Ростов-на-Дону, 2018), «Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах» (Ставрополь, 2018), «Системы обеспечения техносферной безопасности» (Таганрог, 2018), «Отходы, причины их образования и перспективы использования» (Краснодар, 2019), научных конференциях «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (Ростов-на-Дону, 2018,2019), «Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН» (Томск, 2018), «Неделя науки. Секция экологии и природопользования» (Ростов-на-Дону, 2018, 2019,2020).

Соответствие паспорту специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности 03.02.08 – Экология в разделе «Факториальная экология – исследование влияния абиотических факторов на живые организмы в природных и лабораторных условиях с целью установления пределов толерантности и оценки устойчивости организмов к внешним воздействиям», и разделе «Прикладная экология» в части «исследование влияния антропогенных факторов на экосистемы различных уровней с целью разработки экологически обоснованных норм воздействия хозяйственной деятельности человека на живую природу».

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 21 научных работ, из них 2 статьи в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и Web of Science, 2 статьи в журналах, входящих в Перечни

рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК. Доля участия автора в публикациях составляет 80%.

Структура и объем диссертации. Объем диссертационной работы 243 страницы. Диссертация содержит введение, четыре главы, выводы, список литературы, приложения, 27 таблиц, 59 рисунков, 8 фотографий. Список литературы содержит 438 источника, из них 353 на иностранных языках.

Конкурсная поддержка работы. Исследование выполнено при финансовой поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-9072.2016.11, НШ-3464.2018.11, НШ-2511.2020.11) и Министерства образования и науки Российской Федерации (№ 5.5735.2017/8.9; № 0852-2020-0029).

Благодарности. Автор выражает благодарность своему научному руководителю, заведующему кафедрой экологии и природопользования, д.с.-х.н., профессору С.И. Колесникову за помощь и поддержку при написании работы, д.г.н., профессору, д.г.н. К.Ш. Казееву, д.б.н., профессору Т.В. Денисовой за поддержку и ценные советы по выполнению модельных экспериментов; с.н.с., к.б.н. А.А. Кузиной, с.н.с., к.б.н. Т.В. Минниковой, доценту, к.б.н. Ю.В. Акименко и всем сотрудникам кафедры экологии и природопользования Южного федерального университета.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1. АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПО ПРОБЛЕМЕ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И ЕГО ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ

В главе представлен аналитический обзор современной отечественной и зарубежной литературы по проблемам загрязнения почв тяжелыми металлами и неметаллами, нефтью, нефтепродуктами, антибиотиками и пестицидами: общая характеристика загрязняющих веществ, источники загрязнения, поведение и трансформация их в почве, влияния на химические, физико-химические, физические и биологические свойства почв.

ГЛАВА 2. ПОЧВЫ АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА РОССИИ

В качестве объектов исследования были выбраны все основные почвы аридных экосистем Юга России: темно-каштановые, каштановые, светло-каштановые, бурые полупустынные, песчаные почвы, солончаки и солонцы, а также чернозем обыкновенный для сравнения. Эти почвы значительно различаются по генезису и свойствам, а, следовательно, и по буферности. Места отбора, названия и характеристика использованных в исследовании почв представлена в таблице 1.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ И МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНО-АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ

В ходе исследования был проведен ряд лабораторных модельных экспериментов для сравнения устойчивости почв аридных экосистем Юга России к химическому загрязнению:

–№1: 2017 год, модельный эксперимент для оценки устойчивости аридных почв к загрязнению Cd, Zn, Se.

–№2: 2017 год, модельный эксперимент для оценки устойчивости аридных почв к загрязнению нефтью, бензином, мазутом.

–№3: 2018 год, модельный эксперимент для оценки устойчивости пахотных и целинных почв к загрязнению нефтью.

–№4: 2019 года, модельный эксперимент для оценки устойчивости аридных почв к загрязнению окситетрациклином и имидором.

Устойчивость почв аридных экосистем Юга России оценивали путем изменения биологических свойств почв. Корректность переноса результатов лабораторного моделирования химического загрязнения почв в натурные условия была установлена предшествующими исследованиями (Колесников и др., 2013, 2014).

Cd, Zn, Se вносили в почву в количестве 1, 10, 100 предельно допустимых концентраций (ПДК), что соответствует 300, 3000 и 30000 мг/кг для цинка, 3, 30 и 300 мг/кг для кадмия, 10, 100 и 1000 мг/кг для селена. Использовали ПДК, разработанные в Германии: 300 мг/кг для цинка, 3 мг/кг для кадмия, 10 мг/кг для селена (Kabata-Pendias., 2010). Поллютанты вносили в почву в форме оксидов — ZnO, CdO, SeO₂. Значительная доля металлов поступает в почву в форме оксидов (Kabata-Pendias., 2010). Использование оксидов позволяет исключить воздействие на свойства почвы сопутствующего аниона, как это происходит при внесении солей металлов.

Поскольку на сегодняшний день экологические нормативы содержания в почве нефти и нефтепродуктов отсутствуют как в России, так и в большинстве стран мира, загрязнение ими моделировали в концентрациях 1, 5, 10 % от массы почвы. Такие концентрации нефти и нефтепродуктов в почве широко распространены в районах добычи, переработки и транспортировки нефти и нефтепродуктов. Даже после ликвидации нефтяного загрязнения в почве часто сохраняется остаточное количество нефти вплоть до 10 % от массы почвы.

Окситетрациклин (ОТС) вносили в почву в количестве 1, 10, 100 и 1000 мг/кг почвы. Имидор вносили в почву в количестве 1, 10 и 100 мг/кг почвы. Использованные концентрации были выбраны по литературным данным, согласно остаточным количествам антибиотиков и инсектицидов, обнаруживаемых в окружающей среде (Christian et al., 2003; Grote et al., 2004; Thiele–Bruhn et al., 2004; Kay et al., 2005; Sarmah et al., 2006; Sun et al., 2014), и на основе результатов ранее проведенных исследований на кафедре экологии и природопользования ЮФУ (Акименко и др., 2013, 2014).

Почву инкубировали в течение 30 суток в вегетационных сосудах в трехкратной повторности при температуре 20–22°C и весовой влажности почвы 25%. Биологические показатели оценивали через один месяц после загрязнения. Как правило, наибольшее ухудшение биологических показателей происходит в этот период, что позволяет выявить максимальную токсичность поллютанта (Колесников и др., 2000). Из многочисленных показателей состояния почвы исследовали именно биологические свойства почвы по той причине, что именно они первыми реагируют на внешнее воздействие, в том числе загрязнение, по сравнению с другими свойствами почвы (Колесников и др., 2010).

Таблица 1

Места отбора и эколого-биологические характеристики почв аридных экосистем Юга России

