

Обзорная статья
УДК 504.064.2.001.18
DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-23-34

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ

Людмила Зачиевна Шекихачева

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова, пр. Ленина, 1в, Нальчик, Россия, 360030, sh-ludmila-z@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5987-1500>

Аннотация. В статье обосновываются методические подходы, применяемые для оценки экологического состояния одной из наиболее уязвимых природных объектов при интенсивной хозяйственной деятельности – почвы, которая постоянно находится под физическими и химическими (техногенными) нагрузками и несбалансированных систем земледелия. Анализ состояния проблемы показал, что еще несколько десятков лет назад среднее содержание гумуса в почвах составляло 4,2%, на сегодняшний день, – всего 3,2%. Основными причинами потери гумуса является его минерализация, дефицит поступления в почву органического вещества, водная и ветровая эрозия. Значительно ухудшились физико-механические показатели почвы, а с ними водно-воздушные и тепловые свойства. Основываясь на том, что главной задачей современного земледелия является повышение плодородия почв, благодаря внедрению энерго- и ресурсосберегающих технологий, показано, что основной составляющей методологической основы оценки экологического состояния почвы служит система показателей контроля, выбор которых обусловлен необходимостью адекватной характеристики основных функций почвы, почвообразующих или почворазрушающих процессов. Сформулированы основные требования к показателям биологической активности почвы. На основании результатов исследований, базирующихся на анализе методов оценки экологического состояния почв, агроэкологическом мониторинге, предполагающем изучение и обобщение статистических материалов для условий Кабардино-Балкарской республики, установлено, что перспективными направлениями оценки экологического состояния почв являются: проведение комплексной оценки почвы как полифункциональной биокосной системы с учетом влияния на него загрязнения различной природы; комбинация в способах разных методов; применение функционально-экологического подхода; адаптированность способов к определенным почвенно-климатическим условиям территорий и конкретным типам почвы; разработка способов, которые имеют эколого-экономический эффект.

Ключевые слова: сельскохозяйственное производство, почва, экология, земледелие, технология, оценка, состояние

Для цитирования. Шекихачева Л.З. Методические подходы к оценке экологического состояния почвы // Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова. 2022. 1(35). С. 23–34. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-23-34

Review Article

METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE SOIL

Ludmila Z. Shekikhacheva

Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Lenin Avenue, 1v, Nalchik, Russia, 360030, sh-ludmila-z@mail.ru, <http://orcid.org/0000-0002-5987-1500>

© Шекихачева Л.З., 2022

Abstract. The article substantiates the methodological approaches used to assess the ecological state of one of the most vulnerable natural objects under intensive economic activity - the soil, which is constantly under physical and chemical (technogenic) loads and unbalanced farming systems. An analysis of the state of the problem showed that a few decades ago, the average content of humus in soils was 4,2%, today it is only 3,2%. The main reasons for the loss of humus are its mineralization, the lack of organic matter entering the soil, and water and wind erosion. The physical and mechanical properties of the soil significantly worsened, and with them the water-air and thermal properties worsened too. Based on the fact that the main task of modern agriculture is to increase soil fertility, thanks to the introduction of energy and resource-saving technologies, it is shown that the main component of the methodological basis for assessing the ecological state of the soil is a system of control indicators, the choice of which is due to the need to adequately characterize the main functions of the soil, soil-forming or soil-destroying processes. The basic requirements for indicators of soil biological activity are formulated. According to the results of studies based on the analysis of methods for assessing the ecological state of soils, agroecological monitoring, which involves the study and generalization of statistical materials for the conditions of the Kabardino-Balkarian Republic, it has been established that promising directions for assessing the ecological state of soils are: taking into account the influence of pollution of various nature on it; combination in the ways of different methods; application of functional-ecological approach; adaptation of methods to certain soil and climatic conditions of territories and specific types of soil; development of methods that have an environmental and economic effect.

Keywords: agricultural production, soil, ecology, agriculture, technology, assessment, state

For citation. Shekikhacheva L.Z. Methodological approaches to assessing the ecological state of the soil. *Izvestiya of Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov* [Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov]. 2022;1(35):23–34. DOI: 10.55196/2411-3492-2022-1-35-23-34

Введение. Все большее антропогенное влияние на экосистемы требует новых эффективных методов их мониторинга и диагностики состояния объектов окружающей среды.

Мировая практика свидетельствует о перспективности использования биологических объектов в выявлении антропогенно и техногенно обусловленной деградации природных и трансформированных экосистем, установлении долгосрочных тенденций их изменений и буферной способности биологических систем относительно факторов различной природы [1–4]. В последнее время, разрабатывая подходы к оценке экологического состояния почв, ученые всё больше ориентируются на методы, основанные на диагностировании изменений биотических и абиотических компонентов почв [5–8]. Однако, в России комплексные исследования с использованием биоиндикационных показателей, в частности, почвы в агроэкосистемах, пока не приобрели системный вид, а имеющиеся исследования носят фрагментарный характер.

