

ХИМИЯ И БИОЛОГИЯ

УДК 631.427

ИЗУЧЕНИЕ БИОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА С ПРИМЕНЕНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ И ДАННЫХ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Р. Х. Темботов, О. Н. Горобцова, Ф. В. Гедгафова, Т. С. Улигова

Институт экологии горных территорий им. А.К. Темботова КБНЦ РАН

Проведена оценка и сравнительный анализ биохимических свойств почв равнинной и предгорной части Центрального Кавказа в пределах Кабардино-Балкарии. На базе накопленных данных заложены основы интерактивной карты пространственного распределения важнейших почвенных показателей с применением геоинформационных систем (ГИС) и данных дистанционного зондирования (ДДЗ).

The assessment and comparative analysis of biochemical properties of the plain soils and piedmont areas in the central Caucasus within Kabardino-Balkaria have been performed. Using the collected data the foundations for the on-line map of space distribution of prime soil parameters with application of geo-information systems (GIS) and the remote-sensed data have been laid.

Ключевые слова: почвенный покров; биохимические свойства; геоинформационные системы; данные дистанционного зондирования; Центральный Кавказ; Кабардино-Балкария.

Keywords: soils; biochemical properties; geoinformation systems (GIS); remote-sensed data; Central Caucasus; Kabardino-Balkaria.

Согласно анализу специалистов FAO (Food and Agriculture Organization) при оценке земель, используемых для нужд растениеводства, может быть задействовано около 55 различных характеристик почвы, большинство из которых не находят отображения в традиционно составленных почвенных картах [1]. По мере накопления сведений о почвах, их географии и свойствах, а также в связи с расширением количества прикладных задач интерпретации почвенных данных перед наукой и практикой возникла важнейшая проблема увеличения информативности почвенных карт.

Показатели биологической активности почвы (содержание гумуса, интенсивность эмиссии углекислого газа, ферментативная активность) являются индикаторами интенсивности протекания биохимических почвенных процессов, а их совокупность характеризует плодородие почвы [2]. Пространственное распределение биологических свойств почвенного покрова может характеризовать многослойная карта, составленная с использованием методов дистанционного зондирования (ДДЗ) и геоинформационных систем (ГИС).

Современные источники информации, такие как спутниковые мультиспектральные снимки и данные радарной топографической съемки, дают возможность определить пространственные взаимосвязи между характеристиками почвенного покрова, а использование различных картографических программ служит для визуализации полученной информации.

В работах [3–5], посвященных изучению почвенного покрова Кабардино-Балкарии, достаточно подробно представлены сведения о структуре почвенного покрова, физико-химических свойствах разнообразных почв республики и их сельскохозяйственном использовании. Однако в литературных источниках практически отсутствует информация о биологических признаках почв, то есть недостаточно изучен целый ряд важнейших показателей, которые являются индикаторами современного состояния и устойчивости почвенной системы.

Изучением биологической активности почв Центрального Кавказа в пределах Кабардино-Балкарии в лаборатории почвенно-экологических исследований ИЭГТ КБНЦ РАН занимаются с 2009 г. [6, 7]. За это время определены основные биохимические показатели наиболее распространенных типов и подтипов почв естественных биогеоценозов равнинной и пред-

горной части республики, находящихся под влиянием биоклиматических условий эльбрусского и терского вариантов поясности. В соответствии с типизацией А.К. Темботова [8] территории указанных вариантов поясности отличаются орографическими, гидротермическими и климатическими условиями, которые оказывают влияние на растительный и почвенный покров сформировавшихся здесь ландшафтов.

Необходимо отметить, что изучаемые территории республики практически полностью находятся в длительном и интенсивном использовании в сельскохозяйственном производстве, поэтому для характеристики реального состояния почвенного покрова обязательно сопоставление признаков обрабатываемых и естественных почв и расширение базы полученных данных. В данной работе представлены показатели, характеризующие почвенный покров терского варианта поясности.

Исходя из вышесказанного, целью данной работы стали изучение и сравнительная оценка биохимических свойств почв агро- и биогеоценозов равнинной и предгорной части Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии). Полученные данные являются основой интерактивной карты, создаваемой с использованием ГИС и ДДЗ технологий.