Почвы	Условные обозначения	Название в системе WRB, 2006	Экосистема	Место отбора	Координаты	Содержание гумуса, %	pH	Гранулометрический состав	Численность бактерий, млрд/г	Активность каталазы, мл О ₂ /г почвы за 1 мин	Активность дегидрогеназы, мг ТФФ/г/24 ч
Целина											
Чернозем обыкновенный	Чо	Haplic Chernozem (Loamic)	Настоящая степь	Ростовская область, Октябрьский район, п. Персиановский	47°30'18.11"N 40° 9'10.95"E	4,6	7,6	Тяжелосуглинистый	5,3	15,9	26,0
Темно-каштановая почва	Кт	Haplic Kastanozems Chromics	Сухая степь	Ростовская область, Орловский район, х. Майорский	47° 2'13.91"N 42° 5'23.53"E	3,5	7,6	Тяжелосуглинистый	5,5	14,3	21,6
Каштановая почва	К	Kastanozems Chromics	Сухая степь	Ростовская область, с. Ремонтное	46°34'23.24"N 43°36'28.64"E	2,8	7,8	Тяжелосуглинистый	5,3	14,9	21,8
Светло-каштановая почва	Кс	Haplic Kastanozems Chromic	Сухая степь	Республика Калмыкия, г. Элиста	46°18'58.77"N 44°22'53.96"E	1,4	8,1	Среднесуглинистый	5,5	11,5	20,1
Бурая полупустынная почва	Бп	Haplic Calcisols	Полупустыня	Республика Калмыкия, Яшкульский район, п. Хулхута	46°19'16.71"N 46°19'42.86"E	1,2	8,3	Легкосуглинистый	2,8	6,4	19,6
Песчаная бурая полупустынная почва	П(бп)	Calcaric Arenosols	Полупустыня	Астраханская область, Наримановский район, с. Новокучергановка	46°15'54.02"N 47°49'3.59"E	0,8	8,3	Песчаный	2,5	3,3	17,4
Солонец полупустынный корковый	Сн(п)	Gleyic Solonetz Albic	Сухая степь	Республика Калмыкия, Яшкульский район, п. Гашун	46°12'47.46"N 45°13'13.91"E	1,3	8,4	Среднесуглинистый	5,1	7,8	13,4
Солончак гидроморфный соровый	Сч(с)	Puffic Solonchaks Aridic	Солончак на дне высохшего лимана	Астраханская область, Наримановский район, с. Туркменка	46°15'16.43"N 47°27'42.84"E	0,7	7,8	Тяжелосуглинистый	3,3	5,8	15,5
Пашня											
Чернозем обыкновенный	Чо	Voronic Chernozems Pachic	Пашня	Ростовская область, Октябрьский район, п. Персиановский	47°30'33.21"N 40° 9'18.23"E	3,5	7,3	Тяжелосуглинистый	4,9	14,8	23,2
Темно-каштановая почва	Кт	Haplic Kastanozems Chromics	Пашня	Ростовская область, Орловский район, х. Майорский	47° 1'23.65"N 42° 7'45.24"E	3,3	7,7	Тяжелосуглинистый	4,8	14,3	21,6
Каштановая почва	К	Haplic Kastanozems Chromics	Пашня	Ростовская область, с. Ремонтное	46°35'57.01"N 43°32'23.93"E	2,6	7,8	Тяжелосуглинистый	4,9	10,9	20,3
Светло-каштановая почва	Кс	Haplic Kastanozems Chromic	Пашня	Республика Калмыкия, г. Элиста	46°18'22.08"N 44° 9'41.42"E	1,3	7,9	Среднесуглинистый	4,7	10,4	19,7

Для определения биологических свойств почвы использовали общепринятые методы (Казеев, Колесников, 2012). Численность бактерий в почве определяли методом люминесцентной микроскопии, обилие бактерий рода *Azotobacter* — методом комочков обрастания на среде Эшби, активность каталазы по методике Галстяна по скорости разложения перекиси водорода, активность дегидрогеназ по методике Галстяна в модификации Хазиева по скорости превращения хлорида трифенилтетразолия в трифенилформазан, целлюлозолитическую активность по скорости разложения в почве хлопчатобумажного полотна, о фитотоксичности почв судили по длине корней редиса (сорт Корунд). Содержание гумуса определяли методом И. В. Тюрина со спектрофотометрическим окончанием, реакцию среды (pH) потенциометрическим методом. На основе вышеперечисленных биологических показателей рассчитывали интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы (Kolesnikov et al., 2019). Используемый набор показателей, включающий микробиологические, биохимические и фитотоксические показатели, дает интегральную характеристику экологического состояния почвы.

ГЛАВА 4. ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПОЧВ АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА РОССИИ К ХИМИЧЕСКОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

4.1. УСТОЙЧИВОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА РОССИИ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ КАДМИЕМ, ЦИНКОМ И СЕЛЕНОМ ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

В ходе исследования было установлено, что загрязнение аридных почв Юга России Cd, Zn, Se приводит к ухудшению их состояния. Как правило, наблюдается достоверное уменьшение всех исследованных биологических показателей. Степень снижения биологических показателей зависела от концентрации элементов в почве и его природы.

Экотоксичность цинка и кадмия обусловлена их взаимодействием (связыванием) с сульфгидрильными группами полипептидов, приводящим к снижению проницаемости биомембран и ингибированию ферментов (Торшин и др., 1990). Механизм токсического действия селена объясняют способностью замещать серу в органических веществах, что также ведет к нарушению обмена веществ (Fordyce, 2005). В таблице 2 в качестве примера приведены результаты влияния кадмия на биологические свойства почв аридных экосистем Юга России. Данные по воздействию цинка и селена представлены в диссертационной работе.

Аридные почвы Юга России проявили разную устойчивость к загрязнению Cd, Zn, Se. Были построены следующие ряды по мере снижения устойчивости почв (в скобках представлены значения ИПБС загрязненных почв (%), усредненные по трем дозам; ИПБС незагрязненных почв — контроль — принят за 100%):

При загрязнении кадмием (рис. 1-А): черноземы обыкновенные (79) ≥ темно-каштановые почвы (78) ≥ каштановые почвы (77) ≥ светло-каштановые почвы (73) > бурые полупустынные почвы (65) > песчаные почвы (58) ≥ солончаки гидроморфные (57) ≥ солонцы полупустынные (54).

**Изменение биологических свойств почв аридных экосистем Юга России при
загрязнении кадмием**

Доза кадмия	Почва							
	Чернозем обыкновенный	Темно- каштановая	Каштановая	Светло- каштановая	Бурая полупустынная	Бурая полупустынная песчаная	Солончак гидроморфный соровый	Солонец полупустынный и корковый
Численность бактерий, млрд/г								
Контроль	6,2	6,0	5,9	5,9	3,4	3,3	3,3	5,1
1 ПДК	4,0	5,2	4,8	5,3	3,3	2,9	3,1	3,7
10 ПДК	3,0	2,6	2,9	3,6	1,8	2,8	2,3	2,5
100 ПДК	1,1	2,0	2,3	2,9	1,4	1,2	1,1	1,2
<i>HCP₀₅</i>	0,5	0,6	0,6	0,7	0,4	0,4	0,4	0,5
Обилие бактерий рода <i>Azotobacter</i> , % от контроля								
Контроль	100	100	100	100	100	100	100	100
1 ПДК	100	100	96	95	92	83	61	77
10 ПДК	97	97	91	80	58	50	57	54
100 ПДК	96	89	78	60	33	25	17	41
<i>HCP₀₅</i>	11	11	12	11	9	8	7	8
Активность каталазы, мл O ₂ на 1 г почвы за 1 мин								
Контроль	15,8	13,5	11,4	9,8	6,8	4,6	5,8	7,8
1 ПДК	15,3	13,3	11,3	9,0	6,3	3,3	5,5	6,1
10 ПДК	14,9	12,4	10,2	8,4	6,0	3,3	3,0	6,1
100 ПДК	14,2	11,3	9,9	7,6	5,1	3,1	2,6	3,4
<i>HCP₀₅</i>	2,0	1,7	1,4	1,1	0,8	0,5	0,6	0,8
Активность дегидрогеназ, мг ТТФ на 1 г почвы за 24 часа								
Контроль	28,9	25,9	23,0	20,6	20,1	17,7	15,5	13,4
1 ПДК	25,4	23,6	21,0	17,2	18,1	14,3	11,5	9,5
10 ПДК	20,1	17,9	15,2	14,1	15,1	9,8	10,2	7,5
100 ПДК	15,4	14,2	13,1	11,9	7,5	8,5	6,6	6,4
<i>HCP₀₅</i>	3,4	3,1	2,7	2,4	2,3	1,9	1,7	1,4
Целлюлозолитическая активность, % от контроля								
Контроль	100	100	100	100	100	100	100	100
1 ПДК	99	93	93	90	85	88	65	64
10 ПДК	96	88	87	64	54	31	55	44
100 ПДК	58	50	45	26	27	17	29	23
<i>HCP₀₅</i>	17	16	16	13	13	11	12	11
Длина корней редиса (фитотоксичность), % от контроля								
Контроль	100	100	100	100	100	100	0	100
1 ПДК	97	93	93	92	85	83	0	77
10 ПДК	86	80	76	75	70	46	0	41
100 ПДК	71	69	67	62	20	15	0	34
<i>HCP₀₅</i>	17	16	16	16	13	12	0	8
Интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС), % от контроля								
Контроль	100	100	100	100	100	100	100	100
1 ПДК	91	94	92	90	90	83	77	73
10 ПДК	82	78	76	72	66	56	60	54
100 ПДК	64	63	62	55	39	35	33	36