Основа современного подхода при оценке качества объектов окружающей среды – принцип «сбалансированного функционирования» экосистемы, базирующийся на учёте взаимосвязи компонентов биоценоза и их взаимодействия с почвой. Основными показателями указанного подхода являются количество и качество производимой продукции, биологическое разнообразие и др. [9–11].

Переоценить экологическую функцию почвы в биосфере невозможно. Почва всегда была и находится в центре практически всех биосферных процессов, является связующим звеном между биологическим и геологическим круговоротом. Кроме того, почва – это экологическая ниша для огромного количества живых микро- и макроорганизмов [12–16].

Одна из важнейших экологических функций почвы, реализуемая посредством создания необходимых для жизнедеятельности живых организмов условий (трофических, физико-химических, физических, гидротермических и т.п.) является формирование и поддер-

жание разнообразия форм жизни. В свою очередь, условия почвенной среды формируют и обеспечивают функционирование микробноценозов, фитоценозов и группировок фауны, напрямую зависящие от факторов окружающей среды.

Растения, животные, микроорганизмы и почва в естественных условиях прошли длительный путь к эволюции, и их тесная взаимосвязь сохраняется на разных иерархических уровнях структурно-функциональной организации этой системы. Почвы, которые находятся на климаксовом уровне эволюции, обладают устойчивой поликомпонентной группировкой биоты, разнообразие, жизненные формы и физиологические функции которых отражают их свойства. Тем не менее, эволюционно сформированное единство почвы и биоразнообразия является достаточно уязвимым и может устойчиво функционировать лишь при условии сохранения целостности всех компонентов и природных ландшафтов в целом [17–19].

Стабильность и нормальное функционирование биоты обеспечивает огромный микробный пул, который отличается как значительным запасом микробной биомассы, так и огромным качественным разнообразием (микробный генофонд), обеспечивающим течение многих тысяч биохимических реакций. Уменьшение пула микроорганизмов и оскудение его видового разнообразия приводят к функциональным нарушениям, например, снижению способности к азотфиксированию, гумусообразованию и структурообразованию и т.д.

Экологическая оценка состояния почвы состоит из биологического мониторинга – контроля ее состояния с использованием живых организмов, биодиагностики – выявления причин изменения состояния среды с помощью видов-индикаторов, включающего биоиндикацию и биотестирование.

Важной составляющей методологической основы оценки экологического состояния почвы является система показателей контроля, выбор которых обусловлен необходимостью адекватной характеристики основных функций почвы, почвообразующих или почворазрушающих процессов, а также основных процессов, связанных с ростом, развитием и

питанием растений. Кроме того, основными требованиями к показателям биологической активности почвы, которые должны быть привлечены для проведения биодиагностических исследований, являются: информативность, высокая чувствительность, репрезентативность, доступность в методическом выполнении.

Преимуществами биологических индикаторов по сравнению с другими являются [20–23]: высокая чувствительность к действию внешних факторов; возможность прослеживания негативных процессов на начальных стадиях их развития.

Микробиологические показатели почвы, как наиболее информативные и чувствительные, должны учитываться при проведении комплексного мониторинга почв. Кроме того, была обоснована важность и целесообразность учета микробиологических показателей за проведение агрохимической паспортизации земель сельскохозяйственного назначения для всесторонней оценки плодородия почв [24].

Однако в России не разработана единая общепринятая система биомониторинга почв природных и антропогенно измененных экосистем по биологическим показателям. Несмотря на актуальность проблемы сбалансированного использования природных ресурсов и охраны окружающей среды, до сих пор отсутствует унифицированная система биодиагностических показателей (критериев) биохимических и микробиологических процессов, по которым можно было бы провести превентивную оценку и мониторинг негативных изменений и явлений почвы при антропогенном воздействии, а также разработать меры по их устранению. В современных научных трудах предложены только определенные показатели/критерии экологической оценки почвы и агротехнологий.

Цель исследования – научное обоснование рациональных методических подходов к оценке экологического состояния почвы.

Материалы, методы и объекты исследования. Объект исследования – почвы Кабардино-Балкарской Республики. Исследования базируются на результатах анализа методов оценки экологического состояния почв, результатов агроэкомониторинга на основе изучения и обобщения материалов Росстата [25,

26], Минприроды РФ [27], данных отечественной и зарубежной научной литературы.

Результаты исследования. Большинство отечественных исследователей, изучая биологическую активность почвы в природных и антропогенно измененных экосистемах, сосредоточили внимание на мониторинге или изучении влияния некоторых факторов на состояние и активность микробных группировок [1–10]. Однако без их внимания оставался вопрос зависимости состояния микробиоценоза почвы и ее биохимической активности от комплекса факторов, в т.ч. и с учетом изменчивости параметров климатической системы.

В агроэкосистеме при проведении биодиагностических исследований уделяют внимание биологической активности почвы, которую рассматривают как суммарный результат протекающих биохимических процессов, обусловленных жизнедеятельностью почвенной микробиоты. Полифункциональность микроорганизмов дает им возможность принимать участие в противоположащих биохимических реакциях почвы, обеспечивая при этом функционирование, продуктивность и гомеостаз экосистемы. Биологическая активность почвы является отражением их способности выполнению своих функций. Она играет определяющую роль в обеспечении экологической устойчивости.