Материалы и методы

Район исследований (рис. 1) охватывает территорию равнинной части Кабардино-Балкарии и граничащую с ней часть предгорий. Основной массив изучаемых почв расположен на наклонной Кабардинской равнине (170–400 м над ур. м.), которая постепенно переходит в предгорья (400–600 м над ур. м.). Различия биоклиматических условий, наблюдаемые в районе исследований, являются причиной принадлежности изучаемых территорий к двум различным вариантам поясности: эльбрусскому и терскому [8]. Разница между ними определяется, прежде всего, орографическими особенностями данных территорий, наличием и расположением горных хребтов, регулирующих распространение сухих и влажных воздушных потоков, которые формируют характерные для каждого варианта поясности климатические условия и растительный покров. Терскому варианту поясности соответствует более мягкий и влажный климат, эльбрусскому – более сухой и континентальный (см. таблицу).

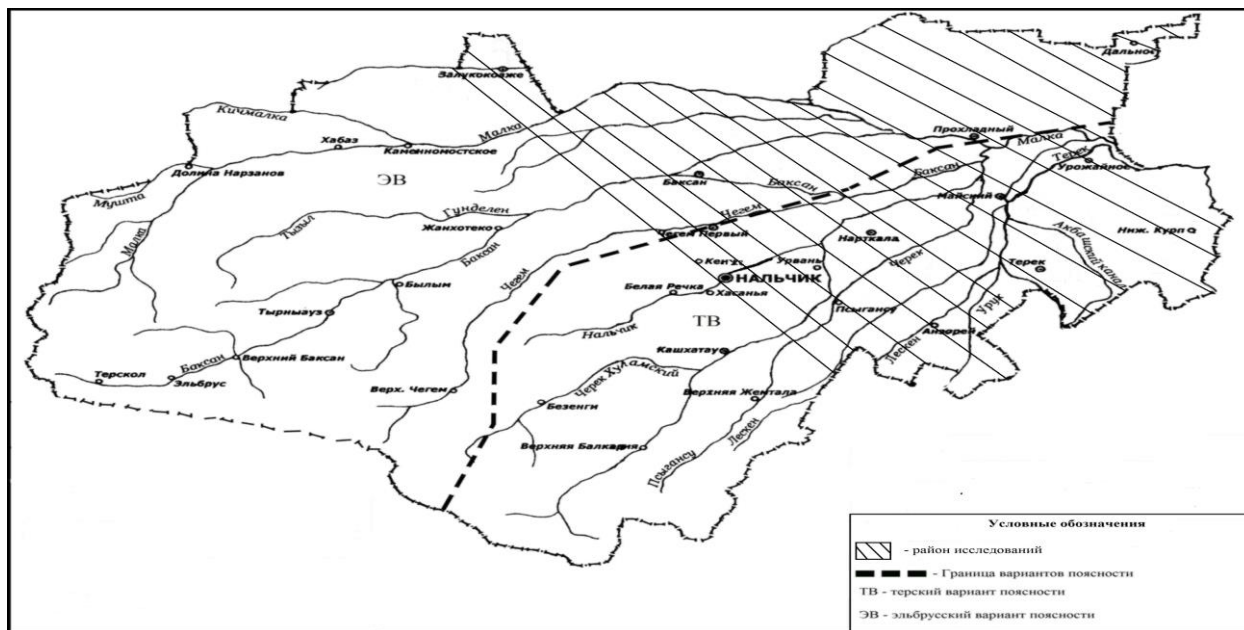


Рис. 1. Район исследований в границах влияния биоклиматических условий терского и эльбрусского вариантов поясности. Косыми линиями показан район исследований, пунктирной линией – граница между вариантами поясности; ЭВ и ТВ – эльбрусский и терский варианты поясности соответственно

Эльбрусский вариант характеризуется заметной ксерофитизацией ландшафтов, причиной которой служит пологость склонов, ширина речных долин и свободная циркуляция сухих ветров из Прикаспия. Вследствие сложившихся разнообразных условий почвообразования на изученных территориях сформировался почвенный покров, обладающий сложной структурой.