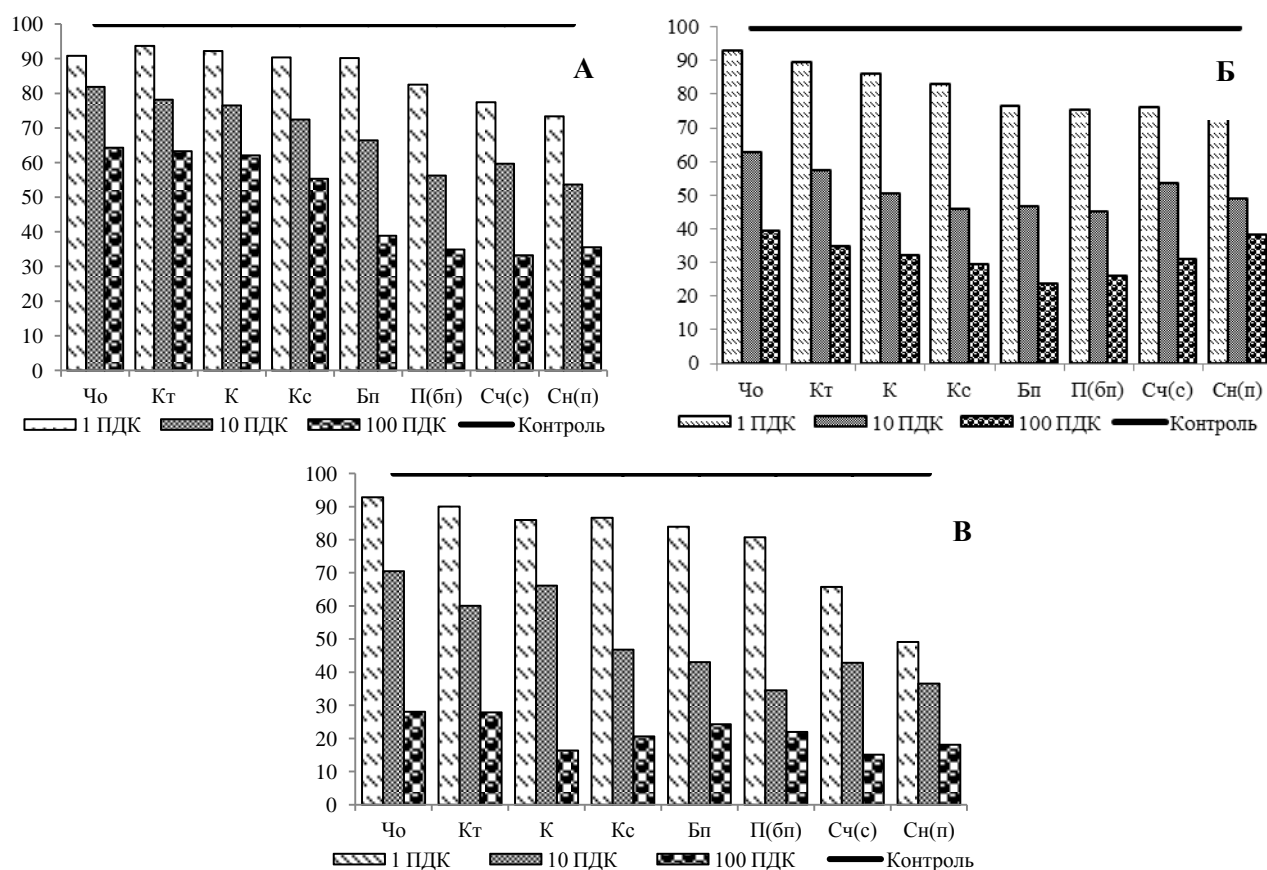


Рис.1. Устойчивость биологических свойств почв аридных экосистем Юга России к загрязнению кадмием (А), цинком (Б), селеном (В) (по степени снижения ИПБС, % от контроля).

Условные обозначения: Чо – чернозем обыкновенный, Кт – темно-каштановая, К – каштановая, Кс – светло-каштановая, Бп – бурая полупустынная, П(бп) – песчаная бурая полупустынная, Сч(с) – солончак гидроморфный сорový, Сп(п) – солонец полупустынный корковый

При загрязнении цинком (рис. 1-Б): черноземы обыкновенные (65) ≥ темно-каштановые почвы (61) > каштановые почвы (56) ≥ солончаки гидроморфные (54) = солонцы полупустынные (54) ≥ светло-каштановые почвы (53) ≥ бурые полупустынные почвы (49) = песчаные почвы (49).

При загрязнении селеном (рис. 1-В): черноземы обыкновенные (64) > темно-каштановые почвы (59) ≥ каштановые почвы (56) > светло-каштановые почвы (51) ≥ бурые полупустынные почвы (50) ≥ песчаные почвы (46) > солончаки гидроморфные (41) > солонцы полупустынные (35).

Таким образом, по степени устойчивости к загрязнению Cd, Zn, Se (в среднем) почвы аридных экосистем Юга России образуют следующий обобщенный ряд: чернозем обыкновенный (69) ≥ темно-каштановая (66) ≥ каштановая (63) > светло-каштановая (59) > бурая полупустынная (55) > песчаная (51) = солончак гидроморфный сорový (51) > солонец полупустынный корковый (48).

Такая последовательность определяется эколого-генетическими свойствами исследованных почв, прежде всего, гранулометрическим составом и содержанием органического вещества (табл. 1). Чем тяжелее гранулометрический состав и больше органического вещества в исследованных почвах, тем сильнее связываются металлы и

меньше проявляют токсичность (Hansen, Tjell, 1983; Huinink, 1998; Urzelai et al., 2000; Sheoran et al., 2010; Aqeel, 2014).

Темно-каштановые почвы характеризуются тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, высоким содержанием органического вещества, нейтральным pH (табл. 1). Эти свойства способствуют закреплению Cd, Zn, Se почвой и их меньшему влиянию на биологические свойства почвы.

Каштановые почвы отличаются реакцией среды близкой к слабощелочной, тяжелосуглинистым гранулометрическим составом, но содержание органического вещества у них ниже, чем у темно-каштановых почв. Светло-каштановые почвы имеют промежуточные между каштановыми и бурыми полупустынными почвами эколого-генетические характеристики, такие как содержание гумуса, среднесуглинистый гранулометрический состав и реакция среды, что обуславливает «промежуточную» степень их устойчивости.

Бурые полупустынные почвы имеют низкое содержание органического вещества и легкосуглинистый гранулометрический состав, что способствует высокой подвижности Cd, Zn, Se. Для песчаных почв характерны очень низкое содержание гумуса и песчаный гранулометрический состав, что способствует очень высокой подвижности Cd, Zn, Se и проявлению его максимальной токсичности.

Наименьшую устойчивость к загрязнению кадмием и селеном проявили солонцы и солончаки, что обусловлено низким содержанием гумуса. Но при загрязнении цинком солонцы и солончаки более устойчивы, чем песчаные почвы. Можно предположить, что гранулометрический состав на закрепление цинка влияет сильнее, чем на закрепление кадмия и селена.

При этом необходимо отметить одну особенность, характерную для цинкового загрязнения. Степень снижения биологических показателей бурой полупустынной и песчаной почвы были почти одинаковы несмотря на то, что подвижность цинка в песчаной почве должна быть значительно выше, благодаря более легкому гранулометрическому составу и очень низкому содержанию органического вещества. Возможно, дополнительное поступление в песчаную почву цинка, компенсирует ее природную бедность этим микроэлементом и стимулирует биологические процессы в почве.

