

УДК 631.445.4(470.64)

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ
ЧЕРНОЗЁМОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО КАВКАЗА
(В ГРАНИЦАХ КАБАРДИНО-БАЛКАРИИ)**

**О. Н. Горобцова¹, Т. М. Минкина², Т. С. Улигова¹,
Р. Х. Темботов¹, Е. М. Хакунова¹**

¹ *Институт экологии горных территорий им. А. К. Темботова РАН
Россия, 360000, Нальчик, И. Арманд, 37-а*
² *Южный Федеральный университет
Россия, 344090, Ростов-на-Дону, просп. Стачки, 194/1
E-mail: ecology_lab@mail.ru*

Поступила в редакцию 01.12.2017 г., принята 06.02.2018 г.

Горобцова О. Н., Минкина Т. М., Улигова Т. С., Темботов Р. Х., Хакунова Е. М. Биологическая активность горных и равнинных чернозёмов Центрального Кавказа (в границах Кабардино-Балкарии) // Поволжский экологический журнал. 2018. № 2. С. 183 – 196. DOI: 10.18500/1684-7318-2018-2-183-196

Проведён сравнительный анализ биологических свойств различных подтипов горных и равнинных чернозёмов Центрального Кавказа (в границах Кабардино-Балкарии). Установлены статистически значимые различия между значениями показателей биологической активности верхних горизонтов (0 – 20 см) исследуемых почв. Горные чернозёмы характеризуются большим содержанием гумуса (в среднем на 38%), повышенной активностью дегидрогеназы (на 42%) и уреазы (на 35%), всех микробных показателей (на 12 – 53%). Активность инвертазы выше в равнинных чернозёмах (в среднем на 47%). Дисперсионный анализ показал, что влияние условий формирования (горные или равнинные) более значимый фактор для ряда изученных показателей, чем особенности исследуемых почв на уровне подтипа (сила влияния фактора генетических различий лежит в границах 1 – 5%, а влияние условий формирования 15 – 33%). Общий уровень биологической активности верхних горизонтов горных и равнинных чернозёмов определён на основе интегрального показателя эколого-биологического состояния почв (ИПЭБСП), который указывает на более высокую биологическую активность верхних горизонтов горных почв (различия ИПЭБСП находятся в границах 5 – 18%).

Ключевые слова: гумус, микробная биомасса, ферментативная активность, интегральный показатель эколого-биологического состояния почв.

DOI: 10.18500/1684-7318-2018-2-183-196

ВВЕДЕНИЕ

Чернозёмы Центрального Кавказа обладают всеми свойствами, характерными для данного типа, и при этом отличаются оригинальностью и особыми, присущими только им чертами, обусловленными специфичностью условий почвообразования (Вальков и др., 2002 а). «Теневой эффект» Кавказских гор, влияющий на распределение тепла, влаги и характер растительных сообществ, является причиной

того, что по мере приближения к Кавказскому горному хребту чернозёмы южные степной зоны сменяются обыкновенными, типичными и выщелоченными. Причина смены сухих ландшафтов на более влажные – возрастание количества конденсируемой атмосферной влаги по направлению к горам, происходящее в условиях относительной однородности термического режима равнинной части республики (Вальков и др., 2002 б).

На высоте более 500 м над ур. м. условия почвообразования способствуют формированию уникальных горных чернозёмов. Хотя горные и равнинные чернозёмы относятся к одному генетическому типу (Классификация и диагностика почв СССР, 1977), а термин «горные» является скорее географическим, указывающим на область распространения этих почв, описание горных чернозёмов и сопоставление их свойств с чернозёмами равнин всегда интересовало почвоведов. Сведения о горных и равнинных чернозёмах Центрального Кавказа содержатся в работах С. В. Зонна, С. А. Захарова, Ф. Я. Гаврилюка, Б. Х. Фиापшева, В. И. Кумахова, Э. Н. Молчанова (Захаров, 1934; Зонн, Герасимов, 1946; Гаврилюк, 1955; Фиапшев и др., 1985; Кумахов, 2007; Молчанов и др., 2017). Данные о различных подтипах горных чернозёмов приведены в материалах НИИ СевКавНИИгипрозем (Почвы Кабардино-Балкарской АССР, 1984). В работах указанных авторов содержится подробная информация, описывающая морфогенетические и физико-химические свойства горных и равнинных чернозёмов Центрального Кавказа. Их своеобразие обуславливают специфические черты горного почвообразования – литогенность, скелетность, повышенная гумусность, подверженность эрозионным процессам, горизонтальная миграция почвенных растворов, элювиальность профиля (Вальков, 2001).

Биологические свойства горных чернозёмов Центрального Кавказа, отражающие важнейшие аспекты функционирования почвенной системы, до настоящего времени не изучались. Не установлены показатели и общий уровень биологической активности этих уникальных почв. Актуальность такого рода исследований обусловлена возрастанием антропогенной нагрузки, которая в условиях горных ландшафтов приводит к быстрому, а иногда необратимому изменению почвенных свойств. Установить параметры и общий уровень биологической активности ненарушенных естественных горных чернозёмов необходимо для дальнейшего изучения степени их изменения.

В ряде опубликованных нами ранее работ представлены результаты исследований биологических свойств равнинных чернозёмов Центрального Кавказа, функционирующих в условиях естественных и сельскохозяйственных биогеоценозов (Гедгафова и др., 2015; Горобцова и др., 2017, 2015, 2016). Описание биологических свойств равнинных и горных чернозёмов не только отражает неизвестные ранее биологические аспекты горного почвообразования, но и позволяет определить параметры и общий уровень биологической активности различных подтипов естественных горных чернозёмов, сохранившихся в условиях горных ландшафтов.

Поэтому целью данного исследования является сравнение биологических свойств и определение общего уровня биологической активности в верхних наиболее биогенных горизонтах (0 – 20 см) равнинных и горных чернозёмов Центрального Кавказа (в границах Кабардино-Балкарии).