В качестве материалов исследования использовались космические снимки спутников Landsat 5-го поколения. Мультиспектральные сканеры Landsat, съемочные каналы с первого по пятый и седьмой, позволяют оценить величину отраженной радиации в полосе длин волн 450–2350 нм с пространственным разрешением 28.5×28.5. Температурный шестой канал использует волны длиной 10120–14500 нм с разрешением 57×57 м. Для построения цифровой модели рельефа использовались данные радарной топографической съемки (SRTM), имеющие пространственное разрешение 90 м [10, 11].

Анализ и обработка космических снимков проводились в соответствии с методическими рекомендациями ведущих исследователей [12, 13]. При статистической обработке спутниковых изображений применялся метод беспороговой дихотомической классификации, при которой использовались значения яркостей в каналах и построенные на их основе индексы. Индексы отражают биологическую продуктивность – NDVI, TVI, RVI, gNDVI и содержание влаги в растительности – LMI, NDWI [14, 15].

Статистическая интерполяция полученных данных на всю территорию осуществлялась с использованием пошагового дискриминантного анализа [16]. Для обработки и визуализации космических снимков использовались программы: Statistica 10.0 и MapInfo 10.0. В исследованиях принят уровень значимости $\alpha = 0.05$.

**Основные климатические характеристики терского и эльбрусского вариантов поясности
(средние данные за 1979–2002 гг. [9])**

Название зоны или пояса, высота м над ур. м.	Среднегодовая температура воздуха, Т° С	Осадки, мм/год	Суммарная испаряемость, мм/год	Коэффициент увлажнения Высоцкого – Иванова
Эльбрусский вариант поясности (метеостанции: г. Прохладный, г. Баксан)				
Степная зона, 170–400				
Пояс луговых степей от 400–500 до 700–800	+10.12	489	876	0.55
	+10.45	579	864	0.67
Терский вариант поясности (метеостанции: г. Терек, г. Нальчик)				
Степная зона 170–400	+11.0	522	818	0.63
Лесостепной пояс 300–700	+9.68	639	818	0.78

Полевые исследования проводились ежегодно в первой декаде июля в 2009–2013 гг., чтобы избежать сезонного варьирования изучаемых показателей. Всего были отобраны почвенные образцы в 190 точках верхнего слоя (0–20 см) почв агро- и биоценозов. Отбор проб и лабораторные исследования физико-химических и биологических почвенных свойств осуществляли по общепринятым в экологии и почвоведении методикам [17, 18]. При изучении биохимических свойств почв определялись: содержание органического вещества по методу И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина; рН водной вытяжки потенциометрическим методом; интенсивность выделения углекислого газа из почвы по методике А.Ш. Галстяна; активность каталазы газометрическим методом, активность дегидрогеназы, инвертазы, фосфатазы, уреазы – колориметрическим методом [17].

Результаты и их обсуждение

В результате ранее проведенных нами исследований [19] были созданы семь картосхем, отражающих детали пространственного варьирования каждого изученного признака: уровень кислотности почвенного раствора, содержание гумуса (рис. 2), уровень активности важнейших почвенных ферментов – уреазы, фосфатазы, инвертазы, дегидрогеназы, каталазы.

Комплекс перечисленных показателей, характеризующих биохимические свойства почв естественных биогеоценозов, лег в основу интерактивной карты, которая, по сути, является базой данных, хранящей совокупность сведений обо всех изученных почвенных характеристиках. Однако для достоверного отображения состояния почвенного покрова изученных территорий собранных сведений недостаточно. Их необходимо было дополнить данными об аналогичных свойствах почв агроценозов, так как они занимают практически всю площадь

района исследований. Для пополнения имеющейся базы данных были проведены соответствующие исследования, результаты которых представлены ниже.