Были построены ряды экотоксичности Cd, Zn, Se по отношению к почвам аридных экосистем Юга России в зависимости от снижения ИПБС исследованных почв: Cd (53) \geq Se (54) > Zn (84) — если единицей измерения содержания элемента в почве является мг/кг; Se (54) \geq Zn (56) > Cd (72) — ПДК; Se (31) > Cd (72) > Zn (78) — моль/кг. Аналогичные последовательности были получены в предыдущих исследованиях с другими почвами Юга России (Колесников и др., 2010).

4. 2. УСТОЙЧИВОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА РОССИИ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ НЕФТЬЮ, БЕНЗИНОМ И МАЗУТОМ ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

По результатам исследования установлено, что загрязнение почв аридных экосистем Юга России нефтяными углеводородами (нефтью, мазутом и бензином)

приводит к ухудшению состояния почв. В таблице 3 в качестве примера приведены данные о влиянии на биологические свойства почв аридных экосистем Юга России загрязнения нефтью. Результаты воздействия загрязнения бензином и мазутом представлены в диссертационной работе.

Аридные почвы Юга России образуют следующие последовательность по их устойчивости к загрязнению нефтяными углеводородами (в скобках представлены значения ИПБС загрязненных почв (%), усредненные по трем дозам; ИПБС незагрязненных почв — контроль — принят за 100%):

При загрязнении нефтью (рис. 2-А): черноземы обыкновенные (74) \geq темно-каштановые почвы (70) \geq каштановые почвы (68) \geq светло-каштановые почвы (64) $>$ песчаные почвы (56) \geq бурые полупустынные почвы (52) $>$ солонцы полупустынные (44) $>$ солончаки гидроморфные (40).

При загрязнении бензином (рис. 2-Б): черноземы обыкновенные (61) $>$ каштановые почвы (55) $>$ темно-каштановые почвы (50) \geq светло-каштановые почвы (47) \geq песчаные почвы (44) \geq бурые полупустынные почвы (41) $>$ солонцы полупустынные (43) $>$ солончаки гидроморфные (32).

При загрязнении мазутом (рис. 2-В): черноземы обыкновенные (65) \geq темно-каштановые почвы (62) $>$ каштановые почвы (54) \geq светло-каштановые почвы (51) \geq бурые полупустынные почвы (50) \geq песчаные почвы (46) $>$ солонцы полупустынные (41) $>$ солончаки гидроморфные (40).

Экотоксичность нефтяных углеводородов для почвы объясняют, в наибольшей степени, обволакиванием нефтяными углеводородами почвенных частиц. Это нарушает водно-физические свойства почвы, в частности, влаго- и воздухообмен, что ведет к угнетению почвенной биоты. Кроме того, в нефти и нефтепродуктах содержатся тяжелые металлы, ароматические углеводороды, фенолы и другие токсичные для живых организмы вещества. Значительное увеличение соотношения в почве C:N при попадании в нее нефтяных углеводородов также тормозит микробиологическую активность.

По степени устойчивости к загрязнению нефтью, бензином и мазутом почв аридных экосистем Юга России образуют следующий обобщенный ряд: чернозем обыкновенный (67) $>$ темно-каштановая (61) \geq каштановая (59) \geq светло-каштановая (54) $>$ песчаная (49) \geq бурая полупустынная (48) $>$ солонец полупустынный корковый (43) $>$ солончак гидроморфный соровый (37).

Установленная последовательность объясняется свойствами исследованных почв, прежде всего, степенью оструктуренности и уровнем биологической активности (табл. 1). Чем лучше оструктуренность и выше биологическая активность, тем быстрее разлагается нефть в почве и меньше негативное воздействие на свойства почвы.

Таким образом, большую буферную способность к загрязнению мазутом проявили темно-каштановая и каштановая почвы, меньшую — светло-каштановая и, наименьшую — солонец полупустынный корковый и солончак гидроморфный соровый почвы.

Ряд экотоксичности нефти и нефтепродуктов по степени негативного воздействия на почвам аридных экосистем Юга России (в среднем в зависимости от снижения ИПБС

исследованных почв): бензин (50) > мазут (55) > нефть (64). Поскольку устойчивость наземных экосистем к химическому загрязнению практически полностью зависит от устойчивости почвы, то по степени устойчивости к загрязнению кадмием, цинком, селеном, нефтью, бензином, мазутом, окситетрациклином, имидором аридные экосистемы Юга России образуют следующий ряд: настоящие степи \geq сухие степи \geq полупустыни \geq песчаные ландшафты \geq солонцы = солончаки. Представленный ряд очень условный и зависит от конкретной почвы в экосистеме.

Таблица 3

Изменение биологических свойств почв аридных экосистем Юга России при загрязнении нефтью

Доза нефти	Почва							
	Чернозем обыкновенный	Темно- каштановая	Каштановая	Светло- каштановая	Бурая полупустынная	Бурая полупустынная песчаная	Солончак гидроморфный сорový	Солонец полупустынный корковый
Численность бактерий, млрд/г								
Контроль	5,3	5,5	5,3	5,5	2,8	2,5	3,3	5,1
(1 %)	3,9	5,4	5,2	5,3	2,5	2,1	1,2	1,8
(5 %)	3,2	4,3	4,3	4,3	1,4	2,0	0,9	1,3
(10 %)	3,0	3,5	3,6	2,3	0,4	1,4	0,6	0,9
<i>HCP₀₅</i>	0,6	0,7	0,7	0,7	0,3	0,3	0,2	0,3
Обилие бактерий рода <i>Azotobacter</i> , % от контроля								
Контроль	100	100	100	100	100	100	100	100
(1 %)	100	100	100	100	95	99	57	80
(5 %)	98	97	92	76	70	90	21	55
(10 %)	92	98	97	86	69	79	12	51
<i>HCP₀₅</i>	11	11	13	12	11	12	5	8
Активность каталазы, мл O ₂ на 1 г почвы за 1 мин								
Контроль	15,9	14,3	14,9	11,5	6,4	3,3	5,8	7,8
(1 %)	14,4	11,7	12,7	11,1	5,0	3,2	6,2	5,7
(5 %)	12,0	5,3	11,1	5,2	2,9	1,9	4,1	4,7
(10 %)	7,7	4,7	6,0	4,6	2,2	1,6	2,6	3,3
<i>HCP₀₅</i>	1,6	1,2	1,5	1,1	0,5	0,3	0,6	0,7
Активность дегидрогеназ, мг ТТФ на 1 г почвы за 24 часа								
Контроль	26,0	21,6	21,8	20,1	19,6	17,4	15,5	13,4
(1 %)	25,3	20,1	21,5	19,5	19,5	16,0	15,2	11,8
(5 %)	25,0	20,8	20,7	20,3	17,8	12,7	8,4	10,0
(10 %)	24,7	19,8	18,0	18,0	7,1	10,2	1,8	8,3
<i>HCP₀₅</i>	3,8	3,1	3,1	2,9	2,4	2,1	1,5	1,6
Длина корней редиса (фитотоксичность), % от контроля								
Контроль	100	100	100	100	100	100	0	100
(1 %)	99	90	88	85	74	49	0	34
(5 %)	76	59	40	39	38	22	0	32
(10 %)	58	48	31	30	27	11	0	18
<i>HCP₀₅</i>	21	19	16	16	15	11	0	6
Интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС), % от контроля								
Контроль	100	100	100	100	100	100	100	100
(1 %)	93	90	87	86	76	73	67	58
(5 %)	71	63	65	57	49	54	35	42
(10 %)	58	56	53	48	30	42	17	32

