

Научная статья

УДК 630:631.46:574.42

DOI: 10.37482/0536-1036-2024-5-119-132

## Биологическая активность горных почв Западного Кавказа после сведения леса

**А.К. Шхапацев<sup>1</sup>**, канд. с.-х. наук, доц.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4921-9882>

**К.Ш. Казеев<sup>2</sup>**, д-р геогр. наук, проф.; ResearcherID: [O-8194-2015](https://orcid.org/0000-0002-0252-6212),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0252-6212>

**Ю.С. Козунь<sup>2</sup>**, канд. биол. наук; ResearcherID: [R-5170-2016](https://orcid.org/0000-0003-4336-7745),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4336-7745>

**В.П. Солдатов<sup>2</sup>**, канд. биол. наук, науч. сотр.;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0699-9568>

**А.Н. Федоренко<sup>2</sup>**, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAB-8110-2022](https://orcid.org/0000-0002-1690-6048),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1690-6048>

**В.В. Вилкова<sup>2</sup>**, мл. науч. сотр.; ResearcherID: [AAB-7640-2022](https://orcid.org/0000-0002-1374-3941),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1374-3941>

<sup>1</sup>Майкопский государственный технологический университет, ул. Первомайская, д. 191, г. Майкоп, Республика Адыгея, Россия, 385000; [f\\_agr\\_technolog@mkgtu.ru](mailto:f_agr_technolog@mkgtu.ru)

<sup>2</sup>Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Иванова, просп. Стачки, д. 194/1, г. Ростов-на-Дону, Россия, 344090; [kamil\\_kazeev@mail.ru](mailto:kamil_kazeev@mail.ru), [kuz.yuliya@mail.ru](mailto:kuz.yuliya@mail.ru), [mefesto90@mail.ru](mailto:mefesto90@mail.ru), [pushok.mur@yandex.ru](mailto:pushok.mur@yandex.ru), [lera.vilkova.00@mail.ru](mailto:lera.vilkova.00@mail.ru)

Поступила в редакцию 13.12.22 / Одобрена после рецензирования 11.03.23 / Принята к печати 13.03.23

**Аннотация.** Проведено исследование комплекса показателей, характеризующих экологическое состояние лесных почв гор Северо-Западного Кавказа под широколиственными и смешанными лесами. Цель исследования состояла в оценке изменения биологической активности почв разного генезиса после сведения леса. Объектами изучения были дерново-карбонатные, серые лесные и серые лесостепные почвы лесных и нарушенных экосистем Республики Адыгеи на высотах от 500 до 1635 м над ур. м. Рассматривали участки вырубок с разным возрастом после сведения леса – от 10 до 40 лет. Анализируемые показатели: содержание общего и активного углерода, активность почвенных ферментов (каталаза, инвертаза, дегидрогеназа, уреазы, фосфатазы), численность бактерий, а также интегральный показатель биологических свойств почвы. Оценивали сопряженность этих показателей с гидротермическими условиями, плотностью почвы, сопротивлением пенетрации, реакцией среды, гидролитической кислотностью, суммой поглощенных оснований и другими параметрами почв. Уровень биологической активности почв вырубок низкогорий Адыгеи зависит от рельефа и сроков восстановления после сведения леса. Даже после нескольких десятилетий возобновления древесной растительности на склонах 12–15° не происходит полного возврата биологической активности до значений серых лесных почв фоновой лесной территории. Через 40 лет после рубки леса интегральный показатель биологических свойств серой лесной почвы все еще на 17 % меньше, чем на контрольном участке. Биологическая активность послелесных почв может изменяться по 3 основным направлениям. На крутых склонах при сильном нарушении почвенно-растительного покрова при работе тяжелой техники

интегральный показатель биологических свойств почв уменьшается на 25–40 % и более без тенденции к восстановлению. При среднем уровне нарушений на участках с незначительными уклонами после первоначального снижения показателей почв следует их восстановление до контрольных значений. Восстановительные сукцессии с интенсивным развитием травянистой флоры и дернового процесса при слабом нарушении могут привести к увеличению биологической активности выше контрольных значений уже через 2–3 года. Комплексные биодиагностические исследования с использованием интегрального показателя биологического состояния почвы выявили в целом повышенную устойчивость почв низкогорий (серых лесных и лесостепных) по сравнению с почвами среднегорий Адыгеи (дерново-карбонатными почвами). Основным фактором деградации, снижающим биологическую активность нарушенных рубкой почв, является эрозия.

**Ключевые слова:** антропогенное воздействие, рубка леса, экологическое состояние, биологическая диагностика, биоиндикаторы, ферментативная активность, горные почвы, Западный Кавказ

**Благодарности:** Исследования поддержаны грантом Президента РФ (№ НШ-449.2022.5) и ПСАЛ ЮФУ («Приоритет 2030», № СП-12-22-9).