Биологическое диагностирование состояния почв обеспечивает определение характера и степени антропогенного воздействия на почвенный покров на начальных стадиях развития деградационных процессов [28, 29].

Оценка экологического состояния почвы – это определение соответствия протекания процессов в исследуемых почвах их природным аналогам, что позволяет выявить допустимое значение того или иного фактора, в т.ч. агротехнического, установленного по критерию соответствия нормальному функционированию природной экосистемы.

В экологических исследованиях почвы используются два вида экологических стандартов. Первый – это естественный стандарт – соответствует целинным, ненарушенным почвам, не подвергшимся антропогенному воздействию. Второй – антропогенный экологический стандарт, сформировавшийся при длительном влиянии любой деятельности че-

ловека. Для агроэкосистемы за такой стандарт принимают контрольные варианты (участки), которые испытывают длительное систематическое антропогенное влияние.

Для выявления и оценки степени нарушения экосистемы предлагается сравнить любые ее показатели с аналогичными ненарушенной экосистемой, так называемого «эталона». Поэтому почвенный эталон – это почва в исходном состоянии, которая является своеобразной точкой отсчета для всех последующих сравнений при длительных систематических наблюдениях, в т.ч. мониторинга.

Самым объективным эталоном является целинная, желательна, абсолютно заповедная почва. Поэтому сравнение такой почвы с почвами, вовлеченными в сельскохозяйственное производство, дает достоверную информацию о трансформации последних в результате хозяйственной деятельности. Из-за недостаточного количества целинных аналогов подобным эталоном может быть участок, не находившийся в сельскохозяйственной эксплуатации не менее 20–25 лет.

Микроорганизмы почвы являются чувствительным индикатором среды обитания. Они способны выявлять те малейшие изменения, которые происходят в почве при действии факторов различной природы и происхождения, тогда как на уровне высших организмов (например, растения) такие изменения проявляются значительно позже. Собственно, микробиота, ее таксономическая и функциональная структура и активность могут выступать как экологические и биохимические индикаторы действия различных антропогенных факторов и изменения почвенно-климатических условий, т.е. микроорганизмы – важный информативный показатель протекающих в почве процессов и изменений в ней.

Микробиологическая характеристика почвы – самый сложный раздел почвенной биодиагностики. Существуют сомнения в возможности сбора всей информации о составе и функциях почвенной микробиоты (особенно бактерий), из-за их значительного разнообразия и полифункциональности.

Разница в чувствительности компонентов микробной группировки почвы к воздействию разнообразных факторов, в т.ч. антропогенных, способствует выпадению менее устойчивых его звеньев, нарушению природно-

го равновесия между определенными группами микроорганизмов, что приводит к изменению активности отдельных стадий процессов кругооборота биогенных элементов, что, в конечном итоге, ведет к таким негативным последствиям, как деградация почв, их дегумификация, нарушение экологических функций и пр. В числе фактологических и функциональных критериев состояния почвенного микробиоценоза традиционно используют численность микроорганизмов определенных эколого-трофических и функциональных групп [30].

Любой микробиоценоз состоит из микроорганизмов различных функциональных и таксономических групп, отличающихся требованиями к условиям среды, питания и источникам энергии. Количественное соотношение между этими группами полностью зависит от условий окружающей природной среды (абиотических и биотических факторов), в которых и формируется микробиоценоз.

Способность экосистемы поддерживать гомеостаз, то есть состояние динамического равновесия, определяется сложностью полифункциональных связей и видовым разнообразием почвенных микроорганизмов, традиционно оцениваемой с использованием экологических индексов Шеннона и Симпсона.

В исследованиях видового биоразнообразия почвенных микроорганизмов существуют определенные методические ограничения. В частности, определение и идентификация микроорганизмов в почве. Однако на сегодняшний день более объективным методом изучения разнообразия микроорганизмов в почве остается использование молекулярно-генетических методов, которые дают возможность получения наиболее достоверной информации о биоразнообразии, состоянии и активности микробной группировки. Поэтому система биодиагностических критериев обязательно должна предусматривать использование молекулярно-генетических показателей. С помощью современных аналитических методов проводятся выделение и анализ общей почвенной микробной ДНК почвы, применение методов полимеразной цепной реакции, устанавливается видовое биоразнообразие микроорганизмов различных типов почвы и влияние агромероприятий.

Экологическое состояние почвы агроэкосистемы характеризуют различные показатели уровня его биологической активности, которые зависят от типа и плодородия почвы, а также применяемых агромероприятий [31, 32]. Следовательно, микробная группировка количественно и качественно меняется при внесении в почву любого субстрата, особенно органического происхождения, отличающихся по питательности, составу веществ, интенсивности деструкции и т.д., поэтому активизируют различные по функциональности почвенные микробные популяции. Следует учитывать, что деструкция органических веществ и ассимиляция микробной группировкой и растениями доступных продуктов их разложения повышает производительность агроэкосистем не только в аспекте получения сельскохозяйственной продукции, но и в аспекте восстановления, сохранения и повышения плодородия почв.