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследования являются естественные обыкновенные, типичные и выщелоченные горные и равнинные чернозёмы Центрального Кавказа. Равнинные чернозёмы распространены в степной зоне (140 – 400 м над ур. м.) в эльбрусском и в терском вариантах поясности. Эльбрусский вариант занимает бассейн р. Малка, терский – бассейн р. Терек, граница между ними проходит по линии гор Дых-тау – Каракая и далее по нижнему течению р. Баксан (Соколов, Темботов, 1989). Климат в эльбрусском варианте поясности более сухой и континентальный по сравнению с мягкими и влажными условиями терского варианта (Темботов, 1997). Горные чернозёмы распространены только в эльбрусском варианте, в поясе луговых степей (от 400 – 500 до 700 – 800 м над ур. м.) и остепнённых лугов (от 600 – 700 до 1500 м над ур. м.), где занимают площадь около 845 км².

Почвообразующими породами для равнинных чернозёмов являются элювиально-делювиальные отложения, а также лёссовидные суглинки и карбонатные глины (Кумахов, 2007). Горные чернозёмы сформировались на карбонатных глинах, элювио-делювии известняков, выщелоченные чернозёмы – нередко на известняковых песчаниках (Почвы Кабардино-Балкарской АССР, 1984).

Почвообразующие условия исследуемых территорий достаточно разнообразны и существенно отличаются на равнинах и в предгорьях и среднегорьях. Средние за 12 лет климатические показатели районов распространения равнинных чернозёмов меняются в зависимости от рельефа и близости к горам. Среднегодовая температура снижается от +10.5°C (214 м над ур. м., метеостанция г. Прохладный) до +9.7°C (512 м над ур. м., метеостанция г. Нальчик), а количество осадков повышается от 489 до 639 мм (Ашабоков и др., 2005). Коэффициент увлажнения Высоцкого-Иванова (Ку) увеличивается от 0.55 до 0.78 соответственно.

В районах распространения горных чернозёмов (500 – 1200 м над ур. м.) среднегодовая температура меняется от +6.9 до +7.8°C, количество осадков варьирует от 660 до 760 мм/г*. Для горных чернозёмов характерно функционирование в условиях более высокого увлажнения ($Ky \geq 1$) при периодически промывном и промывном водном режимах (Почвы Кабардино-Балкарской АССР, 1984).

Равнинные чернозёмы сформировались под злаковыми и разнотравно-злаковыми степными сообществами с участием бобовых (Улигова и др., 2016). При переходе в пояс луговых степей и остепнённых лугов естественные травянистые сообщества становятся богаче и разнообразнее, увеличивается проективное покрытие и высота травостоя, а в понижениях и балках развивается кустарниковая и древесная растительность (Цепкова, 2006). В естественном растительном покрове горных чернозёмов доминируют разнотравно-злаковые и злаково-разнотравные группировки с высоким видовым разнообразием, образующие плотную дернину.

Методы исследования. Отбор образцов равнинных целинных чернозёмов проводили в период полевых сезонов 2009 – 2014 гг. ежегодно в первой декаде июля, чтобы избежать сезонного варьирования показателей биологической активности. Образцы горных почв отбирали в аналогичные сроки в 2016 г. Сбор и анализ

* Данные сайта : URL: [https:// ru.climate-data.org](https://ru.climate-data.org).

почвенных образцов для определения физико-химических и биологических свойств верхних горизонтов горных и равнинных чернозёмов (0 – 20 см) осуществляли по общепринятым в экологии и почвоведении методам (ГОСТ 17.4.4.02 84). Всего отобрано и проанализировано 184 почвенных образца, при этом количество смешанных проб для каждого подтипа чернозёма (в зависимости от занимаемой площади) варьировало от 8 до 40. При определении мест отбора использовали почвенную карту исследуемых территорий М 1:100000 (Молчанов, 1990).

Высоту над уровнем моря и географические координаты определяли с помощью навигатора GPSMAP 60 СЕХ: высотные пределы точек отбора проб чернозёмов степной зоны 171 – 453 м над ур. м., координаты 43°26'348" – 43°69'791" с. ш., 43°58'930" – 44°39'590" в. д. Точки отбора образцов горных чернозёмов лежат в пределах от 515 до 929 м над ур. м., координаты 43°54'802" – 43°88'910" с. ш., 43°44'530" – 42°08'068" в. д. Диагностику исследуемых подтипов чернозёмов осуществляли в соответствии с генетической классификацией почв (Классификация..., 1977).

Лабораторно-аналитические исследования выполняли в 3 – 9-кратной повторности. Содержание гумуса определяли по методу Тюрина в модификации Никитина, рН водной суспензии (1:2.5) – потенциометрически. Активность ферментов (инвертазы, уреазы, фосфатазы, дегидрогеназы) установили колориметрически, каталазы – газометрически в соответствии с методиками Галстяна в модификации Хазиева (1982, 1976). Полученные показатели оценивали по шкале Гапонюк, Малахова (1985). Относительную суммарную профильную активность пяти контролируемых ферментов рассчитали в соответствии с методикой Звягинцева (1980).

Определение скорости базального и субстрат-индуцированного дыхания (БД и СИД) проводили в соответствии с методическими разработками Ананьевой (Ананьева, 2003; Ананьева и др., 2011). Преинкубацию образцов осуществляли при оптимальной влажности почв (60% ПВ) в течение 7 сут. при температуре 22°C в полиэтиленовых пакетах с воздухообменом. Количественно выделение углекислого газа определяли в соответствии с методикой Галстяна (1961). Скорость СИД оценивали по скорости дыхания микроорганизмов после обогащения почвы глюкозой (0.2 мл/г сухой почвы; титр 0.05 г глюкозы) и инкубирования в течение 4 ч при температуре 22°C. Для расчётов содержания углерода микробной биомассы ($C_{\text{мик}}$) скорость СИД выражали в мкл $\text{CO}_2/\text{г}$ почвы в час. $C_{\text{мик}}$ (мкг С/г почвы) = СИД (мкл $\text{CO}_2/\text{г}$ почвы/ч) $\times 40.04 + 0.37$ (Anderson, Domsch, 1978, 1986, 1990).

Для определения и сравнения общего уровня биологической активности различных подтипов чернозёмов использовали методику определения интегрального показателя эколого-биологического состояния почв (ИПЭБСП) (Казеев и др., 2003, 2004). При расчётах применили данные запасов гумуса и микробной биомассы, скорости БД, активности пяти изученных ферментов. Статистическую обработку осуществляли в программе «Statistica-10.0». Достоверности различия изученных почвенных характеристик оценивали при уровне значимости $\alpha \leq 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Как показывают результаты исследования (таблица), для сравниваемых чернозёмов характерны слабощелочные и нейтральные условия, что соответствует

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ

генетическим особенностям изучаемых почв и способствует оптимальным условиям функционирования почвенной биоты.