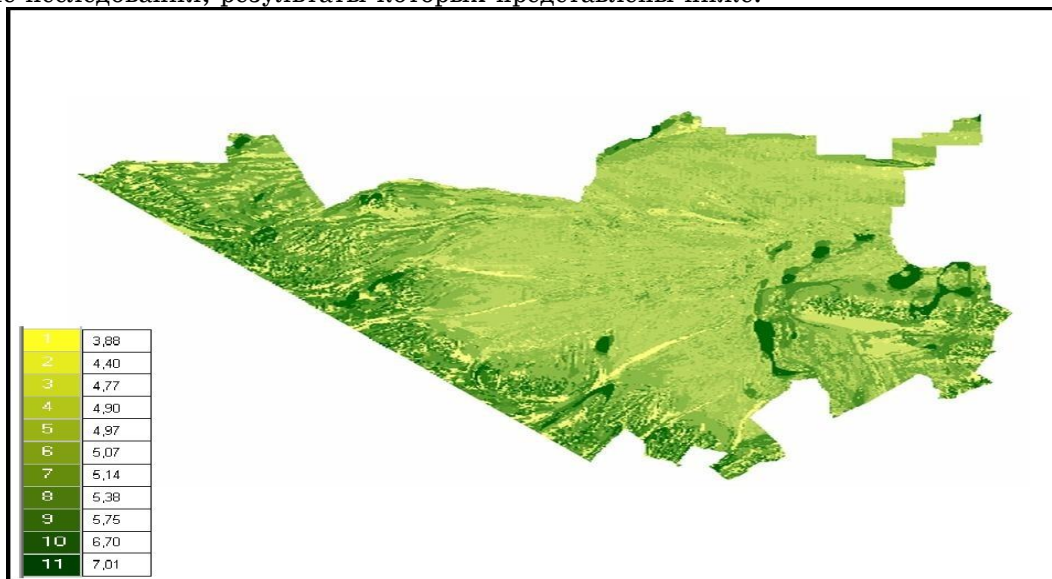
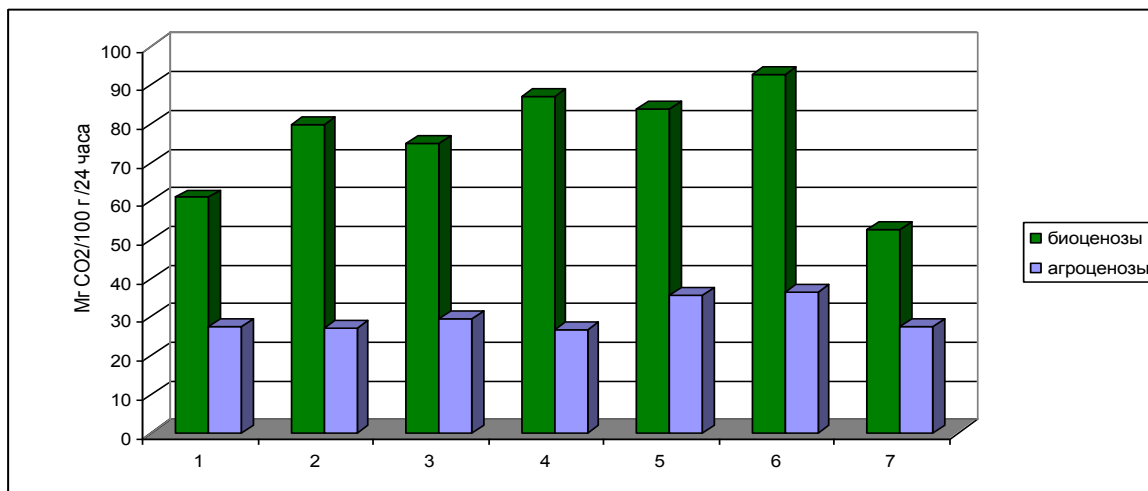


Рис. 2. Картограмма содержания гумуса (%)

Интенсивность почвенного дыхания – один из наиболее общих показателей биологической активности почвы. Полученные результаты (рис. 3) характеризуют потенциальную дыхательную активность почвенной микрофлоры и дают представление о том, насколько активно могут протекать процессы разложения органического вещества в почвах агро- и биогеоценозов.