Структура почвенной микробной группировки может служить диагностическим критерием, так как эта структура может изменяться под действием изменения параметров окружающей среды.

Значимым показателем состояния микробиоценоза почвы является соотношение численности определенных эколого-трофических групп микроорганизмов, отражающее направленность происходящих в почве микробиологических процессов в направлении деградации или восстановления его плодородия. В частности, высокое или растущее в структуре микробиоценоза соотношение микромицеты: бактерии в почве предложено использовать как индикатор возврата экосистемы к природному состоянию. Также соотношение бактерий и микромицетов в почвенной микробной биомассе дает представление об аккумуляции или секвестрировании карбона почвами, а следовательно, может характеризовать их газопродукционные свойства и быть фактором регулирования эмиссии CO_2 и N_2O .

Также широко используются определенные виды микроорганизмов как тест-объекты. В частности, в большинстве исследований экологического состояния почвы используют бактерии рода *Azotobacter* в качестве индикатора благоприятных экологических условий почвенной среды. Особенно чувствительным

к отрицательному воздействию природных и антропогенных факторов, в частности загрязнителей, является вид *Azotobacterchroococcum* [33-35].

Микробная биомасса – важный, живой и лабильный компонент органического вещества почвы и его природный микробный потенциал. В связи с этим данный показатель можно использовать при оценке состояния микробиоценоза и почвы. К примеру, скорость оборота микробной биомассы – 0,5-2 года, органического вещества почвы – более 20 лет, что позволяет использовать показатели изменений микробной биомассы при оценке состояния органического вещества почвы.

Программой стандартного мониторинга почв России предложены следующие биодиагностические показатели: активность процесса азотфиксирования, нитрификационная, аммонификационная идентификационная способность, активность ферментов пероксидазы, полифенолоксидазы, дегидрогеназы, инвертазы, а также суммарная биологическая активность по показателю эмиссии. Однако такие показатели биологической активности почвы носят только рекомендательный характер.

Актуальной проблемой остается поиск эффективных способов интегрирования данных экологического мониторинга почв.

Известно большое количество методических подходов и схем расчета индексов состояния почвы, значения которых сопоставляются с уровнями техногенной нагрузки и/или категориями качества окружающей природной среды. Также широко применяется математическое моделирование биологических процессов в почве [36].

В практике исследований широко используют интегрированные показатели экологического состояния почвы: отклонение численности микроорганизмов от пределов их природной нормы, содержание органического карбона, содержание карбона и нитрогена в микробной биомассе, доля микробного от общего органического карбона почвы, общая биогенность и т.д. [37, 38].

Для характеристики изменений почвы также предложено использовать показатель экологической устойчивости (ЕС) как соотношение разности респираторной активности почвы природной экосистемы (целины) и ис-

следуемых агроландшафтов. Установлено, что по значениям показателя ЕС < 30% – почва характеризуется высоким, 30-60% – средним, 61-100% – низким, ЕС > 101% – очень низким уровнем экологической устойчивости [39].

Многочисленными исследованиями доказано, что надежный индикатор экологической целесообразности применения тех или иных доз минеральных удобрений при возделывании сельскохозяйственных культур – реакция почвенных микроорганизмов на концентрацию удобрений в почве. Предложенная методика установления экологически целесообразных доз азотных удобрений базируется с одной стороны на особенностях пространственных и функциональных взаимоотношений растений и микроорганизмов, а с другой – на результатах определения и сопоставления активности противоположных биосферных процессов, азотфиксирование и денитрификация в корневой зоне растений. По соотношению активности процессов азотфиксирования и эмиссии закиси азота предложены коэффициенты экологической целесообразности уровней азотного удобрения, которые могут служить важными критериями оценки экологического состояния агроценоза в целом. Сравнение этих коэффициентов позволяет определить целесообразность или избыточность минерального удобрения в определенный промежуток времени, поэтому может быть основой для оценки влияния экологических факторов на состояние агроценоза [38, 39].

Для интегральной оценки экологического состояния почвенной экосистемы перспективно использование коэффициента общей биологической активности почвы, который включает уровень активности ферментов, численность микроорганизмов, микромицетов, водорослей и цианобактерий, степень развития высших растений и пр. [39].

В современных экологических исследованиях получил широкое применение метод «Триад» [39], включающий анализ функции «желательности» и позволяющий перевести фактические значения химических, биологических и токсикологических показателей в единую безразмерную шкалу с зафиксированными пределами. Основное преимущество данного метода – формализация данных от-

носителю реакции живых объектов, биоиндикационных изменений натуральных группировок микроорганизмов и данных о химическом загрязнении в виде интегрального индекса экологического состояния.

Следует отметить, что доказана максимальная эффективность диагностики и мониторинга почвенного покрова биохимическими методами. В частности, важным показателем, который определяет состояние и активность микробиоценоза почвы под воздействием различных внешних факторов, является ферментативная активность. Исследования в этой области проводились многими учеными [40, 41], которые установили высокую эффективность и перспективность использования этого показателя для диагностики динамики плодородия почвы при влиянии различных антропогенных и природных факторов на экосистему и экологическое состояние.