Средние значения физико-химических и биологических показателей равнинных и горных чернозёмов (0 – 20 см) Центрального Кавказа (в границах Кабардино-Балкарии)

| Физико-химические показатели | | | | |
|--|--|---|---|---|
| Содержание гумуса, % | Запас гумуса, т/га | Плотность сложения, г/см ³ | pH (H ₂ O) | |
| Чернозёмы обыкновенные | | | | |
| <u>5.5±0.2</u> | <u>141±5</u> | <u>1.2±0.1</u> | <u>8.01±0.07</u> | |
| 8.1±0.5 | 148±9 | 1.0±0.1 | 7.96±0.24 | |
| Чернозёмы типичные | | | | |
| <u>5.5±0.2</u> | <u>145±6</u> | <u>1.3±0.1</u> | <u>7.90±0.08</u> | |
| 9.8±0.9 | 172±13 | 1.0±0.1 | 8.03±0.17 | |
| Чернозёмы выщелоченные | | | | |
| <u>5.4±0.3</u> | <u>129±11</u> | <u>1.3±0.1</u> | <u>7.19±0.16</u> | |
| 8.5±0.9 | 144±13 | 1.0±0.1 | 7.14±0.123 | |
| Микробиологические показатели | | | | |
| Скорость БД, мкг CO ₂ /1г/ч | Скорость СИД, мкг CO ₂ /1 г | Содержание С _{мик} , мкг С/1 г | Запас С _{мик} , г/м ² | |
| Чернозёмы обыкновенные | | | | |
| <u>11.1±0.9</u> | <u>38.9±5.0</u> | <u>861±111</u> | <u>214±31</u> | |
| 11.5±1.3 | 64.5±7.6 | 1430±167 | 295±38 | |
| Чернозёмы типичные | | | | |
| <u>9.2±1.0</u> | <u>63.3±5.8</u> | <u>1340±128</u> | <u>328±42</u> | |
| 13.9±1.9 | 71.9±3.4 | 1591±75 | 391±22 | |
| Чернозёмы выщелоченные | | | | |
| <u>6.6±0.1</u> | <u>35.4±8.6</u> | <u>784±190</u> | <u>184±36</u> | |
| 8.6±1.4 | 74.7±7.4 | 1652±163 | 315±30 | |
| Показатели активности ферментов | | | | |
| Дегидрогеназа, мг ТФФ 10г/24ч | Каталаза, мл O ₂ 1 г/1 мин | Инвертаза, мг глюкозы 1 г/24 ч | Уреаза, мг NH ₃ 10 г/ 24 ч | Фосфатаза, мг P ₂ O ₅ / 100 г/1 ч |
| Чернозёмы обыкновенные | | | | |
| <u>7.8±0.5</u> | <u>8.3±0.3</u> | <u>19.5±.9</u> | <u>32.2±1.1</u> | <u>23.2±1.6</u> |
| 13.7±0.9 | 5.5±0.6 | 11.1±1.6 | 51.2±5.0 | 23.0±0.1 |
| Чернозёмы типичные | | | | |
| <u>6.5±0.4</u> | <u>6.5±0.4</u> | <u>18.6±1.2</u> | <u>36.5±3.4</u> | <u>22.6±1.7</u> |
| 9.3±0.8 | 7.7±1.0 | 9.8±1.6 | 59.5±15.2 | 20.3±1.7 |
| Чернозёмы выщелоченные | | | | |
| <u>4.8±0.4</u> | <u>5.1±0.4</u> | <u>20.2±1.6</u> | <u>39.2±4.6</u> | <u>22.7±1.7</u> |
| 10.2±0.9 | 6.3±0.4 | 9.8±1.1 | 54.4±13.5 | 21.5±0.7 |

Примечание. В числителе – средние показатели равнинных чернозёмов, в знаменателе – средние показатели горных чернозёмов. Шкала оценки содержания углерода микробной биомассы (мкг С/г почвы) в почвах: до 200 – очень низкое; 201 – 500 – низкое; 501 – 1000 – среднее; более 1000 – высокое (Гавриленко и др., 2011).

Равнинные чернозёмы, относящиеся к различным подтипам, имеют практически одинаковые средние значения содержания гумуса в верхних горизонтах, которые позволяют охарактеризовать их как среднегумусные. Среди горных чернозёмов выделяются чернозёмы типичные, которые по данному показателю можно отнести к тучным (Вальков и др., 2002 б; Казеев и др., 2004). Среднее содержание гумуса в горных чернозёмах выше, чем в равнинных аналогах на 32 – 44%, обна-

руженные различия статистически значимы для всех представленных подтипов ($t > 4.32$, $P < 0.0002$).

Параметры респираторной активности микробной биомассы (БД и СИД) хорошо зарекомендовали себя в качестве индикаторов состояния почвенной микробиоты. Обычно они применяются при оценке влияния различных негативных процессов, протекающих в антропогенно-нарушенных почвах (DIN ISO 14240-1, 1997; Insam, Domsch, 1988; Ananyeva et al., 2002; Anderson, 2003; Anderson, Domsch, 2010). Представленные данные свидетельствуют, что они эффективны и для сравнения физиологической активности почвенных микроорганизмов, функционирующих в естественных горных и равнинных условиях.

Все микробные показатели в той или иной степени выше в горных почвах. Скорость БД, характеризующая фоновую дыхательную активность почвенных микроорганизмов, выше в горных чернозёмах на 18 – 34%, однако только в чернозёмах типичных различие статистически значимо ($t = 2.50$, $P = 0.02$). Скорость СИД отражает физиологический потенциал микробной биомассы, проявляющийся в оптимальных условиях влажности, температуры и достаточного количества субстрата. В горных чернозёмах скорость СИД выше на 12 – 53% (достоверно для обыкновенных и выщелоченных чернозёмов ($t > 2.93$, $P < 0.009$)). Содержание Смк, рассчитанное на основе данных скорости СИД, достоверно повышается в горных чернозёмах обыкновенных и типичных от среднего до высокого уровня (на 40 и 53%). В чернозёмах типичных повышение данного показателя составляет 16%. В целом респираторная активность почвенной микробиоты в горных чернозёмах выше. В некоторых случаях установленные различия не являются статистически значимыми и могут быть определены как тенденция увеличения физиологической активности и количественных показателей состояния микробного сообщества в верхних горизонтах горных чернозёмов.

