

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БУРОЗЕМОВ СТАРОВОЗРАСТНЫХ ВЫРУБОК ЗАПАДНОГО КAVKAZA

А.К. Шхапацев^{1✉}, К.Ш. Казеев², Ю.С. Козунь²,
В.П. Солдатов², А.Н. Федоренко², С.И. Колесников²

¹ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», Россия, 385000, Республика Адыгея, г. Майкоп, ул. Первомайская, д. 191

²Южный федеральный университет, Россия, 344006, г. Ростов-на-Дону, ул. Б. Садовая, д. 105/42

f_agr_technolog@mkgtu.ru

Выявлены особенности экологического состояния и биологической активности буроземов (бурые лесные или Cambisols) старовозрастных вырубок низкогорий (500–700 м н. у. м.) Западного Кавказа по сравнению с почвами фоновых лесов Кавказского биосферного заповедника. Растительность контрольного леса представлена буково-пихтовым трехъярусным мертво-покровным лесом. Исследуемые буроземы близки по основным параметрам климата, рельефа, почвообразующих пород и гранулометрическому составу. Обнаружены значительные изменения некоторых химических и биологических показателей буроземов фонового леса и вырубок на поздних стадиях восстановительной сукцессии. Найдены значения интегрального показателя биологического состояния буроземов вырубок разного возраста, рассчитанного по девяти различным показателям существенно превышают значения почв контрольного леса (на 21...23 %). Основная причина этого явления — активизация биологических процессов в буроземах вырубок в результате развития травянистого напочвенного покрова после сведения леса.

Ключевые слова: биоиндикация, биодиагностика, ферментативная активность, почвенный покров, сукцессии

Ссылка для цитирования: Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Солдатов В.П., Федоренко А.Н., Колесников С.И. Биологическая активность буроземов старовозрастных вырубок Западного Кавказа // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 47–59. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-47-59

Лесные экосистемы Кавказа являются крупнейшими слабонарушенными природными экосистемами на юге европейской территории России с высоким разнообразием флоры и фауны. Однако и здесь антропогенное воздействие постоянно усиливается, что обуславливает трансформацию экосистем и изменение экологических функций почв. Почвы — важный компонент наземных экосистем, определяющий их продуктивность. В предгорной и горной зонах юга европейской территории России почвы подвергаются значительному воздействию в ходе их интенсивного использования. Зональными почвами горных территорий Западного Кавказа являются буроземы и серые лесные почвы, а также серые лесостепные и дерново-карбонатные почвы [1]. Антропогенное воздействие, особенно вырубка лесов, приводит к деградации природных экосистем, почв и почвенного покрова [2, 3]. Для диагностики экологического состояния окружающей среды широко используют биоиндикацию и биодиагностику [4–7]. При оценке плодородия и качества почв широко используются методы почвенной энзимологии [8–11]. Ферментативную активность успешно применяют на юге России при оценке

экологического состояния почв после агрогенного воздействия [12–15] и пожаров [16–18].

Исследования сукцессионных изменений лесных экосистем на Западном Кавказе были проведены сотрудниками Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН [19, 20]. Было установлено, что запасы углерода в минеральных горизонтах почв суббореальных лесов связаны с отношением C/N в подстилке, проективным покрытием верхнего полога деревьев и видовой насыщенностью растений [19]. Выявлено, что в почвах «окоп» в пологе леса на участках, освобожденных после падения деревьев, в результате восстановительной сукцессии активизируются биологические процессы и депонирование органического углерода [20]. Об изменении содержания органического углерода и активности ферментов при различных нарушениях лесов сообщали и другие ученые [21, 22]. Восстановление леса и облесение территорий способствуют повышению активности каталазы, дегидрогеназ, уреазы и других ферментов [23].

Исследования проводились в рамках комплексной оценки направления эволюции почв хронорядов с разной продолжительностью после сведения леса в результате сплошных рубок. Ранее были проведены исследования карболитоземов



Рис. 1. Контрольный лес буковый мертвопокровный, Кавказский заповедник

Fig. 1. Control beech deadwood forest, Kavkazsky Reserve

в хроноряду от одной недели до 12 лет после рубки [24–26], серых лесостепных почв на террасе р. Белая близ станции Даховская (хроноряд 5...15 лет) [26], а также серых лесных почв хроноряд 10...40 лет на склонах хребта Уна-Коз и горы Гуд недалеко от слияния рек Дах и Белая [27]. В результате проведенных исследований было выявлено, что биологическая активность почв Западного Кавказа значительно изменяется после сведения лесов и восстанавливается с разной скоростью в зависимости от типа почвы, степени их нарушения по мере увеличения возраста вырубок. Однако возврата до исходных значений биологической активности не происходит и за 40 лет восстановительной сукцессии. Основным деградационным фактором, снижающим биологическую активность, является эрозия, развивающаяся на склоновых территориях после сведения леса.

Цель работы

Цель работы — сравнительный анализ биологической активности буроземов старовозрастных вырубок и контрольных почв фоновых участков леса Кавказского государственного природного биосферного заповедника.

Материалы и методы

В настоящую работу вошли результаты исследований, проведенных в 2019–2021 гг. Исследуемая территория относится к Западной горной провинции Большого Кавказа. Среднегодовое количество осадков составляет 1200 мм. Среднегодовая температура — +10,3 °С. Высота над уровнем моря 500...700 м. Контрольные участки леса расположены в Кавказском государственном природном биосферном заповеднике (далее — Кавказский заповедник) около впадения р. Молчепа

в р. Белая (пос. Гузерипль, Республика Адыгея). Здесь распространены старовозрастные пихто-буковые (*Fagus orientalis* и *Abies nordmanniana*) мертвопокровные леса в терминальной стадии (рис. 1, табл. 1). Вырубки возрастом 40...50 и 90...110 лет (рис. 2, 3, табл. 2) расположены в 35 км от контрольных участков леса в сходных условиях климата, рельефа, высоты местности над уровнем моря и почвообразующих пород около пос. Отдаленный (Апшеронский район Краснодарского края) в нижней части склона р. Пшеха (левый приток р. Белая). Различия между участками состоят прежде всего в растительности. На старовозрастных вырубках отмечены поздние стадии восстановительных сукцессий после сплошных рубок леса. Мезорельеф всех исследуемых участков характеризуется нижними частями пологих склонов (от 1...2 до 6...8°). В почвенном покрове доминируют зональные почвы среднегорий Кавказа — буроземы на элювии глинистых сланцев (рис. 5). Эти почвы выделены Э. Раманном в 1905 г. как новый тип, характерный для умеренно-теплых и умеренно-влажных лесов Европы [28]. Буроземы горных территорий Кавказа и Крыма подробно описаны в работах [1, 29].

На фоновой территории (контроль) и каждой вырубке было исследовано по 3 участка на расстоянии 200...500 м один от другого, на которых отобрано по три почвенных образца почв случайно на расстоянии нескольких метров друг от друга. Глубина отбора образцов составляла 0...10 см, в нескольких случаях отбор проводили по всему почвенному профилю.

Температуру почв определяли послойно электронным термометром HANNA СНЕСТЕМР и бесконтактным пирометром DT-810 СЕМ, влажность почвы — с помощью влагомера Fieldscout TDR 100 в 10-кратной повторности, плотность сложения почвы — в 3-кратной повторности объемно-весовым методом с помощью стальных колец объемом 135 см³. Интенсивность эмиссии почвами СО₂ исследована в полевых условиях камерным методом газоанализатором Testo-535 [30, 31].