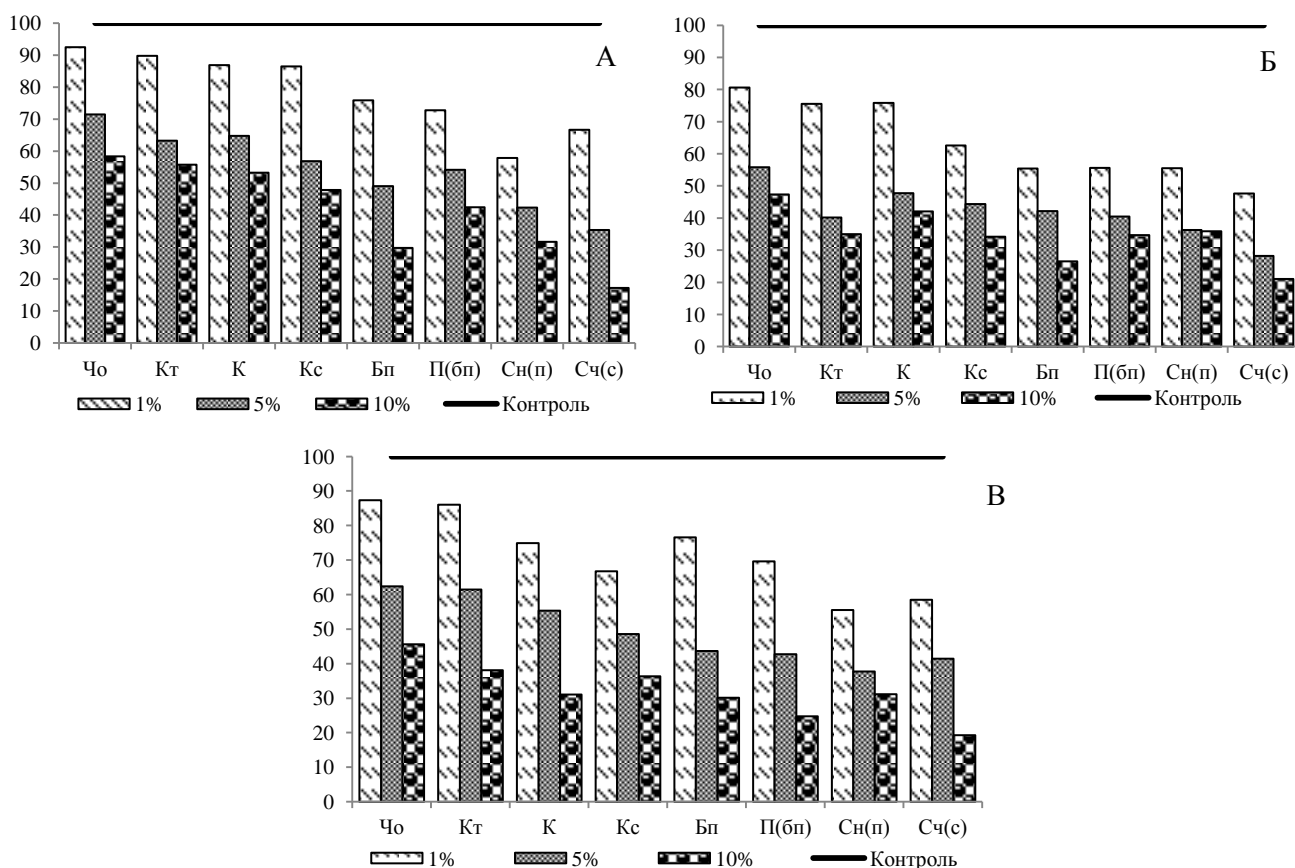


Рис.2. Устойчивость биологических свойств почв аридных экосистем Юга России к загрязнению нефтью(А), бензином(Б), мазутом(В) (по степени снижения ИПБС, % от контроля). Условные обозначения: см. рис. 1.

4.3. УСТОЙЧИВОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА РОССИИ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ АНТИБИОТИКОМ (ОКСИТЕТРАЦИКЛИН) ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Загрязнение почв аридных экосистем Юга России окситетрациклином приводит к ухудшению их состояния. Как правило, наблюдалась прямая зависимость между концентрацией в почве загрязняющего вещества и степенью снижения биологических показателей. Максимальное снижение обнаружено при концентрации 1000 мг/ кг для всех исследуемых почв.

Почвы аридных экосистем Юга России образуют следующий ряд по степени ухудшения биологических свойств при загрязнении окситетрациклином (ряд усреднен по дозам загрязняющего вещества): черноземы обыкновенные (76) = темно-каштановые почвы (76) ≥ светло-каштановые почвы (73) ≥ каштановые почвы (72) > бурые полупустынные почвы (61) ≥ песчаные почвы (60) > солонцы полупустынные (55) > солончаки гидроморфные (48).

4.4. УСТОЙЧИВОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ АРИДНЫХ ЭКОСИСТЕМ ЮГА РОССИИ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ ПЕСТИЦИДОМ (ИМИДОР) ПО БИОЛОГИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

Загрязнение почв аридных экосистем Юга России имидазом приводит к ухудшению их состояния. При загрязнении имидазом почвы аридных экосистем Юга России образуют следующий ряд по степени угнетения биологических свойств (ряд

усреднен по дозам имидора): каштановые почвы (84) > бурые полупустынные песчаные почвы (64).

4.5. РАЗРАБОТКА РЕГИОНАЛЬНЫХ НОРМАТИВОВ ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМОГО КОЛИЧЕСТВА ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ В АРИДНЫХ ПОЧВАХ ЮГА РОССИИ

Проведенное исследование позволило предложить региональные нормативы предельно допустимого содержания кадмия в аридных почвах Юга России на основе нарушения экологических и сельскохозяйственных функций почв.

В работе С. И. Колесникова с соавторами (2002) было показано, что нарушение экологических функций почвы происходит в определенной очередности. В качестве индикатора нарушения той или иной группы экосистемных функций почвы хорошо зарекомендовал себя интегральный показатель биологического состояния почвы. Как было установлено ранее, при снижении ИПБС менее чем на 5 %, нарушения экосистемных функций почвы не происходит. Уменьшение значений ИПБС на 5-10% диагностирует нарушение информационных функций, на 10-25 % — биохимических, физико-химических, химических и целостных, более чем на 25 % — физических (Колесников и др., 2002).

Для расчета концентраций загрязняющего вещества, вызывающего снижение ИПБС почвы в той или иной степени, были рассчитаны уравнения регрессии, описывающие зависимость снижения значений ИПБС от содержания в почве поллютанта. Уравнения регрессии позволяют рассчитать концентрации поллютанта, вызывающие нарушение тех или иных групп экосистемных функций почвы (табл. 4).

Целью экологического нормирования является предотвращение нарушения основных экосистемных функций почвы. Следовательно, снижение ИПБС более чем на 10%, свидетельствует о серьезных нарушениях в функционировании почвы. Таким образом, концентрация загрязняющего почву вещества, которая вызывает снижение ИПБС почвы на 10%, может считаться рПДК этого вещества в этой почве, превышение которой недопустимо.

Таблица 4

Схема экологического нормирования загрязнения аридных почв Юга России по степени нарушения экосистемных функций

Почвы ¹	Не загрязненные	Слабо-загрязненные	Средне-загрязненные	Сильно-загрязненные
Степень снижения интегрального показателя ²	< 5 %	5 – 10 %	10 – 25 %	> 25 %
Нарушаемые экологические функции ³	–	Информационные	Химические, физико-химические, биохимические; целостные	Физические
Почва	Содержание кадмия в почве, мг/кг			
Чо	< 1,3	1,3 – 3,0	3,0 – 50,0	> 50,0
Кт	< 1,3	1,3 – 3,0	3,0 – 40,0	> 40,0
К	< 1,1	1,1 – 2,4	2,4 – 30,0	> 30,0
Кс	< 1,0	1,0 – 1,9	1,9 – 14,0	> 14,0