**Для цитирования:** Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Солдатов В.П., Федоренко А.Н., Вилкова В.В. Биологическая активность горных почв Западного Кавказа после сведения леса // Изв. вузов. Лесн. журн. 2024. № 5. С. 119–132. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-119-132>

Original article

## Biological Activity of Mountain Soils of the Western Caucasus after Deforestation

*Aslan K. Shkhatsev*<sup>1</sup>, Candidate of Agriculture, Assoc. Prof.;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4921-9882>

*Kamil Sh. Kazeev*<sup>2</sup>, Doctor of Geography, Prof.; ResearcherID: [O-8194-2015](https://orcid.org/0000-0002-0252-6212),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0252-6212>

*Yuliya S. Kozun*<sup>2</sup>, Candidate of Biology; ResearcherID: [R-5170-2016](https://orcid.org/0000-0003-4336-7745),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4336-7745>

*Vasily P. Soldatov*<sup>2</sup>, Candidate of Biology, Research Scientist;

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0699-9568>

*Anastasia N. Fedorenko*<sup>2</sup>, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAB-8110-2022](https://orcid.org/0000-0002-1690-6048),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1690-6048>

*Valeria V. Vilkova*<sup>2</sup>, Junior Research Scientist; ResearcherID: [AAB-7640-2022](https://orcid.org/0000-0002-1374-3941),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1374-3941>

<sup>1</sup>Maykop State Technological University, ul. Pervomayskaya, 191, Maykop, Republic of Adygea, 385000, Russian Federation; [f\\_agr\\_technolog@mkgtu.ru](mailto:f_agr_technolog@mkgtu.ru)

<sup>2</sup>Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology named after D.I. Ivanovsky, prosp. Stachki, 194/1, Rostov-on-Don, 344090, Russian Federation; [kamil\\_kazeev@mail.ru](mailto:kamil_kazeev@mail.ru), [kuz.yuliya@mail.ru](mailto:kuz.yuliya@mail.ru), [mefesto90@mail.ru](mailto:mefesto90@mail.ru), [pushok.mur@yandex.ru](mailto:pushok.mur@yandex.ru), [lera.vilkova.00@mail.ru](mailto:lera.vilkova.00@mail.ru)

Received on December 13, 2022 / Approved after reviewing on March 11, 2023 / Accepted on March 13, 2023



**Abstract.** A study of a set of indicators characterizing the ecological state of forest soils in the mountains of the North-Western Caucasus under broad-leaved and mixed forests has been conducted. The aim of the study has been to assess changes in the biological activity of soils of different genesis after deforestation. The objects of the study have been rendzina, gray forest and gray forest-steppe soils of forest and disturbed ecosystems of the Republic of Adygeya at altitudes from 500 to 1635 m above sea level. Logging plots of different ages (from 10 to 40 years old) after deforestation have been considered. The analyzed indicators have included: the content of total and active carbon, the activity of soil enzymes (catalase, invertase, dehydrogenase, urease, phosphatase), the number of bacteria, as well as an integral index of the biological properties of the soil. The correlation of these indicators with hydrothermal conditions, density of soil structure, penetration resistance, medium reaction, hydrolytic acidity, total absorbed bases and other soil parameters has been evaluated. The level of biological activity of soils in logging areas in the low mountains of Adygeya depends on the relief and the timing of restoration after deforestation. Even after several decades of restoration of woody vegetation on the slopes of 12–15° there is no complete return of biological activity to the values of Greyic Phaeozem Eutric of the background forest area. 40 years after logging, the integral index of biological properties of gray forest soil is still 17 % lower than in the control plot. The biological activity of post-forest soils can change in three main directions. On steep slopes, with severe disturbance of the soil and vegetation cover due to the operation of heavy machinery, the integral index of the biological properties of soils decreases by 25–40 % or more without a tendency to recovery. At an average level of disturbance in plots with slight slopes, after an initial decrease, the soils are restored to control values. Restorative successions with intensive development of herbaceous flora and the turf process with slight disturbance can lead to an increase in biological activity above the control values in just 2–3 years. Comprehensive biodiagnostic studies using an integral index of the biological state of the soil have revealed, in general, increased stability of low-mountain terrain soils (gray forest and forest-steppe) compared to the soils of the middle mountains of Adygeya (rendzina soils). The main degradation factor that reduces the biological activity of soils disturbed by logging is erosion.

**Keywords:** human impact, logging, ecological condition, biological diagnostics, bioindicators, enzymatic activity, mountain soils, the Western Caucasus

**Acknowledgements:** The research was supported by a grant from the President of the Russian Federation (no. NSh-449.2022.5) and the PSAL of the Southern Federal University (“Priority 2030”, no. SP-12-22-9).