Лабораторно-аналитические исследования проведены в лабораториях Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета с помощью традиционных методов исследований [31–33]. Структурно-агрегатный анализ почвы проводили методом сухого просеивания почвы через колонку сит с размерами ячеек от 10 мм до 0,25 мм по Н.И. Саввинову. Метод определения водопрочности агрегатов по Адрианову основан на учете агрегатов, расплывшихся в воде за определенный промежуток времени. Реакцию среды рН (водный и солевой) определяли в почвенной вытяжке (по-



Рис. 2. Осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес, 40...50 лет после рубки

Fig. 2. Aspen-hornbeam honeysuckle-grass forest, 40...50 years after felling



Рис. 3. Буково-пихтово-грабовый лес, 90...110 лет после рубки

Fig. 3. Beech-fir-hornbeam forest, 90...110 years after logging

Т а б л и ц а 1

Характеристика контрольных участков

Characteristics of control areas

Площадка	Высота над уровнем моря, м	Географические координаты	Растительность	Почва
К1	700	44°12.602' с. ш., 40°11.543' в. д.	Буково-пихтовый лес трехъярусный мертвопокровный	Бурозем кислый слабокаменистый
К2	717	43°59.531' с. ш., 40°08.160' в. д.	Пихто-букняк трехъярусный мертвопокровный, 7Б ЗП	Бурозем кислый слабокаменистый
К3	703	44°00.000' с. ш., 40°08.544' в. д.	Буко-пихтарник, 6П 4Б, мертвопокровный	Бурозем кислый

Т а б л и ц а 2

Характеристика участков вырубок

Characteristics of felling sites

Площадка	Возраст вырубки, лет	Высота над уровнем моря, м	Географические координаты	Растительность	Почва
М1	40...50	532	44°04.001' с. ш., 039°42.949' в. д.	Осиново-грабовый жимолостно- разнотравный лес	Бурозем кислый
М2		510	44°04.151' с. ш., 039°42.782' в. д.		
М3		507	44°04.001' с. ш., 039°42.649' в. д.		
М4	90...110	511	44°03.785' с. ш., 039°42.793' в. д.	Буково-пихто-грабовый мелкотравный лес	Бурозем кислый
М5		517	44°03.942' с. ш., 039°42.869' в. д.		
М6		545	44°03.690' с.ш., 039°43.063' в.д.		Бурозем кислый слабокаменистый

чва : вода — 1 : 2,5) потенциметрическим методом на анализаторе АНИОН 4100.

Гидролитическую кислотность определяли по Каппену, сумму поглощенных оснований по Каппену — Гильковицу. Содержание подвижных форм азота и фосфора определяли традиционными методами: обменный аммоний с реактивом Несслера, нитратов — потенциметрическим

методом и по Грандваль-Ляжу, подвижных форм фосфора — по Кирсанову.

Содержание общего гумуса определяли методом бихроматного окисления И.В. Тюрина в модификации Никитина. Определение активного углерода проводили окислением 0,02 М раствором перманганата калия методом Блейра в модификации Вейла [34]. О ферментативной

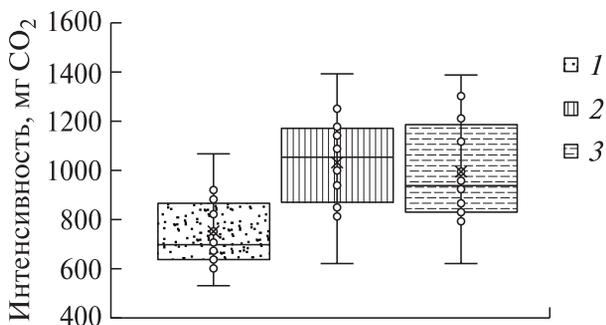


Рис. 4. Интенсивность эмиссии CO₂ буроземами, мг CO₂: 1 — вырубка, 40...50 лет; 2 — вырубка, 90...110 лет; 3 — лес контрольный
Fig. 4. Intensity of CO₂ emission by brown soil forests, mg CO₂: 1 — harvesting, 40...50 years; 2 — harvesting, 90...110 years; 3 — control forest

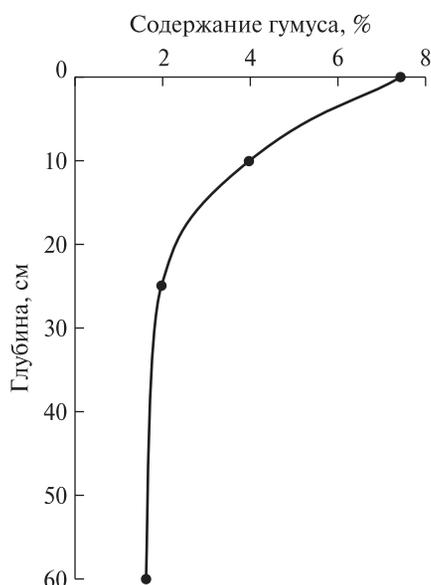


Рис. 5. Профильное распределение содержания гумуса в буроземе с глубиной, контрольный лес
Fig. 5. Profile distribution of humus content in brown soil with depth, control forest

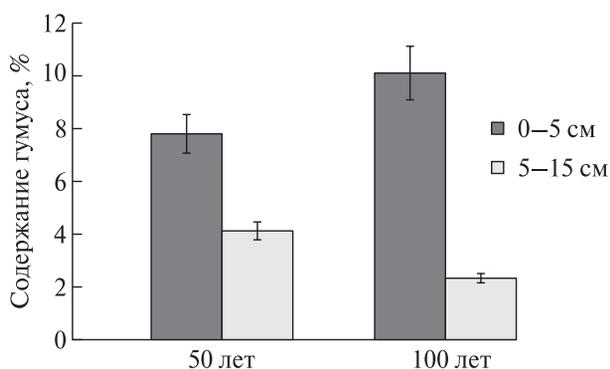


Рис. 6. Снижение содержания гумуса в буроземах вырубок с глубиной
Fig. 6. Decrease in humus content in brown soil of clearcuts with depth

активности почв судили по активности разных классов ферментов: оксидоредуктаз (каталаза, дегидрогеназы) и гидролаз — (β-фруктофуранозидаза (инвертаза), фосфатаза и уреазы) по скорости разложения субстратов: пероксида водорода, трифенилтетразолия хлористого, сахарозы, п-нитрофенилфосфата натрия, мочевины [31, 35]. Микробная биомасса определена регидратационным методом, общая численность микроорганизмов — люминесцентно-микроскопическим методом с окрашиванием акридином оранжевым на микроскопе Carl Zeiss Axio LabA1 [31].

Для определения различий в уровне биогенности и биологической активности разных почв определяли интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы. С его помощью можно оценить совокупность биологических показателей, выраженных в разных единицах, что позволяет нивелировать случайные колебания, характерные для большинства биологических параметров [31, 36]. Для расчета ИПБС за 100 % принимается максимальное значение каждого из показателей и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в остальных образцах:

$$B_1 = (B_x / B_{max}) \cdot 100 \%,$$

где B₁ — относительный балл показателя;
 B_x — фактическое значение показателя;
 B_{max} — максимальное значение показателя.

После этого рассчитывают средний оценочный балл изученных показателей ИПБС почвы — аналогично расчету относительного балла показателя.

Статистическая обработка результатов исследования проведена с использованием программ Statistica 10.0 и MS Excel.

Результаты и обсуждение

Исследуемые почвы обладают кислой реакцией среды, водный и солевой pH в почвах контрольного леса и старовозрастных вырубок практически идентичны (водный 5,6–5,7, солевой 4,1–4,3). Влажность буроземов разных территорий была на высоком уровне 28...33 % вследствие дождливого периода в летние месяцы во время исследований. Температурные характеристики в верхнем слое почвы также благоприятны для протекания биологических процессов +16...20 °С.