Изменение активности изученных ферментов в равнинных и горных условиях имеет сложный характер. Кatalаза и дегидрогеназа, относящиеся к классу оксидоредуктаз, по-разному изменяют свою активность в сравниваемых чернозёмах. Показатели деятельности *каталазы* в верхних горизонтах всех изученных почв могут характеризоваться как средние, и различия в генетических парах не являются статистически значимыми. Кatalаза входит в состав дыхательных ферментов, активизирующих расщепление перекиси водорода (продукта многих биохимических реакций). Фермент накапливается и выделяется микроорганизмами, для которых разложение H_2O_2 является одним из источников энергии, поэтому активность этого фермента связывают с функциональной активностью почвенной микробной биомассы (Галстян, 1974; Тульская, Звягинцев, 1980; Щербакова, 1983; Stpniewska et al., 2009; Purev et al., 2012). Положительная корреляция ($r = 0.5$ для горных почв и $r = 0.6$ для равнинных при уровне значимости $\alpha \leq 0.05$) подтверждает взаимосвязь между показателями скорости БД и деятельностью каталазы.

Дегидрогеназа существует только в живых клетках, поэтому её деятельность связывают с деятельностью почвенных микроорганизмов, количеством гумусовых веществ легко поддающихся разложению, интенсивностью процессов нитрификации, азотфиксации (Валова и др., 2012; Елешев, Бакенова, 2012; Järvan et al., 2014; Kaczynski et al., 2016). Полученные данные свидетельствуют, что дегидрогеназа

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ

более активна в горных чернозёмах (на 30 – 53%). Обнаруженные различия статистически значимы для всех подтипов ($t > 2.70$, $P < 0.01$). Вероятно, усиление активности дегидрогеназы в определённой степени связано с большей физиологической активностью почвенной микробиоты в горных почвах. Статистический анализ показал наличие положительной корреляции между микробными показателями и активностью дегидрогеназы ($r < 0.3$).

Деятельность каждого из представителей гидролитических ферментов, влияющих на интенсивность углеродного (инвертазы), азотного (уреаза) и фосфорного (фосфатаза) обмена, обладает определёнными особенностями. Максимальные различия между горными и равнинными почвами установлены для *инвертазы* – слабоактивной в горных чернозёмах и проявляющей среднюю активность в равнинных. Различия между абсолютными показателями статистически значимы для всех подтипов ($t > 2.71$, $P < 0.01$) и в горных условиях на 43 – 52% ниже, чем в равнинных. Возможно, на активность инвертазы влияет карбонатность щебнистых включений, характерных для горных почв, так как известно, что высокое содержание карбонатов ингибирует действие фермента (Хазиев, 1976).

Проявление активности *уреазы* носит противоположный и более предсказуемый характер. Её средние показатели в горных чернозёмах выше на 28 – 39% и различия статистически значимы ($t > 2.81$, $P < 0.008$). Так как уреазы вырабатывается в основном группой уробактерий, а также попадает в почву с остатками отмерших растений (Хазиев, 1976; Lloyd, Jane, 1973), более высокое содержание гумуса и углерода микробной биомассы в горных почвах соответствует и большей активности данного фермента ($r = 0.5$). Данные, характеризующие деятельность *фосфатазы*, мало отличаются друг от друга и относятся к категории средних во всех подтипах горных и равнинных чернозёмов.

Расчёт *суммарной относительной активности пяти изученных ферментов* показал, что максимальным значением данного показателя, принятым за 100%, обладают равнинные чернозёмы обыкновенные, относительно которых суммарная ферментативная активность горных обыкновенных чернозёмов составляет 99.7%. Для чернозёмов типичных соответствующие показатели 92 и 97%, для выщелоченных – 88 и 94%.

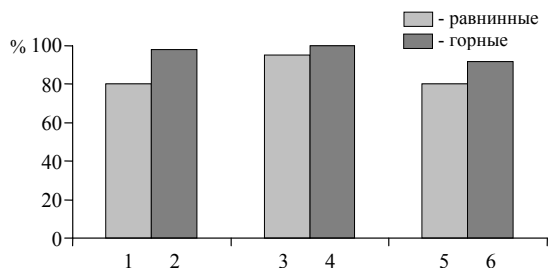
Таким образом, суммарная относительная ферментативная активность верхних горизонтов в горных и равнинных условиях либо практически совпадает, либо незначительно выше в горных почвах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные параметры биологической активности обладают в горных и равнинных условиях определёнными различиями. В горных чернозёмах существенно выше содержание гумуса (в среднем на 38%), активность дегидрогеназы и уреазы (в среднем на 42 и 35% соответственно), в той или иной степени выше (на 12 – 53%) все микробные показатели. В равнинных почвах выше активность инвертазы (в среднем на 47%), а каталаза и фосфатаза обладают сопоставимыми средними показателями.

Дисперсионный анализ полученных данных показал, что влияние условий формирования (горные или равнинные) – более значимый фактор, чем особенно-

сти исследуемых почв на уровне подтипа для целого ряда параметров биологической активности (плотность почвы, содержание гумуса, активность инвертазы, скорость СИД и соответственно содержание $C_{\text{мик}}$). Для перечисленных показателей сила влияния фактора генетических различий на уровне подтипа лежит в границах 1 –



Общий уровень биологической активности горных и равнинных чернозёмов (в слое 0 – 20 см), установленный на основе определения ИПЭБСП (отн. %): 1 – равнинный чернозём обыкновенный, 2 – горный чернозём обыкновенный, 3 – равнинный чернозём типичный, 4 – горный чернозём типичный, 5 – равнинный чернозём выщелоченный, 6 – горный чернозём выщелоченный; 100 – 81 – очень высокая биологическая активность; 80 – 61 – высокая; 60 – 41 – средняя; 40 – 21 – низкая; менее 20% – очень низкая (Казеев и др., 2003)

Представленные данные о биологических свойствах естественных почв дополняют и расширяют сведения о горных и равнинных чернозёмах Центрального Кавказа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Ананьева Н. Д. Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М. : Наука, 2003. 222 с.