**For citation:** Shkhatpatsev A.K., Kazeev K.Sh., Kozun’ Yu.S., Soldatov V.P., Fedorenko A.N., Vilkoval V.V. Biological Activity of Mountain Soils of the Western Caucasus after Deforestation. *Lesnoy Zhurnal = Russian Forestry Journal*, 2024, no. 5, pp. 119–132. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2024-5-119-132>

### *Введение*

Лесные экосистемы Кавказа являются наиболее разнообразными из оставшихся почти не тронутыми территорий России. Однако усилившаяся антропогенная нагрузка приводит к изменениям этих важных для биоты и человека экосистем. Сведение лесов становится причиной значительных изменений природных экосистем, особенно в условиях расчлененного рельефа. В обезлесенных горах усиливаются эрозионные процессы в результате ускорения стока атмосферных осадков и накопленного за зиму снега, что приводит к смыву почвы и образованию селевых потоков с возможными катастрофическими последствиями. Почвенный покров послелесных территорий часто деградирует

в результате эрозии вплоть до полного разрушения с выходом на поверхность коренных каменистых пород, что на сотни лет замедляет почвообразование и обедняет экосистемы. На Западном Кавказе основу почвенного покрова составляют серые лесные и серые лесостепные почвы в предгорьях и на высотах до 500 м над ур. м., а также буроземы, распространенные выше. Известняковые массивы покрывают дерново-карбонатные почвы – карболитоземы. Нарушения лесов и их сведение изменяют не только растительность и животный мир, но и экологическое состояние горных почв, при этом свойства послелесных почв в значительной степени отличаются от природных почв фоновых территорий Западного Кавказа [6, 11]. Ранее при диагностике плодородия и здоровья почв наиболее информативными считались почвенные экзоферменты [2, 15–18]. Методы почвенной энзимологии на юге России оказались особо чувствительными при оценке видов землепользования [3], химического загрязнения [14, 19, 20] и последствий пожаров [1, 8]. Для оценки экологического состояния нарушенных почв успешно используют биологическую индикацию и биотестирование [9, 21], которые позволяют диагностировать деградационные изменения на ранних этапах, в отличие от определения химических и физических свойств почв [7, 10, 12].

Целью работы была биологическая диагностика экологического состояния разных почв гор Западного Кавказа после сведения лесов в зависимости от генезиса почв и возраста вырубок.

В задачи исследования входили оценка экологических условий исследуемых участков, определение биологических параметров почв вырубок в связи с возрастом и степенью антропогенного нарушения при рубках и выявление устойчивости почв разного генезиса к рубке леса.

#### *Объекты и методы исследования*

Исследование проведено на Западном Кавказе (Республика Адыгея). Три участка широколиственных лесов изучали на высотах 500–675 м над ур. м., четвертый участок – на высоте 1640 м над ур. м. (рис. 1, см. таблицу).

На участке № 1 недалеко от слияния р. Дах и Белая были исследованы несколько послелесных площадок на разных стадиях восстановительной сукцессии через 10–40 лет после сведения леса. Контрольный дубово-грабовый лес IV класса бонитета и состава  $3Д_{нч} 4Г1Я_0$  имел возраст 250–300 лет. Почва здесь серая лесная на продуктах выветривания известняков (Greyic Phaeozem Eutric). На участке изучены еще 4 площадки, образовавшиеся после сведения леса и находящиеся на разных этапах восстановления. Эти площадки отличаются друг от друга возрастом (10–40 лет) и выполненными на них лесовосстановительными работами. На одной из площадок вырубки в возрасте 22 года был высажен красный дуб (*Quercus rubra*), к настоящему времени эта площадка практически заросла другими деревьями (преимущественно грабом и осиной).

Участок № 2 вблизи впадения р. Сюк в р. Белую находится на выровненной террасе высотой около 500 м над ур. м. Фоновая почва данного участка представлена серой лесной почвой (Greyic Phaeozem Pachic) под дубово-кленово-ясеневым лесом. Почва на расположенной рядом вырубке стала каменистой (Greyic Phaeozem Sceletic) вследствие смыва поверхностного слоя в результате развития эрозионных процессов после рубки леса.