Агрегированность почвенной структуры на вырубках находится на высоком уровне независимо от возраста — 78...79 %. Это незначительно превышает контрольные значения почвы коренного леса в заповеднике. Также очень высоки значения водопрочности почвенных агрегатов — 79...83 % на вырубках и 99 % в контрольном лесу. Все это свидетельствует об оструктуренности

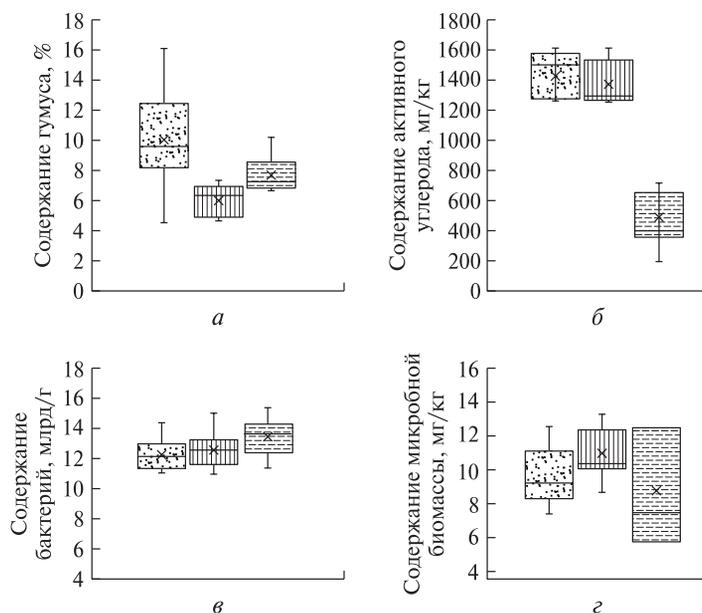


Рис. 7. Содержание гумуса (*a*), активного углерода (*б*), бактерий (*в*) и микробной биомассы (*г*) в буроземах (обозначение почв см. рис. 4)

Fig. 7. Content of humus (*a*), active carbon (*б*), bacteria (*в*) and microbial biomass (*г*) in buruzems (see Fig. 4 for soils)

исследуемых буроземов, что обеспечивает им хорошую водопроницаемость в верхних горизонтах, но не спасает от оглеения в условиях высокого увлажнения, особенно при отсутствии уклонов, способствующих внутрипочвенному стоку. Развитию глеевого процесса препятствует также высокая скелетность буроземов, что типично для исследуемого региона. Однако на исследуемых участках уклоны местности и скелетность почв недостаточно выражены, поэтому оглеение почвы во влажные сезоны развивается, что находит отражение в морфологических проявлениях в виде сизоватых пятен и ржавых прожилок. Оглеение снижает биологическую активность, особенно ингибируя оксидазы, способствуя, однако стимулированию редуктаз и в случае незначительной выраженности оглеения — гидролаз [37, 38]. Близкие значения отмечены также для суммы обменных оснований на всех исследуемых участках 4,3...5,5 мг-экв./100 г почвы. А вот гидролитическая кислотность была значительно меньше в почвах вырубок разных возрастов — 2,8 мг-экв./100 г почвы по сравнению с контрольными значениями почвы в заповеднике — 6,0 мг-экв./100 г почвы. Поэтому и степень насыщенности основаниями в почвах вырубок (61...65 %) была существенно выше контроля (49 %).

Интенсивность дыхания почв на исследуемых участках высока и значительно варьирует, что требует увеличения количества повторностей для выявления достоверных различий. При этом

выявлено, что на вырубках возрастом 40...50 лет значения эмиссии CO_2 из почв на 28 % ниже, чем на участках более старого возраста (рис. 4). Эмиссия CO_2 из почв контрольного участка леса практически равна таковой на участке вырубке возрастом 90...110 лет.

Содержание гумуса в поверхностном слое исследуемых буроземов по оценочной шкале [39, 40] среднее, что характерно для почв этого типа [1]. Мощность гумусо-аккумулятивного горизонта незначительна. Профильное распределение гумуса типично для большинства лесных почв (рис. 5). Содержание гумуса снижается с 7,4 % на глубине 0...10 см до 2,0 % на глубине 20...30 см. Это связано с характером поступления органических остатков в лесу с опадом на поверхность почвы. На вырубке возрастом 40...50 лет содержание гумуса практически одинаково с почвой контрольного участка леса (рис. 6, 7, *a*). Буроземы вырубков возрастом 90...110 лет имеют заметные отличия в профильном распределении гумуса, содержание которого в поверхностном слое возрастает до 10,1 %, в то время как в слое 5...15 см, наоборот, снижается с 4,1 до 2,3 %. Возможно, это связано с ослабеванием дернового процесса вследствие снижения роли напочвенного покрова из трав на последних стадиях восстановительной сукцессии по мере усиления затенения поверхности при смыкании крон деревьев. Количество опада увеличивается относительно более молодой вырубке, что приводит к накоплению гумуса в поверхностном слое почвы. Также на вырубках

старшего возраста имеет значение и повышение доли пихты, опад которой обладает большей устойчивостью к разложению геобионтами [20].

О высокой интенсивности аккумуляции гумуса в почвах старовозрастных вырубок свидетельствует и повышение содержания активного углерода, отражающего долю подвижного органического вещества (см. рис. 7, б).

Следует отметить, что нами исследованы минеральные горизонты почв без горизонта лесной подстилки, которая в значительной мере разлагается уже к середине вегетационного периода, однако имеет большое значение в биологических процессах. Возможно, для подобных исследований вместо традиционного метода определения содержания гумуса более корректно применение метода прокалывания образца почвы без предварительной очистки от корней растений и органических веществ.

Буроземы кислые старовозрастных вырубок Апшеронского лесничества в поверхностном горизонте по шкале Д.Г. Звягинцева [41] обладают средней обогаченностью бактериями — 4,1–4,2 млрд/г. Это незначительно меньше, чем в буроземах Кавказского заповедника ($4,5 \pm 0,2$) (см. рис. 7, в). Ранее выявлено, что численность бактерий при лесовозобновлении меньше изменяется по сравнению с другими биологическими показателями [23]. Значительное время, прошедшее с момента рубки леса, привело к восстановлению обилия микроорганизмов в буроземах старовозрастных вырубок до уровня значений их обилия в почвах фоновых лесов Кавказского заповедника. При этом почвы вырубок 40...50 лет и 110...120 лет неразличимы по этому показателю, причем на разных участках обилие бактерий варьировало в довольно широких пределах — 3,7...5,0 млрд/г. Это связано со значительной неоднородностью лесных почв, обусловленной локальными особенностями растительности, микрорельефа, вывалов деревьев и др. На глубине 5...15 см численность бактерий значительно уменьшается — 3,0...3,6 млрд/г. Микробная биомасса в исследуемых почвах не имеет достоверных отличий вследствие высокой вариабельности показателя (см. рис. 7, г).