Бп	< 1,0	1,0 – 1,6	1,6 – 6,0	> 6,0
Пбп	< 0,79	0,79 – 1,1	1,1 – 4,0	> 4,0
Сч	< 0,73	0,73 – 1,0	1,0 – 3,0	> 3,0
Сн	< 0,55	0,55 – 0,80	0,80 – 2,7	> 2,7
Почва	Содержание нефти в почве, %			
Чо	< 0,3	0,3 – 0,50	0,50 – 2,30	> 2,30
Кт	< 0,24	0,24 – 0,40	0,40 – 1,50	> 1,50
К	< 0,22	0,22 – 0,30	0,30 – 1,40	> 1,40
Кс	< 0,2	0,2 – 0,30	0,30 – 0,90	> 0,90
Бп	< 0,19	0,19 – 0,25	0,25 – 0,50	> 0,50
Пбп	< 0,16	0,16 – 0,20	0,20 – 0,60	> 0,60
Сч	< 0,18	0,18 – 0,20	0,20 – 0,35	> 0,35
Сн	< 0,12	0,12 – 0,15	0,15 – 0,35	> 0,35
Почва	Содержание окситетрациклина в почве, мг/кг			
Чо	< 0,36	0,36 – 0,96	0,96 – 27,20	> 27,20
Кт	< 0,39	0,39 – 1,04	1,04 – 29,16	> 29,16
К	< 0,44	0,44 – 0,92	0,92 – 10,61	> 10,61
Кс	< 0,49	0,49 – 1,00	1,00 – 11,29	> 11,29
Бп	< 0,12	0,12 – 0,23	0,23 – 2,13	> 2,13
Пбп	< 0,21	0,21 – 0,31	0,31 – 2,12	> 2,12
Сч	< 0,01	0,01 – 0,02	0,02 – 0,20	> 0,20
Сн	< 0,22	0,22 – 0,35	0,35 – 1,51	> 1,51

Примечание:

1. Классификация почв по С. И. Колесникову с соавт. (2002).
2. Определение интегрального показателя ИПБС по S.I. Kolesnikov et al. (2019).
3. Классификация экологических функций по Г. В. Добровольскому и Е. Д. Никитину (1990).

Как видно из табл. 4, региональная ПДК кадмия в черноземах обыкновенных и темно-каштановых почвах составляет 3,0 мг/кг кадмия в почве, солончаках— 1,0 мг/кг, солонцах— 0,8 мг/кг. Региональная ПДК нефти в черноземах обыкновенных составляет 0,50 %, темно-каштановых почвах — 0,40 %, солонцах— 0,15 %. Разработанные рПДК могут быть использованы не только для аридных почв Юга России, но и для аналогичных аридных почв других регионов мира.

4.6. СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА УСТОЙЧИВОСТИ ПАХОТНЫХ И ЦЕЛИННЫХ АРИДНЫХ ПОЧВ К ЗАГРЯЗНЕНИЮ НЕФТЮ

В работе дана сравнительная оценка устойчивости пахотных и целинных почв Юга России (черноземов обыкновенных, темно-каштановых, каштановых и светло-каштановых почв) к загрязнению нефтью по биологическим показателям табл(5). В результате исследования было установлено, что нет достоверных различий в устойчивости к загрязнению нефтью пахотных и целинных черноземов и каштановых почв. Сравнение степени снижения ИПБС почв, усредненных по трем дозам нефти в почве, дало следующие результаты: чернозем обыкновенный: пашня (84) = целина (84); темно-каштановая почва пашня (80) = целина (80); каштановая почва пашня (75) = целина (74); светло-каштановая почва пашня (73) = целина (71). Отсутствие значимых различий объясняется тем, что при распашке черноземов и каштановых почв основные эколого-генетические свойства этих почв, в том числе определяющие устойчивость к загрязнению нефтью, такие как оструктуренность, биологическая активность, окислительно-восстановительный потенциал, изменяются не существенно (табл. 1).

Таблица 5

Сравнительная оценка устойчивости пахотной и целинной аридных почв Юга России к загрязнению нефтью (пашня/ целина/ HCP_{05})

Численность бактерий, млрд/г				
Почва	Контроль	1%	5%	10%
Чо	4,9/5,3/0,6	4,8/5,2/0,6	4,3/4,4/0,7	2,8/3,0/0,5
Кт	4,8/5,2/0,6	4,4/5,1/0,6*	2,9/3,4/0,5	2,9/2,9/0,5
К	4,9/5,1/0,6	4,3/4,7/0,6	3,6/3,0/0,5*	2,3/2,6/0,4
Кс	4,7/5,1/0,6	4,2/4,2/0,6	2,7/3,1/0,4	2,5/2,7/0,4
Активность каталазы, мл O_2 на 1 г почвы за 1 мин				
Почва	Контроль	1%	5%	10%
Чо	14,8/14,9/1,6	13,2/13,7/1,5	12,7/12,3/1,7	7,9/7,6/1,3
Кт	14,0/14,3/1,6	12,9/13,7/1,5	10,9/9,8/1,4	5,5/5,7/0,9
К	11,7/13,2/1,4*	10,2/11,9/1,2*	8,0/9,2/1,2*	4,8/5,0/0,8
Кс	10,4/11,6/1,2	9,3/10,4/1,1	5,9/6,8/0,9	3,7/4,3/0,7
Интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС), % от контроля				
Почва	Контроль	1%	5%	10%
Чо	100/100	98/98	90/87	65/66
Кт	100/100	93/97	79/79	68/65
К	100/100	91/93	77/71	58/57
Кс	100/100	92/87	69/68	57/57

* — различия статистически достоверны

Отсутствие достоверных отличий в устойчивости пахотных и целинных черноземов и каштановых почв к загрязнению нефтью, делает возможным использование единой рПДК нефти для целинных и пахотных аналогов. Необходимо отметить, что для типов почв, распашка которых существенным образом изменяет из эколого-генетические свойства, определяющие устойчивость почвы к нефтяному загрязнению, такие как подзолистые или бурые лесные почвы, вероятно будет получена иная картина: устойчивость пахотных и целинных аналогов будет различаться, что потребует разработки более одной рПДК.

4.7. ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВ ЮГА РОССИИ

Все использованные в работе биологические показатели отличаются высокими информативностью и чувствительностью, достаточной воспроизводимостью, допустимым варьированием, небольшой ошибкой опыта, простотой, малой трудоемкостью и высокой скоростью методов определения, широкой распространенностью методов и т. д.

По степени информативности исследованные биологические показатели располагаются нижеуказанным образом. При загрязнении Cd, Zn, Se (в среднем): целлюлозолитическая способность \geq обилие бактерий рода *Azotobacter* \geq активность каталазы \geq длина корней (фитотоксичность) \geq численность бактерий \geq активность дегидрогеназ. При загрязнении нефтью и нефтепродуктами (в среднем): обилие бактерий рода *Azotobacter* = активность дегидрогеназ \geq численность бактерий \geq длина корней (фитотоксичность) \geq активность каталазы \geq целлюлозолитическая способность. При загрязнении окситетрациклином: активность дегидрогеназ \geq активность каталазы $>$ длина корней (фитотоксичность) $>$ обилие бактерий рода *Azotobacter* $>$ численность

бактерий. При загрязнении имидором: активность дегидрогеназ \geq длина корней (фитотоксичность) $>$ обилие бактерий рода *Azotobacter* $>$ активность каталазы \geq численность бактерий.

По степени чувствительности (по степени снижения значений) к загрязнению Cd, Zn, Se в целом исследованные биологические показатели располагаются следующим образом: длина корней (фитотоксичность) $>$ целлюлозолитическая способность \geq численность бактерий $>$ активность дегидрогеназ $>$ активность каталазы \geq обилие бактерий рода *Azotobacter*. По отношению к загрязнению нефтью и нефтепродуктами (в среднем): целлюлозолитическая способность $>$ длина корней (фитотоксичность) $>$ численность бактерий $>$ активность каталазы $>$ активность дегидрогеназы $>$ обилие бактерий рода *Azotobacter*. По отношению к загрязнению окситетрациклином: обилие бактерий рода *Azotobacter* \geq численность бактерий $>$ длина корней (фитотоксичность) $>$ активность каталазы \geq активность дегидрогеназ. По отношению к загрязнению имидором: численность бактерий $>$ обилие бактерий рода *Azotobacter* $>$ длина корней (фитотоксичность) $>$ активность каталазы \geq активность дегидрогеназ.

4.8. РАЗРАБОТКА ПРОГНОЗНЫХ КАРТОСХЕМА СТЕПЕНИ УХУДШЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АРИДНЫХ ПОЧВ ЮГА РОССИИ ПРИ ХИМИЧЕСКОМ ЗАГРЯЗНЕНИИ

По результатам исследования разработаны прогнозные картосхемы ухудшения биологического состояния аридных почв Юга России при их загрязнении разными дозами кадмия, цинка, селена, нефти, мазута, бензина, окситетрациклина и имидора.