Ананьева Н. Д., Сусьян Е. А., Гавриленко Е. Г. Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1327 – 1333.

Ашабоков Б. А., Федченко Л. М., Калов Х. М., Бисчиков Р. М., Богаченко Е. М. Анализ и прогноз изменения климата в Кабардино-Балкарской республике. Нальчик : Изд-во Кабардино-Балкарской гос. с.-х. академии, 2005. 150 с.

Валова Е. Э., Цыбенков Ю. Б., Цыбикова Э. В. Влияние тяжёлых металлов на ферментативную активность почв // Учен. зап. Забайкальского гос. ун-та. 2012. № 1 (42). С. 63 – 67.

Вальков В. Ф. Почвенно-географические исследования на Северном Кавказе : к истории заблуждений // Научная мысль Кавказа. 2001. № 1. С. 57 – 61.

Вальков В. Ф., Колесников С. И., Казеев К. Ш. Почвы Юга России : классификация и диагностика. Ростов н/Д : Изд-во Сев.-Кавказ. науч. центра высш. шк., 2002 а. 168 с.

Вальков В. Ф., Казеев К. Ш., Колесников С. И. Оригинальность чернозёмов Предкавказья // Научная мысль Кавказа. 2002 б. № 4. С. 45 – 52.

Гавриленко Е. Г., Сусьян Е. А., Ананьева Н. Д., Макаров О. А. Пространственное варьирование содержания углерода микробной биомассы и микробного дыхания южного подмосковья // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1231 – 1245.

5%, а сила влияния условий формирования – на 15 – 33%.

Для того чтобы определить и сравнить общий уровень биологической активности в верхних горизонтах равнинных и степных чернозёмов исследуемых территорий, применили методику определения интегрального показателя эколого-биологического состояния почв (ИПЭБСП). Значения ИПЭБСП интегрируют данные о запасах гумуса и $C_{\text{мик}}$, интенсивности БД, активности пяти изученных ферментов (рисунок).

Диаграмма отражает несколько более высокий уровень биологической активности горных чернозёмов, установленные различия лежат в границах 5 – 18%.

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ

Гаврилюк Ф. Я. Черноземы Западного Предкавказья. Харьков : Изд-во Харьк. ун-та, 1955. 146 с.

Галстян А. Ш. Дыхание почвы как один из показателей ее биологической активности // Сообщение лаборатории агрохимии АН АрмССР. Биологические науки. 1961. № 5. С. 69 – 74.

Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван : Айастан, 1974. 275 с.

Гапонюк Э. И., Малахов С. В. Комплексная система показателей экологического мониторинга почв // Тр. 4-го Всесоюз. совещ. Л. : Гидрометеоздат, 1985. С. 3 – 10.

Гедгафова Ф. В., Улигова Т. С., Горобцова О. Н., Темботов Р. Х. Биологическая активность черноземных почв Центрального Кавказа (в пределах терского варианта поясности Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2015. № 12. С. 1474 – 1482.

Горобцова О. Н., Хежева Ф. В., Улигова Т. С., Темботов Р. Х. Эколого-географические закономерности изменения биологической активности автоморфных почв равнинных и предгорных территорий Северного макросклона Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2015. № 3. С. 347 – 359.

Горобцова О. Н., Хежева Ф. В., Улигова Т. С., Темботов Р. Х. Экофизиологические индикаторы состояния микробной биомассы чернозёмов Центрального Кавказа (в пределах терского варианта поясности Кабардино-Балкарии) // Экология. 2016. № 1. С. 22 – 29.

Горобцова О. Н., Улигова Т. С., Темботов Р. Х., Хакунова Е. М. Оценка уровня биологической активности агрогенных и естественных чернозёмов Кабардино-Балкарии // Почвоведение. 2017. № 3. С. 1 – 10.

ГОСТ 17.4.4.02 84 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа» (введен в действие постановлением Госстандарта СССР от 19 декабря 1984 г. № 4731). М., 1984. 8 с.

Елешев Р. Е., Бакенова Ж. Б. Изменение биологической каштановой почвы при длительном применении удобрений в плодосемянном севообороте с масличными культурами // Почвоведение. 2012. № 11. С. 1126 – 1230.

Захаров С. А. Вертикальная зональность почв на Кавказе // Почвоведение. 1934. № 6. С. 15 – 21.

Звягинцев Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии. М. : Изд-во МГУ, 1980. 224 с.

Зонн С. В., Герасимов И. П. Краткий почвенно-географический очерк Кабардинской АССР // Природные ресурсы Кабардино-Балкарской АССР. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1946. С. 325 – 362.

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.

Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биология почв юга России. Ростов н/Д : Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.

Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 224 с.

Кумахов В. И. Почвы Центрального Кавказа. Нальчик : Полиграфсервис и Т., 2007. 125 с.

Молчанов Э. Н. Почвенный покров Кабардино-Балкарской АССР // Пояснительный текст к Почвенной карте Кабардино-Балкарской АССР. М. : ГУГК при СМ СССР, 1990. 19 с.

Молчанов Э. Н., Савин И. Ю., Разумов В. В., Макаров О. А., Цветнов Е. В., Ермияев Р. Я., Шишконова Е. А., Харзинов С. М. Деградация горных черноземов северного склона Джигальского хребта (Центральный Кавказ) и ее эколого-экономические последствия // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. 2017. Вып. 87. С. 86 – 99.

Почвы Кабардино-Балкарской АССР и рекомендации по их использованию / Гос. проектный ин-т по землеустройству СевКавНИИгипрозем. Нальчик. 1984. 201 с.

Соколов В. Е., Темботов А. К. Позвоночные Кавказа. Млекопитающие. Насекомоядные. М. : Наука, 1989. 547 с.

Темботов А. А. Особенности состава и высотно-поясного размещения млекопитающих альпобрусского варианта поясности Центрального Кавказа // Экология млекопитающих горных территорий : материалы Всерос. совещ. Нальчик : Изд. центр «Эльфа», 1997. С. 121 – 125.

Тульская Е. М., Звягинцев Д. Г. Иммобилизация каталазы и специфика каталазной активности // Почвоведение. 1980. № 1. С. 90 – 96.

Улигова Т. С., Горобцова О. Н., Цепкова Н. Л., Рапопорт И. Б., Гедгафова Ф. В., Темботов Р. Х. Эколого-биологическая характеристика естественных степных биогеоценозов Центрального Кавказа (терский вариант поясности, Кабардино-Балкария) // Поволж. экол. журн. 2016. № 3. С. 330 – 340.