Ферментативная активность проявилась как информативный показатель в биологической диагностике исследуемых буроземов. Однако активность разных ферментов в исследуемых почвах имела специфические черты в зависимости от их группы и вида. Даже ферменты, относящиеся к одному классу, могут вести себя по-разному в почвах исследуемого хронорядя (рис. 8). Так, активность каталазы в почвах старовозрастных вырубок характеризуется очень высоким уровнем активности по шкале Д.Г. Звягинцева [41] и зна-

чительно (почти в 3–4 раза) превосходит почвы контрольного участка леса в Кавказском заповеднике, где активность этого фермента находится на среднем уровне обогаченности. Почвы участков с более длительным восстановлением (вырубка 90...110 лет) обладают на 45 % большей активностью, чем почвы вырубки возрастом 40...50 лет. Активность каталазы показывает высокую чувствительность при оценке степени деградации лесных почв [24–26], однако чаще всего слабо коррелирует с плодородием и продуктивностью почв [42, 12, 13]. Этот фермент обладает значительной устойчивостью и относительно низким варьированием [35, 42], однако на исследуемых участках варьирование было очень высоким — на вырубках 14...22 %, на контроле — 36 %. Выявлено, что активность дегидрогеназ максимальна в почве контрольного леса. Различия с почвами вырубок не столь существенны (на 7...17 %) для активности каталазы. При этом на вырубках выявлено значительно большее варьирование активности дегидрогеназ, чем в контрольном лесу. Активность ферментов группы гидролаз, отражающих напряженность циклов азота, углерода и фосфора, также была разной в исследуемых буроземах. Активность уреазы была максимальной в контрольном лесу и почти в 2 раза превышала значения этого фермента на вырубках. Инвертаза, напротив, в контрольном лесу обладала почти в 4 раза меньшей активностью, чем на вырубках. Активность фосфатазы также почти в 2 раза меньше в контрольном лесу по сравнению со старовозрастными вырубками. Существенные различия для активности уреазы, фосфатазы и инвертазы между почвами вырубок разного возраста не выявлены. Варьирование значений активности гидролитических ферментов, особенно уреазы, в исследуемых почвах было очень высоким.

Анализ полученных данных показал наличие взаимосвязей (коэффициент ранговой корреляции Спирмена) для некоторых показателей с высоким уровнем значимости ($\alpha = 0,05$). Так, содержание гумуса в поверхностном слое исследуемых почв коррелирует с содержанием поглощенных оснований ($R = 0,90$), структурностью (0,66), микробной биомассой (0,69), численностью бактерий (0,59) и активностью уреазы (0,46). Не установлена связь содержания гумуса с содержанием активного углерода и активностью инвертазы. Эти два показателя обычно тесно связаны с содержанием гумуса в почве [13, 14, 31, 42, 43]. В причинах этого предстоит разобраться в следующих исследованиях. Численность бактерий тесно связана с микробной биомассой ($R = 0,88$), а также влажностью (0,68), активностью инвертазы (0,56).

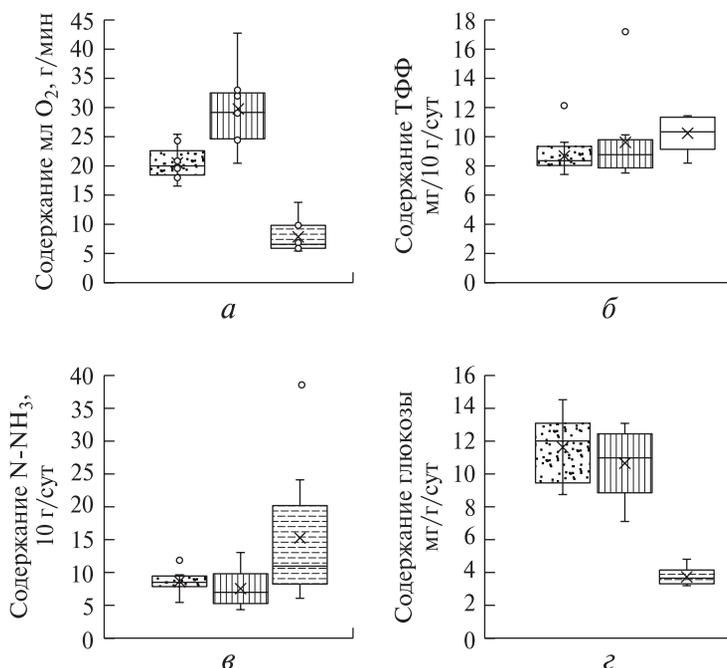


Рис. 8. Ферментативная активность буроземов вырубков (обозначение почв см. рис. 4): *a* — каталаза; *б* — дегидрогеназы; *в* — уреазы; *г* — инвертаза

Fig. 8. Enzymatic activity of brown soil in logged soils (for designation of soils, see Fig. 4): *a* — catalase; *б* —dehydrogenase; *в* — urease; *г* — invertase

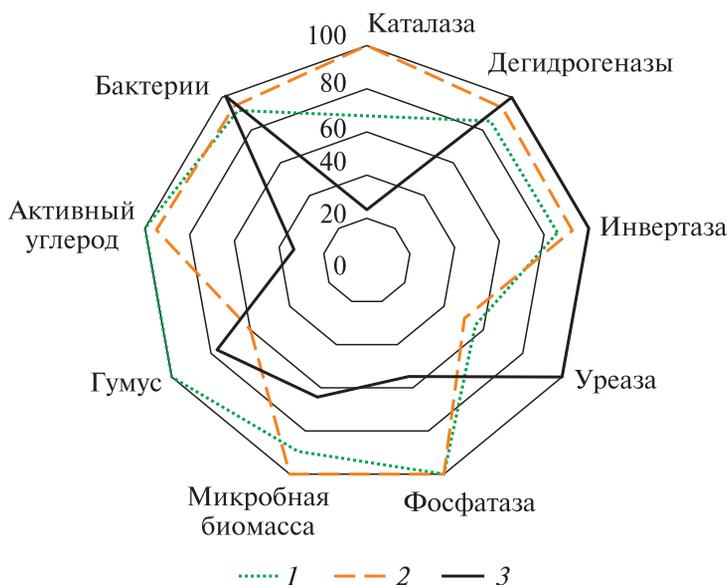


Рис. 9. Биологическая активность в буроземах (обозначения как на рис. 4)

Fig. 9. Biological activity in brown soils (designations as in Fig. 4)

С активностью дегидрогеназ у бактерий отмечена обратная связь (-0,53), в то время как для этих показателей ранее отмечали прямую связь [35]. Не было выявлено связи между ферментами, отражающими напряженность циклов азота и фосфора (уреазы и фосфатазы), и содержанием в почвах подвижных форм азота и фосфора. Об

отсутствии связи и даже возможном подавлении активности ферментов от повышенных концентраций фосфора и азота указывали и другие исследователи [44, 45].

Для обобщения большого массива данных биологических параметров использовали методологию комплексной оценки с применением

ИПБС. Этот подход успешно использован ранее для диагностики экологического состояния почв различного генезиса, подверженных разным антропогенным воздействиям [6, 14, 15, 17, 35, 36, 42, 46]. Комплексная оценка с помощью ИПБС, рассчитанного с учетом девяти индивидуальных точек отбора по девяти показателям (численность бактерий, микробная биомасса, каталаза, дегидрогеназы, инвертаза, уреазы, фосфатаза, содержание гумуса и активного углерода) несмотря на значительные отклонения отдельных параметров, (рис. 9) показала более высокую биологическую активность почв на старовозрастных вырубках по сравнению с фоновыми участками леса. Различия в значениях ИПБС почв вырубков разного возраста практически отсутствуют, в то время как контрольные почвы по сравнению с ними на 23 % менее активны. О повышении биологической активности почв после рубки леса свидетельствуют и другие исследования. Так, для дерново-карбонатных почв Адыгеи установлена возможность значительного повышения биоразнообразия и биологической активности на периферийных участках вырубков уже в первые годы после сведения леса [24–27].

Выводы

Буроземы исследуемых участков контрольного леса и старовозрастных вырубков имеют существенные отличия в химических и биологических свойствах. Интегрированная оценка биологической состояния выявила существенное различие между буроземами фонового леса и вырубков. Причинами значительного увеличения ИПБС является активизация биологических процессов в буроземах после сведения леса в результате развития травянистой растительности, которая приводит к развитию дернового процесса и повышению биологической активности. Не выявлены различия в значениях ИПБС буроземов на старовозрастных вырубках в зависимости от времени после сведения леса.

Благодарности

Выражаем благодарность научному сотруднику Института географии РАН канд. геогр. наук Е.А. Грабенко и научному сотруднику Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН канд. биол. наук Н.Е. Шевченко за консультации и помощь в выборе объектов исследований.