В качестве примера на рис. 4 представлена прогнозная картосхема ухудшения биологического состояния аридных почв Юга России в случае их загрязнения 1, 5 и 10% нефти.

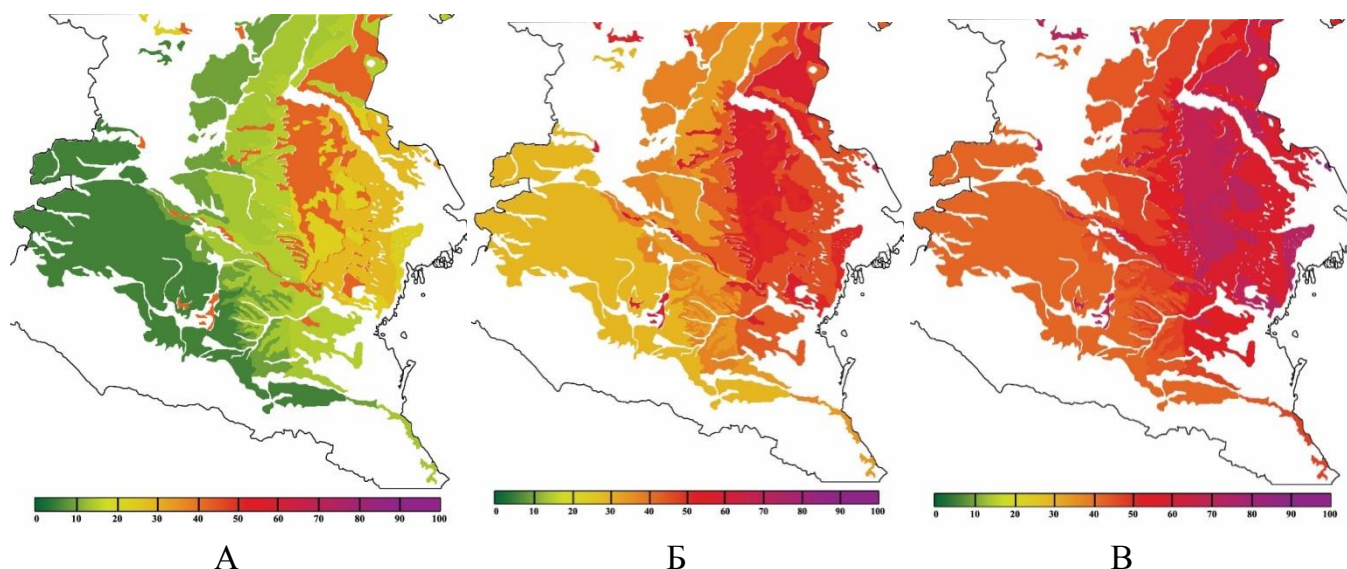


Рис. 4. Прогнозная картосхема степени ухудшения биологического состояния (в %) аридных почв Юга России в случае их загрязнения:
А — 1 %, Б — 5%, В — 10% нефти

ВЫВОДЫ

1. Загрязнение аридных почв Юга России кадмием и цинком (тяжелые металлы), селеном (неметалл), нефтью, бензином (легкая фракция нефти), мазутом (тяжелая фракция нефти), окситетрациклином (антибиотик) и имидором (пестицид) ведет к ухудшению их биологического состояния: снижается общая численность бактерий, активность каталазы и дегидрогеназ, целлюлозолитическая способность, обилие бактерий рода *Azotobacter*, интенсивность начального роста растений. Степень негативного воздействия зависит от природы поллютанта и его концентрации в почве. По степени экотоксичности (степени снижения ИПБС) для почв аридных экосистем Юга России исследованные поллютанты образуют следующие ряды: Cd (53) \geq Se (54) > Zn (84) — мг/кг; бензин (50) > мазут (55) > нефть (64) — %.
2. Почвы аридных экосистем Юга России по степени устойчивости биологических свойств к загрязнению Cd, Zn, Se образуют следующий ряд: черноземы обыкновенные (79-64), темно-каштановые (78-59), каштановые (77-56), светло-каштановые (73-53) \geq бурые полупустынные (65-49) \geq песчаные бурые полупустынные (58-46), солончаки гидроморфные (57-41), солонцы полупустынные (54-35); нефтью, мазутом и бензином: черноземы обыкновенные (74-61) > темно-каштановые (70-55), каштановые (68-54), светло-каштановые (64-47) \geq песчаные бурые полупустынные (56-44), бурые полупустынные (52-41) \geq солонцы полупустынные (44-41) \geq солончаки гидроморфные (40-32); окситетрациклином: черноземы обыкновенные и темно-каштановые почвы (76) \geq светло-каштановые (73) и каштановые (72) > бурые полупустынные (61) и песчаные бурые полупустынные (60) > солонцы полупустынные (55) > солончаки гидроморфные (48); имидором: каштановые (84) > песчаные бурые полупустынные (64). Почвы разделены на группы по степени устойчивости. В скобках представлены значения ИПБС загрязненных почв (%), усредненные для трех доз. ИПБС незагрязненных почв (контроль) принят за 100%.
3. Устойчивость исследованных почв к загрязнению Cd, Zn, Se определяется, главным образом, гранулометрическим составом и реакцией почвенной среды, и в меньшей степени содержанием гумуса, а к загрязнению нефтяными углеводородами — степенью оструктуренности и биологической активностью.
4. Все использованные в исследовании биологические показатели (численность бактерий, обилие бактерий рода *Azotobacter*, активность каталазы и дегидрогеназ, целлюлозолитическая способность, длина корней редиса) отличаются высокой чувствительностью и высокой информативностью к загрязнению кадмием, цинком, селеном, нефтью, бензином, мазутом, окситетрациклином, имидором. Все они рекомендуются к использованию в целях биомониторинга, биодиагностики и нормирования загрязнения аридных почв Юга России. При этом чувствительность и информативность исследованных биологических показателей сильно зависят от природы поллютанта.

5. Наиболее чувствительным из исследованных биологических показателей при загрязнении аридных почв Юга России Cd, Zn, Se является длина корней редиса, наименее чувствительным — обилие бактерий рода *Azotobacter*; при загрязнении нефтью, мазутом и бензином наиболее чувствительным — целлюлозолитическая активность, наименее чувствительным обилие бактерий рода *Azotobacter*; при загрязнении окситетрациклином и имидором наиболее чувствительными — обилие бактерий рода *Azotobacter* и численность бактерий, наименее чувствительным — активность дегидрогеназ.
6. Наиболее информативным показателем при загрязнении аридных почв Юга России Cd, Zn, Se является целлюлозолитическая активность, наименее информативным — активность дегидрогеназ; при загрязнении нефтью, мазутом и бензином наиболее информативным является обилие бактерий рода *Azotobacter*, наименее информативным — целлюлозолитическая активность; при загрязнении окситетрациклином и имидором наиболее информативным — активность дегидрогеназ, наименее информативным — численность бактерий.
7. Разработаны региональные предельно допустимые концентрации (рПДК) кадмия, цинка, селена, нефти, бензина, мазута, окситетрациклина и имидора в аридных почвах Юга России на основе нарушения их экологических функций. Так ПДК кадмия для черноземов обыкновенных и темно-каштановых почв составляет 3,0 мг/кг кадмия в почве, каштановых — 2,4 мг/кг, светло-каштановых — 1,9 мг/кг, бурых полупустынных — 1,6 мг/кг, песчаных бурых полупустынных — 1,1 мг/кг.
8. Достоверной разницы в устойчивости пахотных и целинных черноземов, темно-каштановых, каштановых и светло-каштановых почв к загрязнению нефтью не установлено. Схожая степень устойчивости пахотных и целинных черноземов и каштановых почв к загрязнению нефтью делает возможным использование единой рПДК нефти для целинных и пахотных почвенных аналогов этих типов почв.
9. Разработанные прогнозные картосхемы ухудшения биологического состояния аридных почв Юга России при их загрязнении кадмием, цинком, селеном, нефтью, бензином, мазутом, окситетрациклином, имидором могут быть использованы при прогнозировании степени ухудшения эколого-биологического состояния почв в той или иной степени при их загрязнении тем или иным количеством исследованного поллютанта.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

По теме диссертационной работы опубликована 21 научная работа.