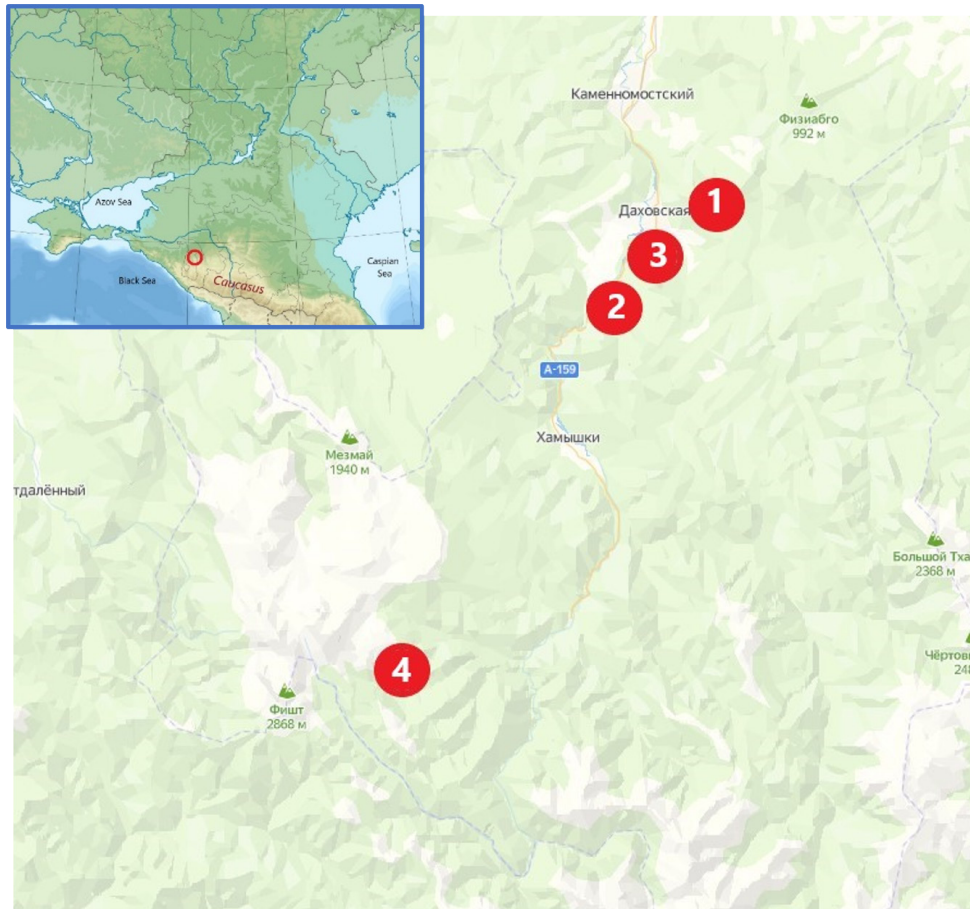


Рис. 1. Картограмма исследуемой территории (1–4 – номера участков)

Fig. 1. The schematic map of the study area (1–4 – plot numbers)

Участок № 3 на высоте 540 м над ур. м. разбит на 2 зоны: контроль (дубово-грабовый лес) и вырубка (фруктарник). В 2019 г. на вырубке была произведена повторная рубка 10-летнего подроста деревьев. В результате территория вырубки была дифференцирована на 2 площадки: зарастающая вырубка (фруктарник) и повторная вырубка со злаково-разнотравной растительностью. На территории участка № 3 распространена серая лесостепная почва (Greyic Phaeozem Vertic).

Вырубки в среднегорьях Северо-Западного Кавказа исследованы на участке № 4 в районе Партизанской поляны в окрестностях Яворовой поляны приблизительно в 15 км от пос. Гузерибль. Здесь по степени нарушения в результате работы тяжелой техники были выделены участки со слабым, средним и сильным уровнем нарушения дерново-карбонатной выщелоченной почвы. Наблюдения на участке проводили ежегодно в течение 2010–2021 гг., почва – дерново-карбонатная выщелоченная слабокаменистая суглинистая на элювии известняков (карболитоземы темногумусовые, Rendzik Leptosol). Эти почвы имеют существенные отличия в химическом составе от зональных почв вследствие формирования на карбонатных породах [4].