Исследование выполнено при поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-449.2022.5) и Программы стратегического академического лидерства Южного федерального университета («Приоритет 2030», № СП-12-22-9).

Список литературы

- [1] Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Эверест, 2008. 276 с.
- [2] Ивонин В.М., Тертерян А.В. Эрозия почвы во время ливней в производных лесах Северо-Западного Кавказа // Изв. вузов. Лесной журнал, 2015. № 1(343). С. 54–61.
- [3] Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение, 2017. № 7. С. 787–798. <http://www.doi.org/10.7868/S0032180X17070024>
- [4] Creamer R.E., Hannula S.E., VanLeeuwen J.P., Stone D., Rutgers M., Schmelz R.M., deRuiter P.C., Hendriksen N.B., Bolger T., Bouffaud M.L., Buee M., Carvalho F., Costa D., Dirilgen T., Francisco R., Griffiths B.S., Griffiths R., Martin F., daSilva M.P., Mendes S., Morais P.V., Pereira C., Philippot L., Plassart P., Redecker D., Römcke J., Sousa J.P., Wouterse M., Lemanceau P. Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe // Applied Soil Ecology, 2016, no. 97, pp. 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.006>
- [5] Thiele-Bruhn S., Schloter M., Wilke B.-M., Beaudette L. A., Martin-Laurent F., Cheviron N., Mougin C., Römcke J. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment // Soil, 2020, no. 6, pp. 17–34.
- [6] Kozun Y.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic gradients of biological properties of zonal soils of natural lands // Geoderma, 2022, no. 425, p. 116031. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116031>
- [7] Никитин Д.А., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Железова А.Д., Иванова Е.А., Хитров Н.Б., Степанов А.Л. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) // Почвоведение, 2022. № 2. С. 228–243. <http://www.doi.org/10.31857/S0032180X22020095>
- [8] Sinsabaugh R.L., Lauber C.L., Weintraub M.N., Ahmed B., Allison S.D., Crenshaw C., Contosta A.R., Cusack D., Frey S., Gallo M.E., Gartner T.B., Hobbie S.E., Holland K., Keeler B.L., Powers J.S., Stursova M., Takacs-Vesbach C., Waldrop M.P., Wallenstein M.D., Zak D.R., Zeglin L.H. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale // Ecology Letters, 2008, no. 11, pp. 1252–1264.
- [9] Luo L., Meng H., Gu J.D. Microbial extracellular enzymes in biogeochemical cycling of ecosystems // J. of Environmental Management, 2017, no. 197(15), pp. 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.023>
- [10] Cao R., Yang W., Chang C., Wang Z., Wang Q., Li H., Tan B. Differential seasonal changes in soil enzyme activity along an altitudinal gradient in an alpine-gorge region // Applied Soil Ecology, 2021, no. 166, p. 104078. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104078>
- [11] Raiesi F., Pejman M. Assessment of post-wildfire soil quality and its recovery in semi-arid upland rangelands in Central Iran through selecting the minimum data set and quantitative soil quality index // Catena, 2021, no. 201, p. 105202. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105202>
- [12] Горобцова О.Н., Минкина Т.М., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Биологическая активность горных и равнинных черноземов Центрального Кавказа (в границах Кабардино-Балкарии) // Поволжский экологический журнал, 2018. № 2. С. 183–196. <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-2-183-196>
- [13] Лыхман В.А., Безуглова О.С., Горюнов А.В., Полиенко Е.А. Влияние гуминового препарата на структурное состояние и биологическую активность чернозема обыкновенного карбонатного в динамике // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации, 2018. № 3 (31). С. 100–120. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-100-120

- [14] Наими О.И., Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Лыхман В.А., Горовцов А.В., Поволоцкая Ю.С., Дубинина М.Н., Патрикеев Е.С. Фосфатный режим и активность фосфатазы в черноземе обыкновенном при возделывании нута // *Агрохимический вестник*, 2020. № 3. С. 25–29. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10034
- [15] Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Гедгафова Ф.В., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Биологическая активность почв в поясе широколиственных лесов Центрального Кавказа // *Лесоведение*, 2021. № 1. С. 78–92. <http://www.doi.org/10.31857/S0024114821010046>
- [16] Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Комиссаров М.А., Сулейманов Р.Р., Суюндуков Я.Т., Хасанова Р.Ф., Сидорова Л.В., Комиссаров А.В., Сулейманов А.Р., Назырова Ф.И. Влияние пожаров на свойства степных почв Зауралья // *Почвоведение*, 2019. № 12. С. 1513–1523. DOI: 10.1134/S0032180X19120049
- [17] Максимова Е.Ю. Оценка применения гуминовых препаратов в качестве мелиорантов для рекультивации деградированных постпирогенных почв // *Агрохимический вестник*, 2018. № 1. С. 46–41.
- [18] Vilkova V.V., Kazeev K.S., Kolesnikov S.I., Shkhatpatsev A.K. Reaction of the enzymatic activity of soils of xerophytic forests on the Black sea coast in the Caucasus to the pyrogenic impact // *Arid Ecosystems*, 2022, no. 1, pp. 93–98.
- [19] Лукина Н.В., Кузнецова А.И., Горнов А.В., Шевченко Н.Е., Тихонова Е.В., Тебенькова Д.Н., Орлова М.А., Гераскина А.П., Бахмет О.Н., Крышень А.М., Катаев А.Д. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 232 с.
- [20] Шевченко Н.Е., Кузнецова А.И., Тебенькова Д.Н., Смирнов В.Э., Гераскина А.П., Горнов А.В., Грабенко Е.А., Тихонова Е.В., Лукина Н.В. Сукцессионная динамика растительности и запасы почвенного углерода в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // *Лесоведение*, 2019. № 3. С. 163–176. <http://www.doi.org/10.1134/S0024114819030082>
- [21] Mayer M., Prescott C.E., Abaker W.E.A. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis // *Forest Ecology and Management*, 2020, no. 466(15), p. 118127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127>
- [22] Xu M., Liu H., Zhang Q., Zhang Z., Ren C., Feng Y., Yang G., Han X., Zhang W. Effect of forest thinning on soil organic carbon stocks from the perspective of carbon-degrading enzymes // *Catena*, 2022, no. 218, p. 106560. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106560>
- [23] Huang H., Tian D., Zhou L., Su H., Ma S., Feng Y., Z. Tang, Zhu J., Ji C., Fang J. Effects of afforestation on soil microbial diversity and enzyme activity: A meta-analysis // *Geoderma*, 2022, no. 423, p. 115961. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115961>
- [24] Поляков А.И. Изменение горно-лесных экосистем Северного Кавказа вследствие вырубки леса // *Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*, 2010. № 4. С. 113–114.
- [25] Тер-Мисакянц Т.А. Изменение биологических свойств дерново-карбонатных почв Кавказа после вырубки леса // *Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*. 2013. № 3 (175). С. 57–59.
- [26] Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Шхапацев А.К., Шевченко Н.Е., Грабенко Е.А., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // *Лесоведение*, 2021. № 4. С. 426–436. <http://www.doi.org/10.31857/S0024114821040069>
- [27] Shkhatpatsev A.K., Soldatov V.P., Kazeev K.Sh., Grabenko E.A., Kolesnikov S.I. Biological activity of soils of low mountain reliefs in Adygeya after forest felling // *Indian J. of Ecology*, 2021, no. 48(5), pp. 1383–1388.
- [28] Фридланд В.М. Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986. 243 с.
- [29] Костенко И.В. Атлас почв Горного Крыма. Киев: Редакция журнала «Аграрная наука», 2014. 184 с.
- [30] Полевые методы исследования физических свойств и режимов почв / под ред. Е.В. Шеина. М.: Изд-во МГУ, 2001. 200 с.
- [31] Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
- [32] Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
- [33] Минеев В.Г. Агрохимия. М: ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2001. 689 с.
- [34] Weil R., Islam K. R., Stine M.A., Gruver J.B., Samson-Liebig S.E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simple method for laboratory and field use // *American J. of Alternative Agriculture*, 2003, v. 18(1), pp. 3–17. <http://www.doi.org/10.1079/AJAA200228>
- [35] Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методы определения ферментативной активности почв. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2021. 174 с.
- [36] Евстегнеева Н.А., Колесников С.И., Минникова Т.В., Тимошенко А.Н. Оценка экотоксичности тяжелых металлов, металлоидов и неметаллов, содержащихся в отходах предприятий горной промышленности // *Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал)*. 2023. № 5-1. С. 73-85. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_51_0_73
- [37] Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 275 с.
- [38] Кандашова К.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение эколого-биологических свойств почв юга России при оглеении // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки*, 2016. № 2 (190). С. 61–67.
- [39] Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации // *Почвоведение*, 1996. № 2. С. 197–207.
- [40] Бирюков М.В., Бирюкова О.Н. Исследование воздействия гуминовых кислот с помощью бактериального люминесцентного теста // *Вестник Московского университета. Серия 16: Биология*, 2015. № 2. С. 35–38.
- [41] Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей. // *Почвоведение*, 1978. № 6. С. 48–54.
- [42] Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. Ростов-на-Дону: ЦВВР, 2004. 350 с.
- [43] Фаизова В.И. Ферментативная активность черноземов центрального Предкавказья // *Вестник АПК Ставрополя*, 2014. № 3. С. 154–157.
- [44] Stone M.M., Weiss M.S., Goodale C.L., Adams M.B., Fernandez I.J., German D.P., Allison S.D. Temperature sensitivity of soil enzyme kinetics under N-fertilization in two temperate forests // *Global Change Biology*, 2012, no. 18(3), pp. 1173–1184. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02545.x>
- [45] Wu Y., Zhou H.K., Sun W., Zhao Q.F., Liang M., Chen W.J., Guo Z.Q., Jiang Y.K., Jiang Y., Liu G.B., Xue S. Temperature sensitivity of soil enzyme kinetics under N and P fertilization in an alpine grassland // *China Science of The Total Environment*, 2022, no. 838 (Part 1, 10), p. 156042. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156042>
- [46] Kolesnikov S., Minnikova T., Kazeev K., Akimenko Y., Evstegneeva N. Assessment of the ecotoxicity of pollution by potentially toxic elements by biological indicators of haplic chernozem of Southern Russia (Rostov region) // *Water, Air, & Soil Pollution*, 2022, no. 233, p. 18. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05496-3>