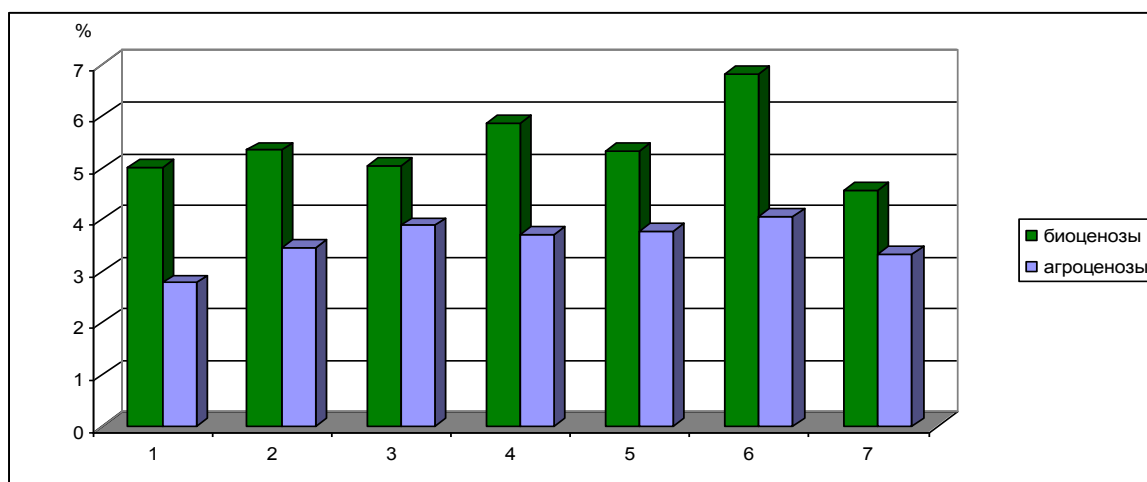
1 – черноземы южные; 2 – черноземы обыкновенные; 3 – черноземы типичные; 4 – черноземы выщелоченные; 5 – лугово-черноземные; 6 – луговато-черноземные; 7 – луговые карбонатные

Рис. 3. Средние показатели скорости эмиссии диоксида углерода в слое (0–20 см) почв агро- и биогеоценозов терского варианта пояности

Исследования показали, что в обрабатываемых почвах интенсивность выделения CO₂ снижается в среднем в 2.6 раза. Различия, выявленные для всех изученных генетических аналогов почв агро- и биогеоценозов, статистически значимы ($t = 2.68-15.76$, $P \leq 0.025-0.000$). Это говорит о том, что потенциальная микробиологическая активность обрабатываемых почв значительно ниже, чем целинных. Вслед за рядом авторов [20, 21] мы склонны считать, что причиной этого является резкое снижение растительной биомассы, которая в почвах биогеоценозов служит субстратом для развития почвенной микрофлоры, а в агроценозах выводится из биологического круговорота. Подтверждением данного предположения служат обнаруженные различия гумусового состояния естественных и пахотных почв.

Содержание гумуса является интегральным показателем биологической активности почв и включает в себя информацию о целом ряде важнейших почвенных свойств и ее потенциальном плодородии. Представленная на рис. 4 диаграмма иллюстрирует снижение содержания гумуса в почвах агроценозов в среднем в 1.5 раза. В результате дегумификации в изученных почвах агроценозов изменяется признак видовой принадлежности, они являются слабогумусированными (< 4% гумуса), в то время как аналогичные почвы биоценозов относятся к виду малогумусных (4–6% гумуса) [22].