**Характеристика исследуемых участков**  
**The characteristics of the study plots**

Местоположение и рельеф	Высота над уровнем моря, м	Растительность	Возраст после рубки, лет	Почва
<i>Участок № 1</i>				
Восточный склон (8–10°) хр. Уна-Коз (средняя часть)	675	Дубово-грабово-ясеневый лес. Возраст 250–300 лет. 5Д <sub>нч</sub> 4Г1Я <sub>о</sub>	Контроль	Серая лесная на продуктах выветривания известняков (Greyic Phaeozem Eutric)
Восточный склон (6°) хр. Уна-Коз (средняя часть)	672	Грабовый лес. 9Г1Гш+Ос+Д <sub>ч</sub>	40	Серая лесная смытая на продуктах выветривания известняков (Greyic Phaeozem Eutric)
Южный склон (12–15°) хр. Уна-Коз (нижняя часть)	558	Грабовый лес. 9Г1Д <sub>нч</sub> +Гш+Я <sub>о</sub>	25	Серая лесная на продуктах выветривания известняков (Greyic Phaeozem Eutric)
Средняя нижняя часть южного склона (12–15°) хр. Уна-Коз	552	Грабовый лес. 7Г2Ос1Д <sub>нч</sub>	22	
Нижняя часть северного склона (15–20°) г. Гуд	508	Смешанный широколиственный лес. 5Г3Кл <sub>л</sub> 1Д <sub>нч</sub> 1Чш	10–12	
<i>Участок № 2</i>				
Терраса на нижней части склона (3–5°) к р. Белой	502	Дубово-кленово-ясеневый лес	Контроль	Серая лесная на галечниковых отложениях (Greyic Phaeozem Pachic)
Терраса на нижней части склона (5–7°)	505	Вырубка с посадкой лещины и подростом ясеня, клена, граба, вяза	12	Серая лесная смытая каменистая на галечниковых отложениях (Greyic Phaeozem Sceletic)
<i>Участок № 3</i>				
Выровненная терраса на нижней части склона к р. Белой	540	Дубово-грабовый лес. Возраст 120–130 лет. 4Г3Д <sub>ч</sub> 2Гш1Бя <sub>к</sub>	Контроль	Серая лесостепная почва на галечниковых отложениях (Greyic Phaeozem Vertic)
	542	Дикоплодовые насаждения с травянистым пологом. 5Бя <sub>к</sub> 2Я6Гш	10–12	
	542	Высокотравная луговая растительность	10–12	
<i>Участок № 4</i>				
Пологие склоны (3–5°) верхней части хребта	≈1600	Грабово-пихтово-кленовый лес с папоротниками и травянистым пологом	Контроль	Дерново-карбонатная выщелоченная на элювии известняков (Rendzik Leptosol)
Пологие склоны (3–5°) верхней части хребта в 50 м от контроля	1635	Высокотравная луговая растительность с подростом из деревьев	10	Дерново-карбонатная нарушенная выщелоченная на элювии известняков (Rendzik Leptosol)

Экспедиционные и лабораторно-аналитические исследования выполнены в 2014–2021 гг. Полевые исследования проводили традиционными методами с закладкой почвенных разрезов, полуюм и прикопок и отбором образцов почв по профилю в 3-кратной повторности на каждой площадке. Среди изученных параметров были температура, влажность и плотность почв, содержание общего и активного углерода, интенсивность эмиссии из почвы углекислого газа, ферментативная активность и др. Исследования проводили с использованием общепринятых в экологии, биологии и почвоведении методов [5]. В полевых условиях определяли влажность почв с помощью влагомера Fieldscout TDR 100, температуру почв послойно электронным термометром Hanna Checktemp. Дополнительно устанавливали температуру на поверхности почв с применением бесконтактного пирометра СЕМ DT-810. Повторность полевых определений этих параметров 10-кратная. Для оценки влияния температурного фактора на биологическую активность почв наблюдали за годовым ходом температуры с периодичностью измерения 3–6 ч в течение 2018–2020 гг. Для этого применяли температурные датчики Термохрон DS1921, погруженные в почву на глубины 10 и 30 см. Плотность почв устанавливали в 3-кратной повторности объемно-весовым методом с помощью стальных колец объемом 135 см<sup>3</sup>. Интенсивность эмиссии почвами углекислого газа исследована камерным методом с помощью газоанализаторов Testo-535 и EGM-5 PP System. Реакцию почвенной среды (pH) и окислительно-восстановительный потенциал определяли потенциометрическим методом в почвенной суспензии с соотношением «почва:вода» 1,0:2,5.

Ферментативную активность (каталаза, инвертаза, уреазы, дегидрогеназы) определяли по скорости разложения субстрата (перекиси водорода, сахарозы, мочевины, трифенилтетразолия хлористого) в стандартизированных условиях. Содержание общего гумуса устанавливали методом бихроматного окисления по И.В. Тюрину в модификации Б.А. Никитина, содержание активного углерода (подвижного гумуса) определяли путем окисления 0,02М раствором перманганата калия модифицированным методом К. Блейра [5].

Для выявления различий в уровне биогенности и биологической активности разных почв использовали интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы [17]. Статистическая обработка результатов проведена при помощи программ Statistica 10.0 и MS Excel.