Предлагается использовать ферментативную активность в качестве потенциального индикатора качества почвы благодаря тесной связи с почвенной биотой, легкостью и доступностью определения, а также быстрому отклику на изменения, вызванные влиянием антропогенных факторов.

Выводы. Анализ действующего в РФ информационного обеспечения оценки экологического состояния почв показал, что перспективными в этом направлении являются: проведение комплексной оценки почвы как по-

лифункциональной биокосной системы с учетом влияния на него загрязнения различной природы (тяжелые металлы, нефтепродукты, радиоактивное загрязнение и т.п.); комбинация в способах разных методов (полевых, химических, биологических, картографических и т.п.); применение функционально-экологического подхода; адаптированность способов к определенным почвенно-климатическим условиям территорий и конкретным типам почвы; разработка способов, имеющих эколого-экономический эффект.

Оценка состояния и активности микробиоценоза почвы, его биоразнообразие может служить для решения ряда экологических задач, в частности, определения влияния антропогенной деятельности (в т.ч. различных агромероприятий), временной устойчивости экосистемы к воздействию тех или иных антропогенных факторов и т.д. Поэтому почвенно-биологические исследования не могут оставаться без внимания при мониторинге различных экосистем и должны быть положены в основу контрольной функции состояния почвенной среды. Эта функция необходима для разработки стратегических подходов рационального использования почвенных ресурсов, их защиты от деградации, истощения и опустынивания, восстановления плодородия почвы и разработки экологически безопасных агротехнологий.

Список источников литературы

1. Мотузова Г.В., Безуглова О.С. Экологический мониторинг почв. М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. 237 с.
2. Патова Е.Н., Кузнецова Е.Г. Экологический мониторинг: учебное пособие. Сыктывкар: СЛИ, 2013. 52 с.
3. Калинин В.М., Рязанова Н.Е. Экологический мониторинг природных сред: учебное пособие. М.: НИЦ ИНФРА-М, 2015. 203 с.
4. Федеральный закон №136-ФЗ «Земельный кодекс Российской Федерации» от 25.10.2001 (ред. от 30.12.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 10.01.2022).
5. Гогмачадзе Г.Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации. М.: Издательство Московского университета, 2010. 587 с.
6. Соловьев В.М. Агроэкологический мониторинг земель // Агрехимический вестник. 2004. № 3. С. 6–7.
7. Минкина Т.М. Методические аспекты почвенно-экологического мониторинга // Плодородие. 2002. № 5 (8). С. 33–35.

8. Чекмарёв П.А., Лукин С.В. Мониторинг плодородия пахотных почв Центрально-Черноземных областей России // *Агрохимия*. 2013. №4. С. 11–22.
9. Гогмачадзе Г.Д., Гогмачадзе Л.Г. О некоторых результатах агроэкологического мониторинга почв и земельных ресурсов Российской Федерации в 2019 году // *АгроЭкоИнфо*. 2021. №4. DOI: <https://doi.org/10.51419/20214410>
10. Драган Н.А. Мониторинг и охрана почв: учебное пособие. Симферополь: Изд-во ТНУ, 2008. 172 с.
11. Шекихачев Ю.А. Мониторинг кризисных ситуаций на мелиорированных землях // В сб.: *Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия*. Международная научно-практическая конференция. КБГАУ. Нальчик, 2021. С. 78–381.
12. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М. и др. Комплекс технологий и технических средств возделывания сельскохозяйственных культур в системе органического земледелия с использованием инновационных биологических средств защиты, методов мелиорации и экологизации. Нальчик, 2020. 216 с.
13. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Пазова Т.Х. и др. Математическое моделирование процесса возникновения водной эрозии // *АгроЭкоИнфо*. 2020. № 2 (40). С. 20.
14. Шекихачева Л.З. Научно обоснованные принципы почвозащитной системы земледелия // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова*. 2021. № 4 (34). С. 86–90.
15. Шекихачева Л.З. Методические основы диагностики эродированности почв // *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В.М. Кокова*. 2021. № 2 (32). С. 108–114.
16. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А. Анализ последствий антропогенного воздействия на окружающую среду // *Сборник научных трудов XI Всероссийской (национальной) научно-практической конференции*. Нальчик, 2021. С. 65–69.
17. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А. Формирование высокопродуктивных экологически устойчивых аграрных производственных систем в условиях интенсивной антропогенной нагрузки // В сб.: *Наука, образование и бизнес: новый взгляд или стратегия интеграционного взаимодействия*. Международная научно-практическая конференция. КБГАУ, 2021. С. 216–219.
18. Апажев А.К., Шекихачев Ю.А., Хажметов Л.М. и др. Инновационные технологические и технические решения по повышению плодородия почв в условиях склоновых эродированных черноземных почв Юга России. Нальчик, 2018. 264 с.
19. Шекихачев Ю.А., Апажев А.К., Фиашев А.Г. Проблемы перехода к ландшафтному землепользованию на Юге России // *Векторы развития современной науки*. 2016. С. 46.
20. Головатый С.Е., Савченко С.В., Позняк С.С. и др. Мониторинг и использование земельных ресурсов: учебное пособие. Минск: МГЭУ, 2009. 149 с.
21. Масютенко Н.П., Глазунов Г.П., Кузнецов А.В. и др. Система показателей агроэкологической оценки эродированных черноземов // *Достижения науки и техники АПК*. 2016. № 11. С. 7–11.
22. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. М.: Росинформагротех, 2003. 240 с.
23. Maximova M.V. Spatial objects monitoring // *European Researcher*. 2012. Vol. (36). No. 12-1. Pp. 2114–2117.
24. Сычев В.Г., Лунев М.И., Павлихина А.В. Современное состояние и динамика плодородия пахотных почв России // *Плодородие*. 2012. № 4. С. 5–7.
25. Охрана окружающей среды в Российской Федерации в 2010-2020 гг. Статистический сборник. М.: Росстат.
26. Российский статистический ежегодник 2010-2020 гг. М.: Росстат.