Сведения об авторах

Шхапацев Аслан Капланович[✉] — канд. с.-х. наук, декан факультета аграрных технологий ФГБОУ ВО «Майкопский государственный технологический университет», f_agr_technolog@mkgtu.ru

Казеев Камил Шагидуллович — д-р геогр. наук, профессор, директор Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Kamil_kazeev@mail.ru

Козунь Юлия Сергеевна — канд. биол. наук, доцент кафедры экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Kozun@sfedu.ru

Солдатов Василий Петрович — канд. биол. наук, лаборант-исследователь НОЦ «Экология и природопользование», Южный федеральный университет, Vsoldatov@sfedu.ru

Федоренко Анастасия Николаевна — мл. науч. сотр., магистрант Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Afedorenko@sfedu.ru

Колесников Сергей Ильич — д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой экологии и природопользования Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, Южный федеральный университет, Kolesnikov@sfedu.ru

Поступила в редакцию 30.01.2023.

Одобрено после рецензирования 24.04.2023.

Принята к публикации 25.05.2023.

BIOLOGICAL ACTIVITY OF OLD-AGE CUTTINGS CAMBISOLS IN WESTERN CAUCASUS

**A.K. Shkhatpatsev^{1✉}, K.Sh. Kazeev², Yu. S. Kozun²,
V.P. Soldatov², A.N. Fedorenko², S.I. Kolesnikov²**

¹Maikop State Technological University, 191, Pervomaiskaya st., 385000, Republic of Adygea, Maykop, Russia

²Southern Federal University, 105/42, B. Sadovaya st., 344006, Rostov-on-Don, Russia

f_agr_technolog@mkgtu.ru

The peculiarities of ecological state and biological activity of soils in old-growth logging areas (500–700 m above sea level) in the West Caucasus in comparison with the soils of background forests in the Caucasus Biosphere Reserve were revealed. Vegetation of the control forest is represented by beech-fir-tree-tiered dead-grass forest, in cuttings aged 40–50 and 90–110 years the vegetation is represented by aspen-hornbeam honeysuckle-grass and beech-fir-tree-hornbeam small-grass forests. In terms of climate, relief, soil-forming rocks, and granulometric composition, the studied Cambisols are similar in their characteristics. Significant changes in some chemical and biological indicators were revealed in the Cambisols of background forest and cuttings with late stages of regenerative succession. The values of the integral index of the biological state of Cambisols for cuttings of different age calculated according to 9 different indices are 100 and 98 % and significantly exceed the control values (77 %) of soils of the control forest. The reasons for this lie in the greater diversity and productivity of the vegetation ground cover, leading to the activation of biological processes in Cambisols.

Keywords: bioindication, biodiagnostics, enzymatic activity, soil cover, succession

Suggested citation: Shkhatpatsev A.K., Kazeev K.Sh., Kozun Yu.S., Soldatov V.P., Fedorenko A.N., Kolesnikov S.I. *Biologicheskaya aktivnost' burozemov starovozrastnykh vyrubok Zapadnogo Kavkaza* [Biological activity of old-age cuttings cambisols in Western Caucasus]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2023, vol. 27, no. 4, pp. 47–59. DOI: 10.18698/2542-1468-2023-4-47-59

References

- [1] Val'kov V.F., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Pochvy Yuga Rossii* [Soils of Southern Russia]. Rostov-na-Donu: Jeverest, 2008, p. 276.
- [2] Ivonin V.M., Terteryan A.V. *Eroziya pochvy vo vremya livney v proizvodnykh lesakh Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Soil erosion during heavy rainfall in the derived forests of the North West Caucasus]. *Lesnoy Zhurnal* (Russian Forestry Journal), 2015, no. 1 (343), pp. 54–61.
- [3] Dymov A.A. *Vliyanie sploshnykh rubok v boreal'nykh lesakh Rossii na pochvy (obzor)* [Impact of clearcuts in Russian boreal forests on soils (overview)] *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2017, no. 7, pp. 787–798. <http://www.doi.org/10.7868/S0032180X17070024>
- [4] Creamer R.E., Hannula S.E., VanLeeuwen J.P., Stone D., Rutgers M., Schmelz R.M., deRuiter P.C. Hendriksen N.B., Bolger T., Bouffaud M.L., Buee M., Carvalho F., Costa D., Dirilgen T., Francisco R., Griffiths B.S., Griffiths R., Martin F., daSilva M.P.,