Фиатишев Б. Х., Трофименко К. И., Кумахов В. И., Курпиченков М. Т., Петров Л. Н., Пищуга Н. С., Сикорский М. И. Черноземы Центрального и Восточного Предкавказья // Черноземы СССР (Предкавказье и Кавказ). М. : Агропромиздат, 1985. С. 54 – 146.

Хазиев Ф. Х. Ферментативная активность почв. М. : Наука, 1976. 180 с.

Хазиев Ф. Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М. : Наука, 1982. 203 с.

Цепкова Н. Л. Разнообразие фитоценозов равнинной территории Кабардино-Балкарской республики // Проблемы экологии горных территорий. М. : Т-во науч. изд. КМК, 2006. С. 151 – 154.

Щербаклова Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. Минск : Наука и техника, 1983. 222 с.

Ananyeva N. D., Blagodatskaya E. V., Demkina T. S. Estimating the resistance of soil microbial complexes to natural and anthropogenic impacts // Eurasian Soil Science. 2002. Vol. 35, iss. 5. P. 514 – 521.

Anderson J. P. E., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biology and Biochemistry. 1978. Vol. 10, iss. 3. P. 215 – 221.

Anderson T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality // Agriculture Ecosystems and Environment. 2003. Vol. 98. P. 285 – 293.

Anderson T. H., Domsch K. H. Carbon links between microbial biomass and soil organic matter // Perspectives in Microbial Ecology / eds. F. Megusar, M. Gantar. Ljubljana : Mladinska knjiga, 1986. P. 467 – 471.

Anderson T. H., Domsch K. H. Application of ecophysiological quotients qCO_2 and qD on microbial biomass from soils of different cropping histories // Soil Biology and Biochemistry. 1990. Vol. 22, iss. 2. P. 251 – 255.

Anderson T. H., Domsch K. H. Soil microbial biomass : the eco-physiological approach // Soil Biology and Biochemistry. 2010. Vol. 42, iss. 12. P. 2039 – 2043.

DIN ISO 14240-1. Soil quality – determination of soil microbial biomass. Part 1 : substrate-induced respiration method. Berlin ; Wien ; Zürich : Beuth, 1997. P. 123 – 126.

Insam H., Domsch K. H. Relation between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites // Microbial Ecology. 1988. Vol. 15, iss. 2. P. 177 – 188.

Järvan M., Edesi L., Adamson A., Võsa T. Soil microbial communities and dehydrogenase activity depending on farming systems // Plant, Soil and Environment. 2014. Vol. 60, № 10. P. 459 – 463.

Kaczynski P., Lozowicka B., Hrynko I., Wolejko E. Behaviour of mesotritone in maize and soil system and its influence on soil dehydrogenase activity // Science of the Total Environment. 2016. Vol. 571. P. 1079 – 1088.

Lloyd A., Jane M. Sheaffe Urease activity in soils // Plant and Soil. 1973. Vol. 39, iss. 1. P. 71 – 80.

Purev D., Bayarmaa J., Ganchimeg B., Ankhtsetseg B., Anumandal O. Catalase, protease and urease activity in some types of soil // Mongolian J. of Chemistry. 2012. Vol. 13, № 39. P. 16 – 18.

Stpniewska Z., Wolińska A., Ziomek J. Response of soil catalase activity to chromium contamination // J. of Environmental Sciences. 2009. Vol. 21, iss. 8. P. 1142 – 1147.

**BIOLOGICAL ACTIVITY OF MOUNTAIN AND PLAIN CHERNOSEM SOILS
IN THE CENTRAL CAUCASUS (WITHIN KABARDINO-BALKARIA)**

**Olga N. Gorobtsova¹, Tatyana M. Minkina², Tatyana S. Uligova¹,
Rustam Kh. Tembotov¹, and Elena M. Khakunova¹**

¹ *Institute of Ecology of Mountain Territories of Russian Academy of Sciences
37a I. Armand Str., Nalchik 360000, Russia*

² *Southern Federal University
194/1 Stachki Prospekt, Rostov-on-Don 344090, Russia
E-mail: ecology_lab@mail.ru*

Received 1 December 2017, accepted 2 February 2018

Gorobtsova O. N., Minkina T. M., Uligova T. S., Tembotov R. Kh., Khakunova E. M. Biological Activity of Mountain and Plain Chernosem Soils in the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria). *Povolzhskiy Journal of Ecology*, 2018, no. 2, pp. 183–196 (in Russian). DOI: 10.18500/1684-7318-2018-2-183-196

A comparative analysis of biological properties of several subtypes of mountain and plain chernosems in the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria) was conducted. Statistically significant differences between the parameters of biological activity in the upper horizons (0 – 20 cm) of the soils under study were revealed. Mountain chernosems are characterized by the high humus content (by 38% on average), an increased activity of dehydrogenase (by 42%) and urease (by 35%), and all microbial parameters (by 12 – 53%). The invertase activity was higher in plain chernosems (by 47% on average). Dispersion analysis has shown that the influence of formation conditions (mountain or plain) is a more significant factor for a number of the studied parameters than features of the studied soils at the subtype level. The strength of the factor of genetic differences lies in the range of 1 – 5%, while the influence of formation conditions ranges from 15 to 33%. The total biological activity of the upper horizons in mountain and plain chernosems was evaluated by means of an integral index of ecologico-biological soil status (IEBSS) which shows a higher biological activity of the upper horizons in mountain soils (IEBSS differences are within 5 – 18%).

Key words: humus, microbial biomass, enzymatic activity, integral index of ecologico-biological soil state.

DOI: 10.18500/1684-7318-2018-2-183-196

REFERENCES

Ananyeva N. D. *Microbiological Self-Purification and Stability of Soils*. Moscow, Nauka Publ., 2003. 222 p. (in Russian).

Ananyeva N. D., Susyan E. A., Gavrilenko E. G. Determination of the Soil Microbial Biomass Carbon Using the Method of Substrate-Induced Respiration. *Eurasian Soil Science*, 2011, vol. 44, iss. 11, pp. 1215–1221.