27. Государственные доклады «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2010-2020 гг.». М.: Минприроды РФ.
28. KyulE.V., ApazhevA.K., KudzaevA.B.etal. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards // *Indian Journal of Ecology*. 2017. Vol. 44. No. 2.
29. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M. et al. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia // *Journal of Physics: Conference Series*. 1889. 2021. 032033.
30. Шекихачева Л.З. Оценка экологического состояния мелиорируемых земель // В сб.: *Сельскохозяйственное землепользование и продовольственная безопасность. VII Международная научно-практическая конференция*. Нальчик, 2021. С. 250–253.
31. Баранников В.Д., Кириллов Н.К. Экологическая безопасность сельскохозяйственной продукции. М.: Колос, 2006. 352 с.
32. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Fiapshev A.G.et al. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization // *E3S Web of Conferences*. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019. Vol. 124.2019. 05054.
33. Сытников Д.М. Биотехнология микроорганизмов азотфиксаторов и перспективы применения препаратов на их основе // *Биотехнология*. 2013. №4. С. 16–22.
34. Carro L. Rhizobium promotes non-legumes growth and quality in several production steps: towards a biofertilization of edible raw vegetables healthy for humans // *PLoS ONE*. 2015. V. 7. No. 5. Pp. 156–162.
35. Тихонович И.А., Круглов. Ю.В. Микробиологические аспекты плодородия почвы и проблемы устойчивого земледелия // *Плодородие*. 2016. № 5. С. 9–12.
36. Da Silva A.P., Kay B.D., Perfect E. Characterization of the least limiting water range of soils // *Soil Sci. Soc. Am.* 1994. J. 58. Pp. 1775–1781.
37. Letey J. Relationship between soil physical properties and crop production // *Adv. SoilSci.* 1985. Vol. 1. Pp.277–294.
38. Балашов Е.В., Моисеев К.Г. Нормативы оценки оптимизации физических параметров почв, обеспечивающие совершенствование технологий возделывания сельскохозяйственных культур в полевых и регулируемых условиях. Санкт-Петербург: АФИ, 2009. 20 с.
39. Коновалов А.Г., Рисник Д.В., Левич А.П. и др. Обзор подходов к оценке экологического состояния и нормированию качества почв // *Биосфера*. 2017. Т. 9. № 3. С. 214–229.
40. Колесников С.И., Пономарева С.В., Казеев К.Ш. и др. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами: Ва, Мн, Sb, Sn, Sr, V, W. Ростов н/Д: Эверест, 2008. 200 с.
41. *Microbiological Methods For Assessing Soil Quality* / eds. J. Bloem, D.W. Hopkins, A. Benedetti. Oxford; Cambridge: CABI Publishing, 2006. 336 p.

References

1. Motuzova G.V., Bezuglova O.S. *Ekologicheskij monitoring pochv* [Environmental monitoring of soils]. М.: AkademicheskijProekt; Gaudeamus, 2007. 237 p. (In Russ.)
2. Patova E.N., Kuznecova E.G. *Ekologicheskij monitoring* [Environmental monitoring]: *uchebnoe posobie*. Syktyvkar: SLI, 2013. 52 p. (In Russ.)
3. Kalinin V.M., Ryazanova N.E. *Ekologicheskij monitoring prirodnyhsred* [Ecological monitoring of natural environments]: *uchebnoe posobie*. М.: NIC INFRA-M, 2015. 203 p. (In Russ.)
4. *Federal'nyj zakon №136-FZ «Zemel'nyj kodeks Rossijskoj Federacii» 25.10.2001 (red. ot 30.12.2021)* [Federal Law No. 136-FZ «Land Code of the Russian Federation» dated October 25, 2001 (as amended on December 30, 2021)]. (In Russ.)

5. Gogmachadze G.D. *Agroekologicheskij monitoring pochvi zemel'nyh resursov Rossijskoj Federacii* [Agroecological monitoring of soils and land resources of the Russian Federation]. M.: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2010. 587 s. (In Russ.)