#### *Результаты исследования и их обсуждение*

Сравнительное исследование температурного режима показало значительное различие участков в зависимости от климата, обусловленного высотой местности над уровнем моря. Горный рельеф предполагает прохладные условия в отличие от предгорной равнины с очень жарким летом. Высота местности определяет температурный градиент, который отражается на почвах участков (рис. 2). Температура почв в среднегорных условиях на высотах 1200–1650 м существенно различна даже для почв одного типа. Низкогорные территории на высоте 540 м над ур. м. характеризуются более оптимальными для живых организмов условиями, в течение вегетационного сезона верхний слой почвы может прогреваться выше 20 °С. В зимние месяцы не было отмечено длительного промораживания почв на всех исследуемых участках. Однако биологическая

активность ограничена низкими температурами на протяжении значительной части года, даже в летние месяцы. Это приводит к ограничению биологического разложения и оторфовыванию растительных остатков на поверхности почвы с образованием лесной подстилки. На вырубках может формироваться значительный объем ветоши из остатков высокотравной луговой растительности. Однако подстилка не достигает значительной мощности, как в бореальных лесах, и в середине–конце вегетационного периода практически исчезает в результате биологического разложения и гумификации. Температура почвы на высоте 1635 м над ур. м. на разных глубинах значительно меняется в зимние и летние месяцы. В переходные месяцы различия в температуре почвы менее существенны. Необходимо отметить, что большую часть года здесь лежит толстым слоем снег, который защищает почву от промерзания, но сохраняет низкие температуры с ноября по май.

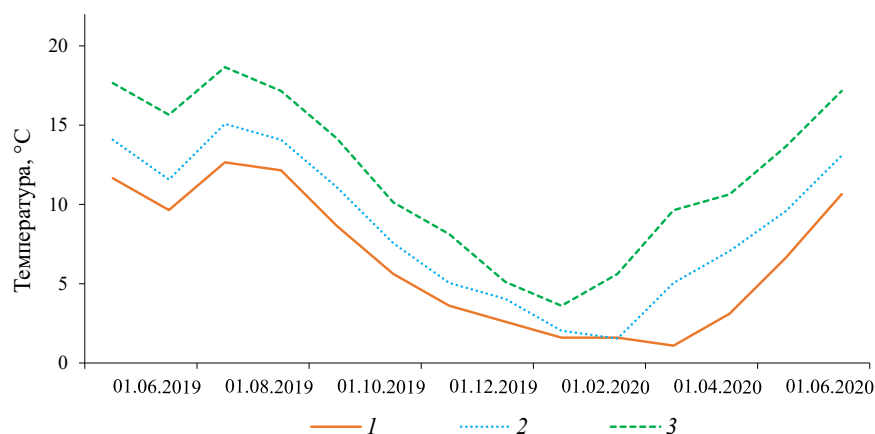


Рис. 2. Сезонное изменение температуры почв Адыгеи на глубине 10 см в зависимости от высоты местности над уровнем моря, 2019–2020 гг.:  
1 – 1635 м; 2 – 1200 м; 3 – 541 м

Fig. 2. The seasonal change in soil temperature in Adygea at a depth of 10 cm depending on the altitude above sea level, 2019–2020: 1 – 1,635 m; 2 – 1,200 m; 3 – 541 m

Фоновая серая лесная почва участка № 1 содержит 9,7 % гумуса при нейтральной реакции среды и высокой степени насыщенности основаниями. Такие благоприятные условия в почвах являются результатом формирования на элювии карбонатных пород. При этом профильное распределение содержания гумуса и бактерий и ферментативной активности практически не изменяется, что значительно отличает эти почвы от типично лесных с резко убывающим вниз по профилю распределением значений этих показателей. Фоновая почва контрольной площадки здесь обладает высоким уровнем активности почвенных ферментов (каталазы, фосфатазы и инвертазы). При нарушении почвенно-растительного покрова в процессе рубки и трелевки леса отмечено резкое уменьшение биологической активности этих почв. Такую же закономерность зафиксировали и для участка № 2. Здесь содержание гумуса снижается с 9,0 % в почве контрольного участка до 4,7 % в смытой почве вырубки. Кроме того, на участке № 2 меньше степень насыщенности почвы основаниями и рН. Это происходит по причине смыва поверхностного слоя почвы на вырубке



после сведения леса. В итоге уменьшается биологическая активность, особенно активность уреазы (в 2,5 раза) и дегидрогеназ (в 4 раза). В почвах вырубок участка № 1 снижение активности ферментов выражено в меньшей степени.

ИПБС почв участков № 1 и 2 максимальны на контрольных площадках (рис. 3). Сведение леса привело к уменьшению ИПБС. На участке № 1 выявлено постепенное увеличение ИПБС по мере повышения возраста насаждения с момента сведения леса.