Ashabokov B. A., Fedchenko L. M., Kalov Kh. M., Bischokov R. M., Bogachenko E. M. *Analiz i prognoz izmeneniya klimata v Kabardino-Balkarskoj respublike* [Analysis and Forecast of Climate Changes in the Kabardino-Balkaria Republic]. Nalchik, Kabardino-Balkaria State Agricultural Academy Publ., 2005. 150 p. (in Russian).

- Valova E. E., Tsybenov Yu. B., Tsybikova E. V. Heavy Metals Influence on Soil Enzymatic Activity. *Scholarly Notes of Transbaikal State University*, 2012, no. 1 (42), pp. 63–67 (in Russian).
- Val'kov V. F. Soil-geographical researches in the North Caucasus: to the history of delusions. *Scientific Thought of Caucasus*, 2001, no. 1, pp. 57–61 (in Russian).
- Val'kov V. F., Kolesnikov S. I., Kazeev K. Sh. *Pochvy Yuga Rossii: klassifikaciya i diagnostika* [Soils of Southern Russia: Classification and Diagnostics]. Rostov-on-Don, Izdatelstvo Severo-Kavkazskogo nauchnogo centra vysshej shkoly, 2002 a. 168 p. (in Russian).
- Val'kov V. F., Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. Biological activity of Soils of the North Caucasus. *Scientific Thought of Caucasus*, 2002, no. 4, pp. 45–52 (in Russian).
- Gavrilenko E. G., Susyan E. A., Ananyeva N. D., Makarov O. A. Spatial variability in the carbon of microbial biomass and microbial respiration in soils of the south of Moscow oblast. *Eurasian Soil Science*, 2011, vol. 44, no. 10, pp. 1215–1138 (in Russian).
- Gavrilyuk F. Ya. *Chernozemy Zapadnogo Predkavkazya* [Chernozems of the Western Caucasasia]. Kharkov, Izdatelstvo Harkovskogo universiteta, 1955. 146 p. (in Russian).
- Galstyan A. Sh. Soil Respiration as an Indicator of Biological Activity. *Soobshch. Soobsheenie Laboratorii Agrohimii AN ArmSSR. Biologicheskie nauki*, 1961, no. 5, pp. 69–74 (in Russian).
- Galstyan A. Sh. *Fermentativnaya aktivnost pochv Armenii* [Enzymatic Activity of Soils of Armenia]. Yerevan, Ajastan Publ., 1974. 275 p. (in Russian).
- Gaponyuk E. I., Malakhov S. V. A system of parameters for the ecological monitoring of soils. *Proceedings of Fourth All-Union Meeting*. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1985, pp. 3–10 (in Russian).
- Gedgafova F. V., Uligova T. S., Gorobtsova O. N., Tembotov R. Kh. The biological activity of chernozems in the Central Caucasus Mountains (Terskii variant of altitudinal zonality), Kabardino-Balkaria. *Eurasian Soil Science*, 2015, vol. 48, no. 12, pp. 1341–1348.
- Gorobtsova O. N., Khezheva F. V., Uligova T. S., Tembotov R. Kh. Ecological and geographical regularities of changes in the biological activity of automorphic soils on the foothills and adjacent plains of the Central Caucasus region (Kabardino-Balkaria Republic). *Eurasian Soil Science*, 2015, vol. 48, no. 3, pp. 303–313.
- Gorobtsova O. N., Gedgafova F. V., Uligova T. S., Tembotov R. Kh. Ecophysiological indicators of microbial biomass status in chernozem soils of the Central Caucasus (in the territory of Kabardino-Balkaria with the Terek variant of altitudinal zonation). *Russian J. of Ecology*, 2016, vol. 47, no. 1, pp. 19–25.
- Gorobtsova O. N., Uligova T. S., Tembotov R. K., Khakunova E. M. Assessment of biological activity in agrogenic and natural chernozems of Kabardino-Balkaria. *Eurasian Soil Science*, 2017, vol. 50, no. 5, pp. 589–596.
- GOST 17.4.4.02 84 “Nature protection. Soils. Methods of sampling and preparation of samples for chemical, bacteriological and helminthological analysis” (enacted by the USSR State standard. 19 December 1984, no. 4731). Moscow, 1984. 8 p. (in Russian).
- Eleshev R. E., Bakenova J. B. Changes in the biological activity of chestnut soils upon the long-term application of fertilizers in a rotation with oil-bearing crops. *Eurasian Soil Science*, 2012, vol. 45, no. 11, pp. 1081–1085.
- Zakharov S. A. Vertical zoning of soils in the Caucasus. *Pedology*, 1934, no. 6, pp. 15–21 (in Russian).
- Zvyagintsev D. G. *Metody pochvennoj mikrobiologii i biohimii* [Methods of soil Microbiology and biochemistry]. Moscow, Izdatelstvo MGU, 1980. 224 p. (in Russian).
- Zonn S. V., Gerasimov I. P. *Kratkij pochvenno-geograficheskij ocherk Kabardinskoj ASSR* [Brief Soil-Geographical Sketch of Kabardian ASSR]. In: *Prirodnye resursy Kabardino-Balkarskoj ASSR* [Natural resources of Kabardino-Balkar ASSR]. Moscow, Izdatelstvo AN SSSR, 1946, pp. 325–362 (in Russian).

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ И РАВНИННЫХ ЧЕРНОЗЕМОВ

Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Val'kov V. F. *Biologicheskaya diagnostika i indikaciya pochv: metodologiya i metody issledovanij* [Biological diagnostics and indication of soils: methodology and methods of analysis]. Rostov-on-Don, Izdatelstvo Rostovskogo universiteta, 2003. 204 p. (in Russian).

Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Val'kov V. F. *Biologiya pochv yuga Rossii* [Biology of soils of the Southern Russia]. Rostov-on-Don, Izdatelstvo CVVR, 2004. 350 p. (in Russian).

Klassifikaciya i diagnostika pochv SSSR [Classification and diagnostics of soils of the Soviet Union]. Moscow, Kolos Publ., 1977. 221 p. (in Russian).

Kumakhov V. I. *Pochvy Centralnogo Kavkaza* [Soils of Central Caucasus]. Nalchik, Poligrafservis i T. Publ., 2007. 125 p. (in Russian).