6. Solov'ev V.M. Agroecological land monitoring. *Agrohimicheskij vestnik* [Agrochemical Herald]. 2004;3:6–7. (In Russ.)

7. Minkina T.M. Methodological aspects of soil-ecological monitoring. *Plodorodie*. 2002; 5(8):33–35. (In Russ.)

8. Chekmaryov P.A., Lukin S.V. Monitoring of the fertility of arable soils in the Central Black Earth regions of Russia. *Agrohimiya* [Agrohimia]. 2013;4:11–22. (In Russ.)

9. Gogmachadze G.D., Gogmachadze L.G. On some results of agroecological monitoring of soils and land resources of the Russian Federation in 2019. *AgroEkoInfo*. 2021:4. DOI: <https://doi.org/10.51419/20214410>. (In Russ.)

10. Dragan N.A. *Monitoring iohranapochv* [Soil monitoring and protection]: uchebnoe posobie. Simferopol': Izd-vo TNU, 2008. 172 p. (In Russ.)

11. Shekihachev Yu.A. Monitoring of crisis situations on reclaimed lands. *V sb.: Nauka, obrazovanie i biznes: novyj vzglyad ili strategiya integracionnogo vzaimodejstviya. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferencia* [In: Science, education and business: a new look or strategy of integration interaction. International scientific and practical conference]. KBGAU. Nal'chik, 2021: 378–381. (In Russ.)

12. Apazhev A.K., Shekihachev Yu.A., Hazhmetov L.M. et al. *Kompleks tekhnologijitekhnicheskikh sredstv vozdeystviya sel'skohozyajstvennykh kul'tur v sisteme organicheskogo zemledeliya s ispol'zovaniem innovacionnykh biologicheskikh sredstv zashchity, metodov melioracii i ekologizacii* [A complex of technologies and technical means of cultivating agricultural crops in the system of organic farming using innovative biological means of protection, melioration and ecologization methods]. Nal'chik, 2020. 216 p. (In Russ.)

13. Apazhev A.K., Shekihachev Yu.A., Pazova T.H. et al. Matematicheskoe modelirovanie processa vozniknoveniya vodnoj erozii [Mathematical modeling of the process of water erosion occurrence]. *AgroEkoInfo*. 2020;2(40):20. (In Russ.)

14. Shekihacheva L.Z. Science-based principles of soil-protective farming system. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova* [Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov]. 2021;4(34):86–90. (In Russ.)

15. Shekihacheva L.Z. Methodological bases for diagnosing soil erosion. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V.M. Kokova* [Izvestiya of the Kabardino-Balkarian State Agrarian University. named after V.M. Kokov]. 2021;2(32):108–114. (In Russ.)

16. Apazhev A.K., Shekihachev Yu.A. Analysis of the consequences of anthropogenic impact on the environment. *Sborniknauchnyhtrudov XI Vserossijskoj (nacional'noj) nauchno-prakticheskoy jkonferencii* [Collection of scientific papers of the XI All-Russian (national) scientific and practical conference]. Nal'chik, 2021:65–69. (In Russ.)

17. Apazhev A.K., Shekihachev Yu.A. Formation of highly productive environmentally sustainable agricultural production systems under conditions of intensive anthropogenic load. *V sb.: Nauka, obrazovanie i biznes: novyj vzglyad ili strategiya integracionnogo vzaimodejstviya. Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferencia* [In: Science, education and business: a new look or strategy of integration interaction. International scientific and practical conference]. Nal'chik, 2021:216–219. (In Russ.)

18. Apazhev A.K., Shekihachev Yu.A., Hazhmetov L.M. et al. *Innovacionnyye tekhnologicheskie i tekhnicheskie resheniya po povysheniyu plodorodiya pochv v usloviyah sklonovykh erodirovannykh chernozemnykh pochv Yuga Rossii* [Innovative technological and technical solutions

to improve soil fertility in the conditions of slope eroded chernozem soils in the South of Russia]. *Nal'chik*, 2018. 264 p. (In Russ.)

19. Shekikhachev Yu.A., Apazhev A.K., Fiapshev A.G. Problems of transition to landscape land use in the South of Russia. *Vektory razvitiya sovremennoj nauki* [Vectors of development of modern science]. 2016. 46 p. (In Russ.)

20. Golovatyj S.E., Savchenko S.V., Poznyak S.S. et al. *Monitoring i ispol'zovanie zemel'nyh resursov* [Monitoring and use of land resources]: *uchebnoe posobie*. Minsk: MGEU, 2009. 149 p. (In Russ.)

21. Masyutenko N.P., Glazunov G.P., Kuznecov A.V. et al. System of indicators of agroecological assessment of eroded chernozems. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* [Achievements of Science and Technology of the APK]. 2016;11:7–11. (In Russ.)

22. *Metodicheskie ukazaniya po provedeniyu kompleksnogo monitoringa plodorodiya pochv zemel' sel'skohozyajstvennogo naznacheniya* [Guidelines for conducting comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural land]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2003. 240 p. (In Russ.)