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и/или Web of Science

1. Daoud R., Kolesnikov S., Kuzina A., Kaseev K., Akimenko Y. Development of Regional Maximum Permissible Concentrations of Oil in the Soils of Arid Ecosystems in the South of Russia // Ecology and Industry of Russia. 2019;23(9):66-71. (In Russ.) <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2019-9-66-71>.
2. Daoud R. M., Kolesnikov S. I., Kazeev K. Sh. Development of Ecological Regional Maximum Permissible Concentrations of Fuel Oil in Arid Soils of South of Russia // Indian Journal of Ecology (2019) 46(4): 740-744.

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в Перечни рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК

3. Дауд Р. М., Колесников С.И., Кузина А.А., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние модельного загрязнения селеном на биологические свойства аридных почв Юга России // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2019. № 2 (202). С. 90-96. DOI 10.23683/0321-3005-2019-2-90-96.
4. Колесников С.И., Дауд Р.М., Кузина А.А., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Региональные нормативы содержания мазута в аридных почвах Юга России // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2019. № 3 (288). С. 25-29. DOI: 10.33285/2411-7013-2019-3(288)-25-29

Статьи и тезисы в других изданиях:

5. Kolesnikov S.I., Daoud R.M., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. The Impact of The Pollution By Zink On The Enzymatic Activity Of The Soil Of Arid Ecosystems In The South Of Russia // Intrenational multidisciplinary scientific geoconference SGEM2018. 3.2(18), P.558-566. DOI: 10.5593/sgem2018/3.2/S13.073.
6. Daoud R.M., Astanina E.A., Korostylev N.V., Dolovova E., Shishko N.Y., Medvedeva A.A., Bonadareva Y.S., Kolesnikov S.I. Influence Of Oil Contamination On The Catalase Activity Of The Soil Of Arid Ecosystems In The South Of Russia // Conference Proceedings of II International scientific conference devoted to the 140-anniversary of Sergey Alexandrovich Zaharov, «Modern State of Chernozems» and International School-Seminar for Young Scientists "The Role of Soil in Global Climate Change, Biomedicine and Forensic Expertise", 24–28 of September 2018. In two volumes. – Rostov-on-Don; Taganrog: Publishing house of southern Federal University, 2018. С. 359-360.
7. Дауд Р. М., Минникова Т.В., Астанина Е.А., Колесников С.И. Влияние загрязнения цинком на активность каталазы почв аридных экосистем Юга России // Экология и биология почв: материалы молодежной научной школы и научной конференции с международным участием / Южный федеральный университет; [отв. ред. К. Ш. Казеев]. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2017. С.52-55.
8. Дауд Р.М., Влияние загрязнения кадмием на активность каталазы почв аридных экосистем Юга России / ЛОМОНОСОВ-2018: XXV Международная научная

- конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Секция «Почвоведение»: 9–13 апреля 2018 г. Тезисы докладов / Сост. Л. А. Поздняков. – Москва: МАКС Пресс, 2018. – С. 141-142.
9. Дауд Р. М., Астанина Е.А., Коростылев Н. В., Доловова Е.С., Колесников С. И. Влияние загрязнения кадмием на активность дегидрогеназ почв аридных экосистем Юга России / 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. 28-30.
 10. Дауд Р.М., Астанина Е.А., Коростылев Н.В., Доловова Е.С., Колесников С.И. Влияние модельного загрязнения нефтью на активность каталазы почв аридных экосистем Юга России / Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов II Международной (XV Региональной) научной конференции / Под общ. ред. А.А. Удаловой. – Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ, 19–20 апреля 2018. С. 188-190.
 11. Дауд Р. М., Колесников С. И. Изменение Активности Дегидрогеназ Аридных Почв Юга России. При Загрязнении Кадмием / V Межрегиональной Научно-Практической Студенческой Конференции «Экология и Здоровье». Ростов-на-Дону, 11 мая 2018. С. 28-31.
 12. Дауд Р. М., Астанина Е.А., Шишко Н.Ю., Медведева А. А., Бонадарева Ю.С., Колесников С. И. Влияние загрязнения нефтью на фитотоксичность почв аридных экосистем Юга России. Сборник материалов Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию Института почвоведения и агрохимии СО РАН. 10–14 сентября 2018 г., г. Новосибирск / отв. ред. А.И. Сысо. – Томск: Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – Ч. I. – С. 219-221.
 13. Дауд Р. М., Шишко Н. Ю., Медведева А. А., Бонадарева Ю. С., Колесников С. И. Использование фитотоксичности как биологического показателя для оценки устойчивости почв аридных экосистем Юга России при загрязнении мазутом // Теоретические и технологические основы биогеохимических потоков веществ в агроландшафтах: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, приуроченной к 65-летию кафедры агрохимии и физиологии растений Ставропольского государственного аграрного университета. – Ставрополь: СЕКВОЙЯ, 2018. С.452-454.
 14. Дауд Р.М., Колесников С.И. Влияние модельного загрязнения нефтью на активность дегидрогеназы почв аридных экосистем Юга России // Системы обеспечения техносферной безопасности: материалы V Всероссийской конференции и школы для молодых ученых (с международным участием), Таганрог: ЮФУ, 2018, С.284-286.
 15. Дауд Р. М., Колесников С. И. Влияние загрязнения бензином на фитотоксичность почв аридных экосистем Юга России // Актуальные проблемы экологии и природопользования: Сборник материалов / отв. ред. К. Ш. Казеев; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону – Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018. С.29-31.
 16. Дауд Р. М. Влияние загрязнения селеном на численности бактерий в почвах аридных экосистем Юга России // Экология и природопользование: Тематический сборник. Вып. 16, Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. С.21-23.

17. Дауд Р. М., Кузина А. А., Колесников С. И. Влияние загрязнения селеном на фитотоксичность почв аридных экосистем Юга России // Отходы, причины их образования и перспективы использования: сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч. экол. конф. / сост. Л. С. Новопольцева; под ред. И. С. Белюченко. – Краснодар: КубГАУ, 2019 – С.193-195.
18. Дауд Р.М. Оценка изменения численности бактерий в почвах аридных экосистем Юга России при загрязнении мазутом // ЛОМОНОСОВ-2019: XXVI Международная научная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Секция «Почвоведение»: 8–12 апреля 2019 г. Тезисы докладов / Сост. Л.А. Поздняков. – Москва: МАКС Пресс, 2019. – С. 20 -21.
19. Дауд Р. Влияние загрязнения бензином на фитотоксичность почв аридных экосистем Юга России // Актуальные вопросы экологии и природопользования: сборник материалов / отв. ред. К.Ш. Казеев; Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – С. 40-42.
20. Дауд Р. М., Колесников С. И., Минникова Т.В., Дмитриев П. А. Влияние загрязнения аридных почв Юга Европейской части России кадмием на показатели фитотоксичности почв // Свидетельство о регистрации электронного ресурса №2019622057 от 13.11.2019.
21. Дауд Р. М. Влияние загрязнения цинком на активность дегидрогеназ почв аридных экосистем Юга России // Экология и природопользование: Тематический сборник. Вып. 17; Южный федеральный университет / [отв. ред. К.Ш. Казеев]. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2020. С. 18-20.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ТМ — тяжелые металлы
 ПДК — предельно допустимая концентрация
 рПДК — региональная предельно допустимая концентрация
 НСР — наименьшая существенная разность
 ИПБС — интегральный показатель биологического состояния
 Чо — черноземы обыкновенные
 Кт — темно-каштановые
 К — каштановые
 Кс — светло-каштановые
 Бп — бурые полупустынные
 П(бп) — песчаные бурые полупустынные
 Сн(п) — солонец полупустынный корковый
 Сч(с) — солончак гидроморфный сорový