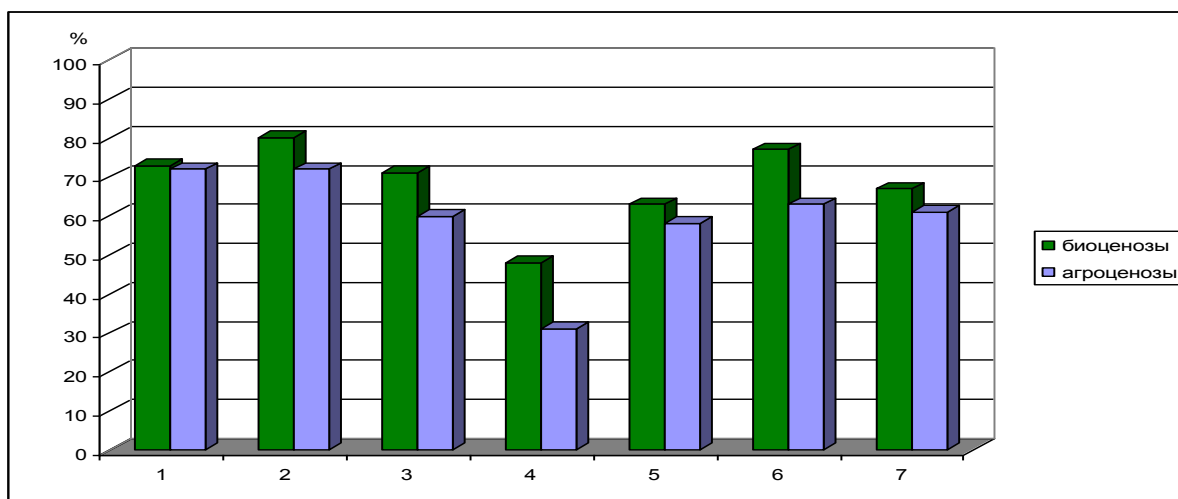
Содержание гумуса является достаточно устойчивым генетически обусловленным показателем, а напряженность биохимических реакций в почвах характеризует их ферментативная активность, которая отражает динамические процессы, происходящие в почве в данный момент. Ферменты участвуют в синтезе и распаде гумуса, гидролизе органических соединений и переводе их в доступное для питания растений и микроорганизмов состояние, а также в окислительно-восстановительных процессах. В почвенной биодинамике наибольшее значение имеют ферменты, относящиеся к классам оксидоредуктаз и гидролаз [23].



1 – черноземы южные; 2 – черноземы обыкновенные; 3 – черноземы типичные; 4 – черноземы выщелоченные; 5 – лугово-черноземные; 6 – луговато-черноземные; 7 – луговые карбонатные

Рис. 4. Средние показатели содержания гумуса в слое (0–20 см) почв агро- и биогеоценозов терского варианта пояности

На рис. 5 показана относительная суммарная активность оксидоредуктаз (каталаза и дегидрогеназа), участвующих в окислительно-восстановительных процессах синтеза гумусовых компонентов. В общем тренде каталитической деятельности ферментов класса оксидоредуктаз наблюдается некоторая тенденция к снижению их активности в почвах агроценозов, однако статистически значимых различий по данному показателю между почвами агро- и биогеоценозов не обнаружено.