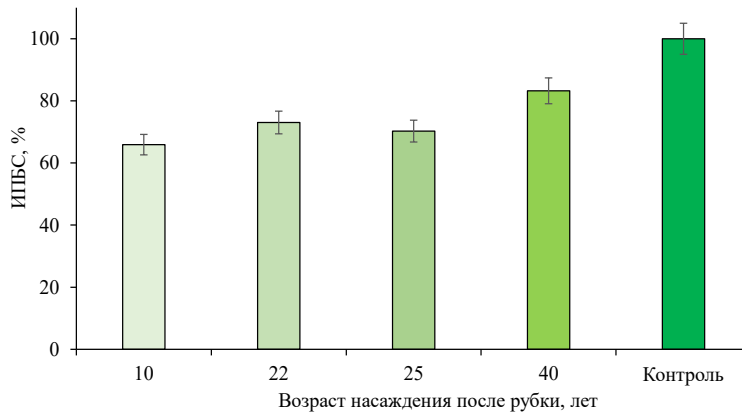


Рис. 3. Интегральный показатель биологической активности низкогорных послелесных почв на участке № 1 в зависимости от возраста вырубки, 2019–2021 гг.

Fig. 3. The integral index of biological activity of low-mountain post-forest soils in plot no. 1 depending on the age of the logging area, 2019–2021

Меньшая разница ИПБС отмечена для почвы с 40-летним возрастом насаждения, максимальное расхождение – для почвы с лесом 10–12 лет. На участке № 3 произошло почти 2-кратное снижение ИПБС для почвы вырубки по сравнению с контрольным участком леса.

На участке № 3 контрольная серая лесостепная почва обладает типичным для этого типа содержанием гумуса (7,3 %) и нейтральным pH (7,3). Физические свойства (плотность, структурное состояние, сопротивление пénéтрации) и реакция среды на этом участке практически неотличимы для всех трех площадок. Интегрированная оценка показала относительно несущественные различия серых лесостепных почв разной степени повреждения по сравнению с дерново-карбонатными почвами [6, 11]. В 2019 г. наибольшее отклонение от контрольных значений выявлено для почв заросшей древесно-кустарниковой растительностью вырубки. Здесь ИПБС на 23 % меньше, чем для почвы контрольного участка (рис. 4). Повторное сведение подроста на этой вырубке привело к выравниванию ИПБС этого и контрольного участков. Причиной данного явления стало повышение инсоляции на оголенном участке вырубки, что повлекло за собой рост освещенности, температуры, интенсивное развитие луговой злаково-разнотравной растительности. Почвенные свойства тоже заметно изменились: увеличилось содержание карбоната

кальция, рН, плотность сложения и влажность почв. На вырубках отмечено разнонаправленное изменение биологических свойств серых лесостепных почв. Например, содержание гумуса и активного углерода на обоих участках вырубки уменьшается на 4–23 и 11–28 % относительно контрольных значений. Также снижается численность бактерий (на 10–19 %), активность уреазы (на 10–75 %) и пероксидазы (на 44–48 %). Однако увеличивается активность каталазы – на 13–41 %. Другие показатели ведут себя разнонаправленно в зависимости от типа растительности на повторно вырубленном и заросшем участках вырубки.

В 2020 г. почвы вырубок еще больше выравниваются по ИПБС с почвой контрольного участка. Почва на участке повторной рубки имеет значения показателя выше контрольных (рис. 4). Еще через год, в 2021 г. увеличение ИПБС по отношению к контролю составило 44 % на участке повторной рубки и 14 % на участке заросшей фруктарником вырубки. Причины изменения биологической активности почв, как уже упоминали, связаны с повышенной продуктивностью травянистой растительности восстановительной сукцессии на участках, лишенных фоновых мертвопокровных лесов с сомкнутыми кронами.

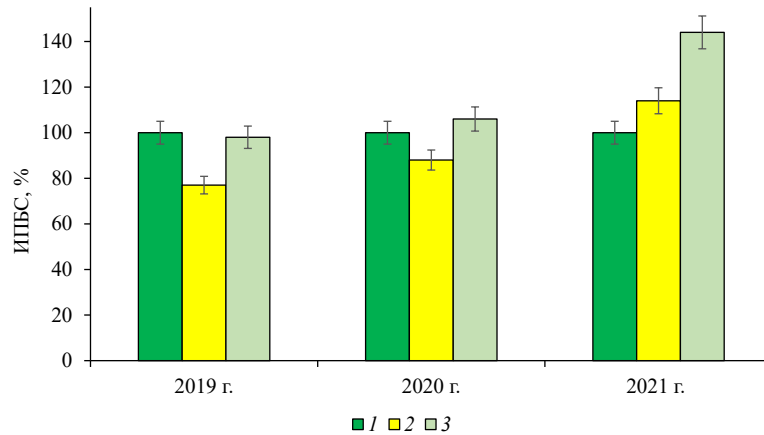


Рис. 4. Интегральный показатель биологической активности серых лесостепных почв на участке № 3, 2019–2021 гг.: 1 – контроль; 2 – вырубка; 3 – вырубка, заросшая подростом