- Mendes S., Morais P.V. Pereira C., Philippot L., Plassart P., Redecker D., Römbke J., Sousa J.P., Wouterse M., Lemanceau P. Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe. *Applied Soil Ecology*, 2016, no. 97, pp. 112–124. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.08.006>
- [5] Thiele-Bruhn S., Schloter M., Wilke B.-M., Beaudette L. A., Martin-Laurent F., Cheviron N., Mougin C., Römbke J. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment. *Soil*, 2020, no. 6, pp. 17–34.
- [6] Kozun Y.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic gradients of biological properties of zonal soils of natural lands. *Geoderma*, 2022, no. 425, p. 116031. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116031>
- [7] Nikitin D.A., Semenov M.V., Chernov T.I., Ksenofontova N.A., Zhelezova A.D., Ivanova E.A., Khitrov N.B., Stepanov A.L. *Mikrobiologicheskie indikatory ekologicheskikh funktsiy pochv (obzor)* [Microbiological indicators of soil ecological functions (overview)]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2022, no. 2, pp. 228–243. <http://www.doi.org/10.31857/S0032180X22020095>
- [8] Sinsabaugh R.L., Lauber C.L., Weintraub M.N., Ahmed B., Allison S.D., Crenshaw C., Contosta A.R., Cusack D., Frey S., Gallo M.E., Gartner T.B., Hobbie S.E., Holland K., Keeler B.L., Powers J.S., Stursova M., Takacs-Vesbach C., Waldrop M.P., Wallenstein M.D., Zak D.R., Zeglin L.H. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale. *Ecology Letters*, 2008, no. 11, pp. 1252–1264.
- [9] Luo L., Meng H., Gu J.D. Microbial extracellular enzymes in biogeochemical cycling of ecosystems. *J. of Environmental Management*, 2017, no. 197(15), pp. 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.023>
- [10] Cao R., Yang W., Chang C., Wang Z., Wang Q., Li H., Tan B. Differential seasonal changes in soil enzyme activity along an altitudinal gradient in an alpine-gorge region. *Applied Soil Ecology*, 2021, no. 166, p. 104078. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104078>
- [11] Raiesi F., Pejman M. Assessment of post-wildfire soil quality and its recovery in semi-arid upland rangelands in Central Iran through selecting the minimum data set and quantitative soil quality index. *Catena*, 2021, no. 201, p. 105202. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2021.105202>
- [12] Gorobtsova O.N., Minkina T.M., Uligova T.S., Tembotov R.Kh., Khakunova E.M. *Biologicheskaya aktivnost' gornyykh i ravninnykh chernozemov Tsentral'nogo Kavkaza (v granitsakh Kabardino-Balkarii)* [Biological activity of mountain and plain chernozems of the Central Caucasus (within Kabardino-Balkaria)]. *Povolzhskiy ekologicheskii zhurnal*, 2018, no. 2, pp. 183–196. <https://doi.org/10.18500/1684-7318-2018-2-183-196>
- [13] Lykhman V.A., Bezuglova O.S., Gorovtsov A.V., Polienko E.A. *Vliyaniye guminovogo preparata na strukturnoe sostoyaniye i biologicheskuyu aktivnost' chernozema obyknovennogo karbonatnogo v dinamike* [Effect of humic preparation on the structural condition and biological activity of ordinary carbonate chernozem in dynamics]. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, 2018, no. 3 (31), pp. 100–120. DOI: 10.31774/2222-1816-2018-3-100-120
- [14] Naimi O.I., Bezuglova O.S., Polienko E.A., Lykhman V.A., Gorovtsov A.V., Povolotskaya Yu.S., Dubinina M.N., Patrikeev E.S. *Fosfatnyy rezhim i aktivnost' fosfatazy v chernozeme obyknovennom pri vozdeystvii nuta* [Phosphate regime and phosphatase activity in common chernozem under chickpea cultivation]. *Agrokhimicheskii vestnik*, 2020, no. 3, pp. 25–29. DOI: 10.24411/1029-2551-2020-10034
- [15] Gorobtsova O.N., Uligova T.S., Gedgafova F.V., Tembotov R.Kh., Khakunova E.M. *Biologicheskaya aktivnost' pochv v poyase shirokolistvennykh lesov Tsentral'nogo Kavkaza* [Biological activity of soils in the broad-leaved forest belt of the Central Caucasus]. *Lesovedeniye* [Russian Journal of Forest Science], 2021, no. 1, pp. 78–92. <http://www.doi.org/10.31857/S0024114821010046>
- [16] Gabbasova I.M., Garipov T.T., Komissarov M.A., Suleymanov R.R., Suyundukov Ya.T., Khasanova R.F., Sidorova L.V., Komissarov A.V., Suleymanov A.R., Nazyrova F.I. *Vliyaniye pozharov na svoystva stepnykh pochv Zaural'ya* [The impact of fires on the properties of steppe soils in the trans-Ural region]. *Pochvovedeniye* [Eurasian Soil Science], 2019, t. 52, no. 12, pp. 1598–1607.
- [17] Maksimova E.Yu. *Otsenka primeneniya guminovykh preparatov v kachestve meliorantov dlya rekul'tivatsii degradirovannykh postpyrogennykh pochv* [Evaluation of the use of humic preparations as ameliorants for reclamation of degraded post-pyrogenic soils]. *Agrokhimicheskii vestnik*, 2018, no. 1, pp. 46–41.
- [18] Vil'kova V.V., Kazeev K.S., Kolesnikov S.I., Shkhatpatsev A.K. Reaction of the enzymatic activity of soils of xerophytic forests on the Black sea coast in the Caucasus to the pyrogenic impact. *Arid Ecosystems*, 2022, no. 1, pp. 93–98.
- [19] Lukina N.V., Kuznetsova A.I., Gornov A.V., Shevchenko N.E., Tikhonova E.V., Teben'kova D.N., Orlova M.A., Geras'kina A.P., Bakhmet O.N., Kryshen' A.M., Kataev A.D. *Akkumulyatsiya ugleroda v lesnykh pochvakh i suksessionnyy status lesov* [Carbon storage in forest soils and the successional status of forests]. Moscow: *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK*, 2018, 232 p.
- [20] Shevchenko N.E., Kuznetsova A.I., Teben'kova D.N., Smirnov V.E., Geras'kina A.P., Gornov A.V., Grabenko E.A., Tikhonova E.V., Lukina N.V. *Suksessionnaya dinamika rastitel'nosti i zapasy pochvennogo ugleroda v khvoyno-shirokolistvennykh lesakh Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Successional vegetation dynamics and soil carbon stocks in coniferous-broadleaved forests of the Northwest Caucasus]. *Lesovedeniye* [Russian Journal of Forest Science], 2019, no. 3, pp. 163–176. <http://www.doi.org/10.1134/S0024114819030082>
- [21] Mayer M., Prescott C.E., Abaker W.E.A. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis. *Forest Ecology and Management*, 2020, no. 466(15), p. 118127. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118127>
- [22] Xu M., Liu H., Zhang Q., Zhang Z., Ren C., Feng Y., Yang G., Han X., Zhang W. Effect of forest thinning on soil organic carbon stocks from the perspective of carbon-degrading enzymes. *Catena*, 2022, no. 218, p. 106560. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106560>
- [23] Huang H., Tian D., Zhou L., Su H., Ma S., Feng Y., Z. Tang, Zhu J., Ji C., Fang J. Effects of afforestation on soil microbial diversity and enzyme activity: A meta-analysis. *Geoderma*, 2022, no. 423, p. 115961. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115961>
- [24] Polyakov A.I. *Izmeneniye gorno-lesnykh ekosistem Severnogo Kavkaza vsledstviye vyrubki lesa* [Changes in mountain forest ecosystems of the North Caucasus due to logging]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Estestvennyye nauki* [Bulletin of higher education institutes North Caucasus region. Natural sciences], 2010, no. 4, pp. 113–114.