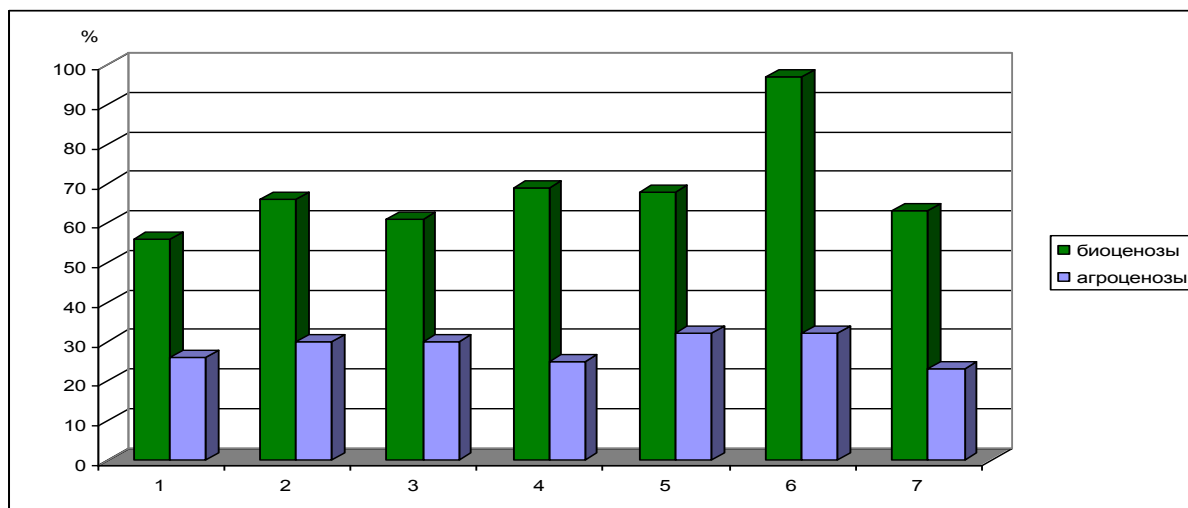


1 – черноземы южные; 2 – черноземы обыкновенные; 3 – черноземы типичные; 4 – черноземы выщелоченные;

5 – лугово-черноземные; 6 – луговато-черноземные; 7 – луговые карбонатные

Рис. 5. Средние показатели относительной суммарной активности оксидоредуктаз (каталаза и дегидрогеназа) в слое (0–20 см) почв агро- и биогеоценозов терского варианта пояности

На диаграмме (рис. 6) представлена относительная суммарная активность ферментов класса гидролаз (уреаза, фосфатаза и инвертаза), осуществляющих реакции гидролиза разнообразных сложных органических соединений. Полученные данные свидетельствуют о том, что во всех почвах естественных биогеоценозов активность ферментов класса гидролаз выше, чем в агроценозах в среднем в 2.4 раза. Относительная суммарная активность гидролаз тесно коррелирует с содержанием органического вещества ($r = 0.96$), что согласуется с литературными данными [24].



1 – черноземы южные; 2 – черноземы обыкновенные; 3 – черноземы типичные; 4 – черноземы выщелоченные; 5 – лугово-черноземные; 6 – луговато-черноземные; 7 – луговые карбонатные

Рис. 6. Средние показатели относительной суммарной активности гидролаз (уреаза, фосфатаза и инвертаза) в слое (0–20 см) почв агро- и биогеоценозов терского варианта пояности

Заключение

В результате исследований выявлено, что практически все изученные показатели в почвах, подверженных аграрному воздействию, ниже, чем в необрабатываемых почвах. Это ведет к различным изменениям в протекании естественных внутрипочвенных процессов. Такие изменения произошли из-за значительной (в среднем в 1.5 раза) потери гумуса. Изменяются и другие изученные биологические свойства пахотных почв – снижается интенсивность эмиссии диоксида углерода в 2.6 раза и относительная суммарная активность ферментов класса гидролаз (уреазы, фосфатазы, инвертазы) в 2.4 раза, активность которых тесно связана с содержанием органического вещества. Каталитическая деятельность оксидаз (каталазы, дегидрогеназы) изменилась незначительно, вероятно, причиной этого служит аэрация почв при обработке, приводящая к активизации окислительно-восстановительных процессов, что подтверждают исследования и других авторов [24].

Комплекс полученных сведений о биохимических свойствах почв включает в себя обширные и разнообразные данные, изученные параметры проявляют значительную пространственную вариабельность, что требует для их систематизации и отражения совокупности результатов исследований, применения современных методик: ГИС, ДДЗ, статистический анализ, с использованием которых визуализируется совокупность фактического материала.