Molchanov E. N. Pochvennyj pokrov Kabardino-Balkarskoj ASSR [Soil map of the Kabardino-Balkaria Republic]. In: *Poyasnitelnyj tekst k Pochvennoj karte Kabardino-Balkarskoj ASSR* [Explanatory text to the soil map of Kabardino-Balkaria SSR]. Moscow, GUGK pri SM SSSR, 1990. 19 p. (in Russian).

Molchanov E. N., Savin I. Yu., Razumov V. V., Makarov O. A., Tsvetnov E. V., Ermiyaev Ya. R., Shishkonakova E. A., Harzinov S. M. The degradation of the mountain chernozems of the Slope of Djinal Ridge (Central Caucasus) and its ecologic and economic consequences. *Byulleten Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva*, 2017, vol. 87, pp. 86–99 (in Russian). DOI: 10.19047/0136-1694-2017-87-86-99

Pochvy Kabardino-Balkarskoj ASSR i rekomendacii po ih ispolzovaniyu [Soils of the Kabardino-Balkaria Republic and recommendations for Their Use. Russian State Project Institute on the Land Management]. Nalchik, Gosudarstvennyj proektnyj institut po zemleustrojstvu SevKavNIigiprozem, 1984. 201 p. (in Russian).

Sokolov V. E., Tembotov A. K. *Vertebrates of the Caucasus. Mammals. Insectivores*. Moscow, Nauka Publ., 1989. 547 p. (in Russian).

Tembotov A. A. Osobennosti sostava i vysotno-poyasnogo razmesheniya mlekopitayushih elbrusskogo varianta pojasnosti Centralnogo Kavkaza [Peculiarities of chemical composition and high-zone host mammals of the Elbrus variant of altitudinal zones of the Central Caucasus]. In: *The Ecology of the Mammals of Mountain Territories: Proceedings of All-Russian Conference*. Nalchik, Izdatelskij centr "Elfa", 1997, pp. 121–125 (in Russian).

Tul'skaya E. M., Zvyagintsev D. G. Immobilization of catalase and specificity catalase activity. *Pochvovedenie*, 1980, no. 1, pp. 90–96 (in Russian).

Uligova T. S., Gorobtsova O. N., Tsepkova, N. L., Rapoport, I. B., Gedgafova F. V., Tembotov R. Kh. Ecological and biological characteristics of the natural steppe ecosystems of the Central Caucasus (the Terek option belts, Kabardino-Balkaria). *Povolzhskiy J. of Ecology*, 2016, no. 3, pp. 330–340 (in Russian).

Fiapshv B. H., Trofimenko K. I., Kumakhov V. I., Kuprichenkov M. T., Petrov L. N., Pishuga N. S., Sikorskii M. I. Chernozemy Centralnogo i Vostochnogo Predkavkazya [Chernozems of Central and Eastern Ciscaucasia]. In: *Chernozemy SSSR (Predkavkaze i Kavkaz)* [Chernozems of the USSR (the Caucasus and the Caucasus)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985, pp. 54–146 (in Russian).

Khaziev F. Kh. *Fermentativnaya aktivnost pochv* [Enzymatic activity of soils]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 180 p. (in Russian).

Khaziev F. Kh. *Sistemno-ekologicheskij analiz fermentativnoj aktivnosti pochv* [System ecological analysis of enzymatic activity of soils]. Moscow, Nauka Publ., 1982. 203 p. (in Russian).

Tsepkova N. L. The Diversity of Phytocenoses in Plain Areas of the Kabardino-Balkar Republic. In: *Ecological Problems in Mountain Territories*. Moscow, KMK Scientific Press Ltd., 2006, pp. 151–154 (in Russian).

Shcherbakova T. A. *Fermentativnaya aktivnost pochv i transformaciya organicheskogo veshstva* [Enzymatic Activity of Soils and Transformation of Organic Matter]. Minsk, Nauka i tehnika Publ., 1983. 222 p. (in Russian).

Ananyeva N. D., Blagodatskaya E. V., Demkina T. S. Estimating the resistance of soil microbial complexes to natural and anthropogenic impacts. *Eurasian Soil Science*, 2002, vol. 35, iss. 5, pp. 514–521.

Anderson J. P. E., Domsch K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 1978, vol. 10, iss. 3, pp. 215–221.

Anderson T. H. Microbial eco-physiological indicators to assess soil quality. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2003, vol. 98, pp. 285–293.

Anderson T. H., Domsch K. H. Carbon links between microbial biomass and soil organic matter. In: F. Megusar, M. Gantar, eds. *Perspectives in Microbial Ecology*. Ljubljana, Mladinska knjiga, 1986, pp. 467–471.

Anderson T. H., Domsch K. H. Application of ecophysiological quotients qCO_2 and qD on microbial biomass from soils of different cropping histories. *Soil Biology and Biochemistry*, 1990, vol. 22, iss. 2, pp. 251–255.

Anderson T. H., Domsch K. H. Soil microbial biomass : the eco-physiological approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 2010, vol. 42, iss. 12, pp. 2039–2043.

DIN ISO 14240-1. Soil quality – determination of soil microbial biomass. Part 1: substrate-induced respiration method. Berlin, Wien, Zürich, Beuth, 1997, pp. 123–126.

Insam H., Domsch K. H. Relation between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequences of reclamation sites. *Microbial Ecology*, 1988, vol. 15, iss. 2, pp. 177–188.

Järvan M., Edesi L., Adamson A., Võsa T. Soil microbial communities and dehydrogenase activity depending on farming systems. *Plant, Soil and Environment*, 2014, vol. 60, no. 10, pp. 459–463.

Kaczynski P., Lozowicka B., Hrynko I., Wolejko E. Behaviour of mesotriene in maize and soil system and its influence on soil dehydrogenase activity. *Science of the Total Environment*, 2016, vol. 571, pp. 1079–1088.

Lloyd A., Jane M. Sheaffe Urease activity in soils. *Plant and Soil*, 1973, vol. 39, iss. 1, pp. 71–80.

Purev D., Bayarmaa J., Ganchimeg B., Ankhtsetseg B., Anumandal O. Catalase, protease and urease activity in some types of soil. *Mongolian J. of Chemistry*, 2012, vol. 13, no. 39, pp. 16–18.

Stpniewska Z., Wolińska A., Ziomek J. Response of soil catalase activity to chromium contamination. *J. of Environmental Sciences*, 2009, vol. 21, iss. 8, pp. 1142–1147.