- [25] Ter-Misakyants T.A. *Izmenenie biologicheskikh svoystv dernovo-karbonatnykh pochv Kavkaza posle vyrubki lesa* [Changes in biological properties of sod-carbonate soils of the Caucasus after logging]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of higher education institutes North Caucasus region. Natural sciences], 2013, no. 3 (175), pp. 57–59.
- [26] Kazeev K.Sh., Soldatov V.P., Shkhapatsev A.K., Shevchenko N.E., Grabenko E.A., Ermolaeva O.Yu., Kolesnikov S.I. *Izmenenie svoystv dernovo-karbonatnykh pochv posle sploshnoy rubki v khvoyno-shirokolistvennykh lesakh Severo-Zapadnogo Kavkaza* [Changes in the Properties of Calcareous Soils after Clearcutting in the Coniferous-Deciduous Forests of the Northwestern Caucasus]. *Lesovedenie* [Russian Journal of Forest Science], 2021, no. 4, pp. 426–436. <http://www.doi.org/10.31857/S0024114821040069>
- [27] Shkhapatsev A.K., Soldatov V.P., Kazeev K.Sh., Grabenko E.A., Kolesnikov S.I. Biological activity of soils of low-mountain reliefs in Adygeya after forest felling. *Indian J. of Ecology*, 2021, no. 48(5), pp. 1383–1388.
- [28] Fridland V.M. *Problemy geografii, genezisa i klassifikatsii pochv* [Problems of geography, genesis and classification of soils]. Moscow: Nauka, 1986, 243 p.
- [29] Kostenko I.V. *Atlas pochv Gornogo Kryma* [Soil Atlas of the Mountain Crimea]. Kiev: Redaktsiya zhurnala «Agrarnaya nauka», 2014, 184 p.
- [30] *Polevye metody issledovaniya fizicheskikh svoystv i rezhimov pochv* [Field methods for studying the physical properties and regimes of soils]. Red. E.V. Shein. Moscow: MGU, 2001, 200 p.
- [31] Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko E.V. *Metody biodiagnostiki nazemnykh ekosistem* [Biodiagnostic methods for terrestrial ecosystems]. Rostov-na-Donu: Izd-vo JuFU, 2016, 356 p.
- [32] Vorob'eva L.A. *Khimicheskii analiz pochv* [Soil chemical analysis]. Moscow: MGU, 1998, 272 p.
- [33] Mineev V.G. *Agrohimiya* [Agrochemicals]. Moscow: VNIIA im. D.N. Pryanishnikova, 2001, 689 p.
- [34] Weil R., Islam K. R., Stine M.A., Gruver J.B., Samson-Liebig S.E. Estimating active carbon for soil quality assessment: A simple method for laboratory and field use. *American J. of Alternative Agriculture*, 2003, v. 18(1), pp. 3–17. <http://www.doi.org/10.1079/AJAA200228>
- [35] Dadenko E.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Metody opredeleniya fermentativnoy aktivnosti pochv* [Methods for determining the enzymatic activity of soils]. Rostov-na-Donu: JuFU, 2021, 174 p.
- [36] Evstegneeva N.A., Kolesnikov S.I., Minnikova T.V., Timoshenko A.N. *Otsenka ekotoksichnosti tyazhelykh metallov, metalloidov i nemetallov, soderzhashchikhsya v otkhodakh predpriyatiy gornoy promyshlennosti* [Assessment of ecotoxicity of heavy metals, metalloids and nonmetals contained in mining wastes]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'* (nauchno-tekhnicheskii zhurnal), 2023, no. 5–1, pp. 73–85. DOI: 10.25018/0236_1493_2023_51_0_73
- [37] Galstyan A.Sh. *Fermentativnaya aktivnost' pochv Armenii* [Enzyme activity of soils in Armenia]. Erevan: Ayastan, 1974, 275 p.
- [38] Kandashova K.A., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. *Izmenenie ekologo-biologicheskikh svoystv pochv yuga Rossii pri ogleenii* [Changes in the ecological and biological properties of soils in southern Russia during gleying]. *Izvestiya vuzov. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki* [Bulletin of higher education institutes North Caucasus region. Natural sciences], 2016, no. 2 (190), pp. 61–67.
- [39] Orlov D.S., Biryukova O.N., Rozanova M.S. *Real'nye i kazhushchiesya poteri organicheskogo veshchestva pochvami Rossiyskoy Federatsii* [Real and apparent losses of organic matter by the soils of the Russian Federation]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2004, no. 8, pp. 918–926.
- [40] Biryukov M.V., Biryukova O.N. *Issledovanie vozdeystviya guminovykh kislot s pomoshch'yu bakterial'nogo lyuminescentnogo testa* [Study of the impact of humic acids using a bacterial luminescent test]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 16: Biologiya* [Bulletin of the Moscow University. Series 16: Biology], 2015, no. 2, pp. 35–38.
- [41] Zvyagintsev D.G. *Biologicheskaya aktivnost' pochv i shkaly dlya otsenki nekotorykh ee pokazateley* [Biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1978, no. 6, pp. 48–54.
- [42] Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. *Biologiya pochv Yuga Rossii* [Soil biology of southern Russia]. Rostov-na-Donu: CVVR, 2004, 350 p.
- [43] Faizova V.I. *Fermentativnaya aktivnost' chernozemov tsentral'nogo Predkavkaz'ya* [Enzyme activity of chernozems of the central Caucasus]. *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2014, no. 3, pp. 154–157.
- [44] Stone M.M., Weiss M.S., Goodale C.L., Adams M.B., Fernandez I.J., German D.P., Allison S.D. Temperature sensitivity of soil enzyme kinetics under N-fertilization in two temperate forests. *Global Change Biology*, 2012, no. 18(3), pp. 1173–1184. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02545.x>
- [45] Wu Y., Zhou H.K., Sun W., Zhao Q.F., Liang M., Chen W.J., Guo Z.Q., Jiang Y.K., Jiang Y., Liu G.B., Xue S. Temperature sensitivity of soil enzyme kinetics under N and P fertilization in an alpine grassland. *China Science of The Total Environment*, 2022, no. 838 (Part 1, 10), p. 156042. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.156042>
- [46] Kolesnikov S., Minnikova T., Kazeev K., Akimenko Y., Evstegneeva N. Assessment of the ecotoxicity of pollution by potentially toxic elements by biological indicators of haplic chernozem of Southern Russia (Rostov region). *Water, Air, & Soil Pollution*, 2022, no. 233, p. 18. <https://doi.org/10.1007/s11270-021-05496-3>

Acknowledgments

We thank E.A. Grabenko, researcher of the Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, and N.E. Shevchenko, researcher of the Center for Forest Ecology and Productivity, Russian Academy of Sciences, Candidate of Biological Sciences, for consultation and assistance in choosing research objects.

The research was supported by the leading scientific school of the Russian Federation (NSh-449.2022.5) and the Program of Strategic Academic Leadership of Southern Federal University («Priority 2030», № SP-12-22-9).

Authors' information

Shkhatsev Aslan Kaplanovich✉ — Cand. Sci. (Agriculture), Dean of the Faculty of Agrarian Technologies, Maikop State Technological University, f_agr_technolog@mkgtu.ru

Kazeev Kamil' Shagidullovich — Dr. Sci. (Geographi), Professor, Director of the Academy Biology and Biotechnology South Federal University, Kamil_kazeev@mail.ru

Kozun' Yuliya Sergeevna — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Department of Ecology and Nature Management, Academy of Biology and Biotechnology, South Federal University, Kozun@sfnu.ru

Soldatov Vasily Petrovich — Cand. Sci. (Biology), Research Laboratory Assistant, Research Center «Ecology and Nature Management», Academy of Biology and Biotechnology, South Federal University Vsoldatov@sfnu.ru

Fedorenko Anastasiya Nikolaevna — Student of the Academy of Biology and Biotechnology, South Federal University, Afedorenko@sfnu.ru

Kolesnikov Sergey Il'ich — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of the Department of Ecology and Nature Management, Academy of Biology and Biotechnology, South Federal University Kolesnikov@sfnu.ru

Received 30.01.2023.

Approved after review 24.04.2023.

Accepted for publication 25.05.2023.

Вклад авторов: все авторы в равной доле участвовали в написании статьи
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов
Authors' Contribution: All authors contributed equally to the writing of the article
The authors declare that there is no conflict of interest