Массив полученных в результате исследований характеристик биохимических свойств почв агро- и биогеоценозов, отображенных в создаваемой интерактивной карте, будет заключать в себе обширную, постоянно обновляемую базу данных о важнейших свойствах почв изученной территории и их пространственном изменении. Как источник комплексной информации карта может быть востребована при кадастровой и рыночной оценке земель сельскохозяйственного назначения, проведении агротехнических и мелиоративных мероприятий, для землеустроительных работ, направленных на рациональное использование земельных ресурсов, проведении экологического мониторинга и других целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Савин И.Ю., Овечкин С.В., Шерemet Б.В.* Геоинформационное «картографирование почв» // Современные проблемы почвоведения. М., 2000. С. 241–259.
2. *Хазиев Ф.Х.* Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука, 1982. 203 с.
3. *Кумахов В.И.* Почвы центрального Кавказа. Нальчик: Полиграфсервис и Т., 2007. 125 с.
4. *Керефов К.Н., Фиапшев Б.Х.* Природные зоны и пояса КБАССР. Нальчик: Изд-во Кабард.-Балк. гос. ун-та, 1977. 70 с.
5. *Молчанов Э.Н.* [Пояснительный текст к Почвенной карте Кабардино-Балкарской АССР] // Почвенный покров Кабардино-Балкарской АССР / Гл. управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР. М., 1990. 22 с.
6. *Улигова Т.С., Хежева Ф.В.* Ферментативная активность различных типов почв степной зоны и лесостепного пояса в условиях Центрального Кавказа // Новые технологии. Майкоп: ГОУ ВПО «МГТУ», 2009. Вып. 2. С. 35–39.
7. Биохимические свойства основных типов гидроморфных почв степной зоны Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии), сформированных в различных вариантах поясности / *О.Н. Горбцова, Ф.В. Хежева, Т.С. Улигова, Р.Х. Темботов* // Изв. Кабард.-Балк. науч. центра РАН. 2012. № 6. С. 69–76.
8. *Темботов А.К.* География млекопитающих Северного Кавказа. Нальчик: Эльбрус, 1972. 245 с.
9. Анализ и прогноз изменения климата в Кабардино-Балкарской республике / *Б.А. Ашабоков, Л.М. Федченко, Х.М. Калов, Р.М. Бисчоков, Е.М. Богаченко*. Нальчик. Изд-во КБГАУ, 2005. 150 с.
10. *Кашкин В.Б., Сухинин А.И.* Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений. М.: Логос, 2001. 264 с.
11. *Сухих В.И.* Аэрокосмические методы исследования в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 392 с.
12. *Кренке А.Н., Пузаченко Ю.Г.* Построение карты ландшафтного покрова на основе дистанционной информации // Экологическое планирование и управление. 2008. № 2. С. 10–25.
13. *Пузаченко Ю.Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Академия, 2004. 416 с.
14. *Аксенов Д.Е., Ярошенко А.Ю.* Космические снимки для задач лесного хозяйства // Земля из космоса. Вып. 1. М., 2009. С. 10–16.
15. *Козлов Д.Н.* Инвентаризация ландшафтного покрова методами пространственного анализа для целей ландшафтного планирования // Тр. Междунар. шк.-конф. «Ландшафтное планирование. Общие основания. Методология. Технология». М.: Геогр. фак. МГУ, 2006. С. 117–137.
16. Дискриминантный анализ // Электронный статистический учебник [Электронный ресурс] – Mode of access. URL: <http://www.statsoft.ru/home/textbook/modules/stdiscan.html> (дата обращения: 28.05.2014).
17. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 2003. 204 с.
18. ГОСТ 17.4.4.02-84. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. М.: Госкомитет СССР по стандартам, 1985. С. 1–6.
19. Применение интерактивной карты для оценки и мониторинга состояния почвенного покрова (на примере равнинной части Кабардино-Балкарии) / *Р.Х. Темботов, Ф.В. Хежева, Т.С. Улигова, О.Н. Горбцова* // Материалы междунар. симпозиума «Устойчивое развитие: проблемы, концепции, модели». Нальчик: Изд-во КБНЦ РАН, 2013. С. 271–275.
20. Пространственное варьирование содержания углерода микробной биомассы и микробного дыхания южного Подмоскovie / *Е.Г. Гавриленко, Е.А. Сусьян, Н.Д. Ананьева, О.А. Макаров* // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1231–1245.
21. *Ананьева Н.Д.* Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 222 с.
22. *Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш.* Почвы Юга России: классификация и диагностика. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. 168 с.
23. *Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф.* Биология почв Юга России. Ростов н/Д: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.
24. *Галстян А.Ш.* Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.

Поступила в редакцию 06.06.2014 г.
Принята к печати 24.12.2014 г.