23. Maximova M.V. Spatial objects monitoring. *European Researcher*. 2012;(36)12-1:2114–2117.

24. Sychev V.G., Lunev M.I., Pavlihina A.V. *Sovremennoe sostoyanie i dinamika plodorodiya pashotnyh pochv Rossii* [Current state and dynamics of fertility of arable soils in Russia]. *Plodorodie*. 2012;4:5–7. (In Russ.)

25. *Ohrana okruzhayushchej sredy v Rossijskoj Federacii v 2010-2020 gg.* [Environmental protection in the Russian Federation in 2010-2020]. *Statisticheskij sbornik*. M.: Rosstat. (In Russ.)

26. *Rossijskij statisticheskij ezhegodnik 2010-2020 gg.* [Russian Statistical Yearbook 2010-2020]. M.: Rosstat. (In Russ.)

27. *Gosudarstvennye doklady «O sostoyanii ob ohrane okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii v 2010-2020 gg.»* [State reports «On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2010-2020»]. Moscow: Minprirody RF. (In Russ.)

28. Kyul E.V., Apazhev A.K., Kudzaev A.B. et al. Influence of anthropogenic activity on transformation of landscapes by natural hazards. *Indian Journal of Ecology*. 2017;44:2.

29. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Hazhmetov L.M. et al. Mathematical model of the effective use of reclaimed lands in the South of Russia. *Journal of Physics: Conference Series*. 1889. 2021. 032033.

30. Shekikhacheva L.Z. Assessment of the ecological state of reclaimed lands. *V sbornike: Sel'skohozyajstvennoe zemlepol'zovanie i prodovol'stvennaya bezopasnost'. VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferencia* [In the collection: Agricultural land use and food security. VII International Scientific and Practical Conference]. *Nal'chik*, 2021:250–253. (In Russ.)

31. Barannikov V.D., Kirillov N.K. *Ekologicheskaya bezopasnost' sel'skohozyajstvennoj produkcii* [Environmental safety of agricultural products]. M.: Kolos, 2006. 352 p. (In Russ.)

32. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Fiapshev A.G. et al. Energy efficiency of improvement of agriculture optimization technology and machine complex optimization. *E3S Web of Conferences*. 2019 International Scientific and Technical Conference Smart Energy Systems, SES 2019;124:2019. 05054.

33. Sytnikov D.M. Biotechnology of nitrogen-fixing microorganisms and prospects for the use of preparations based on them. *Biotekhnologiya* [Biotechnology]. 2013;4:16–22. (In Russ.)

34. Carro L. Rhizobium promotes non-legumes growth and quality in several production steps: towards a biofertilization of edible raw vegetables healthy for humans. *PLoS ONE*. 2015;7(5):156–162.

35. Tihonovich I.A., Kruglov. YU.V. Microbiological aspects of soil fertility and problems of sustainable agriculture. *Plodorodie*. 2016;5:9–12. (In Russ.)

36. Da Silva A.P., Kay B.D., Perfect E. Characterization of the least limiting water range of soils. *Soil Sci. Soc. Am.* 1994;58:1775–1781.

37. Letey J. Relationship between soil physical properties and crop production. *Adv. SoilSci.* 1985;1:277–294.

38. Balashov E. V., Moiseev K. G. *Normativy ocenki optimizacii fizicheskikh parametrov pochv, obespechivayushchie sovershenstvovanie tekhnologij vozdeleyvaniya sel'skohozyajstvennykh kul'tur v polevykh i reguliruemyykh usloviyakh* [Standards for assessing the optimization of the physical parameters of soils, ensuring the improvement of technologies for the cultivation of agricultural crops in field and controlled conditions]. St. Petersburg: AFI, 2009. 20 p. (In Russ.)

39. Konovalov A.G., Risnik D.V., Levich A.P. et al. Review of approaches to assessing the ecological state and standardizing soil quality. *Biosfera.* 2017;9(3):214–229. (In Russ.)

40. Kolesnikov S.I., Ponomareva S.V., Kazeev K.SH. et al. *Ekologicheskie posledstviya zagryazneniya pochv tyazhelymi metallami: Ba, Mn, Sb, Sn, Sr, V, W* [Ecological consequences of soil pollution with heavy metals: Ba, Mn, Sb, Sn, Sr, V, W]. Rostov n/D: Everest, 2008. 200 p. (In Russ.)

41. *Microbiological Methods For Assessing Soil Quality* / eds. J. Bloem, D.W. Hopkins, A. Benedetti. Oxford; Cambridge: CABI Publishing, 2006. 336 p.

Сведения об авторе

Шекихачева Людмила Зачиевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет имени В.М. Кокова», SPIN-код: 6853-7172, Author ID: 480041, Scopus Author ID: 57211228810, Researcher ID: AAF-8391-2019

Information about the author

Ludmila Z. Shekikhacheva – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Land Management and Real Estate Expertise, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov», SPIN-code: 6853-7172, Author ID: 480041, Scopus Author ID: 57211228810, Researcher ID: AAF-8391-2019

Статья поступила в редакцию 11.02.2022; одобрена после рецензирования 04.03.2022; принята к публикации 09.03.2022.

The article was submitted 11.02.2022; approved after reviewing 04.03.2022; accepted for publication 09.03.2022.