Fig. 4. The integral index of biological activity of gray forest-steppe soils at plot no. 3, 2019–2021: 1 – control; 2 – logged land; 3 – logged land overgrown with undergrowth

Биологическая активность дерново-карбонатных почв среднегорий Адыгеи на участке № 4 (высота 1635 м над ур. м.) в нарушенных рубкой древостоях характеризовалась как значительно подавленная даже через 10 лет после сведения леса методом сплошной рубки. Сразу после антропогенного воздействия в 2010 г. угнетение биологической активности составило более 25 % как для отдельно взятого поверхностного слоя (0–10 см), так и в пересчете на весь почвенный профиль. Деградация биологической активности и ее следствие – значительное нарушение экологических функций почвы – были связаны с механическим нарушением ее поверхности в результате работы бульдозеров, погрузчиков и другой тяжелой техники при рубке, трелевке и вывозе леса. Через 9–10 лет

после сведения леса было выявлено, что ИПБС различаются для участков с разной степенью первоначального нарушения почвенно-растительного покрова (рис. 5). На участках со средней и сильной степенью нарушения произошло значительное снижение ИПБС. На участках со слабым нарушением почвы в результате опущенного эффекта ИПБС увеличился вследствие повышения биологической активности и содержания органического вещества в подстилке и гумусово-аккумулятивном слое почв. Рост ИПБС относительно контрольных участков составил 13–41 %. Аналогичные результаты были получены и на других участках, освободившихся от древесной растительности в этом регионе [6, 11, 13].

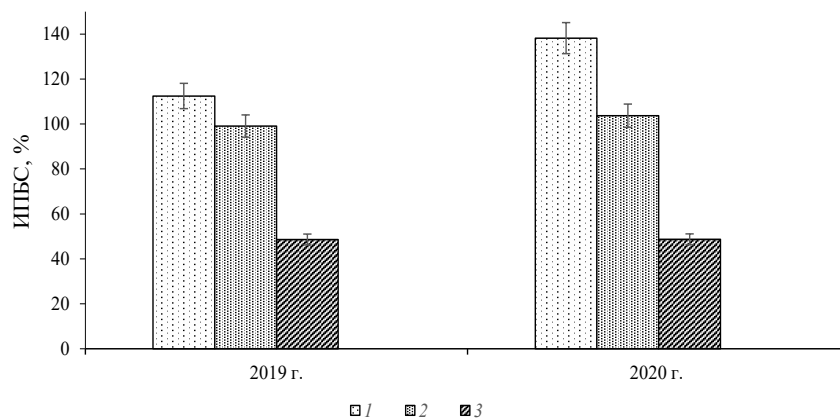


Рис. 5. Интегральный показатель биологического состояния дерново-карбонатных почв участка №4 разной степени нарушения, 2019–2020 гг.:

1 – слабое; 2 – среднее; 3 – сильное

Fig. 5. The integral index of the biological condition of rendzina soils of plot no. 4 with varying degrees of disturbance, 2019–2020: 1 – weak;

2 – average; 3 – strong

### Заключение

Использование методов биологической диагностики позволило выявить значительные изменения экологического состояния почв (дерново-карбонатных, серых лесных и лесостепных) Западного Кавказа в результате рубки лесов. Описаны разные варианты изменений биологической активности послелесных почв, которые определяются степенью нарушения почвенно-растительного покрова, свойствами почв и возрастом вырубков. Максимальная деградация почв отмечена непосредственно после сведения леса. По мере увеличения возраста вырубков биологическая активность почв имеет тенденцию к восстановлению. Но даже через десятилетия не происходит полного возврата биологической активности до значений почв фоновой лесной территории. Сведение леса на крутых склонах приводит к необратимому уменьшению биологической активности в результате утраты поверхностного слоя вследствие эрозии.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Шханацев А.К., Колесников С.И. Реакция ферментативной активности почв ксерофитных лесов черноморского побережья Кавказа на пирогенное воздействие // Арид. экосистемы. 2022. Т. 28, № 1(90). С. 107–114.

Vilkova V.V., Kazeev K.Sh., Shkhatpatsev A.K., Kolesnikov S.I. Reaction of the Enzymatic Activity of Soils of Xerophytic Forests of the Black Sea Coast in the Caucasus to the Pyrogenic Impact. *Aridnye ekosistemy* = Arid Ecosystems, 2022, vol. 28, no. 1(90), pp. 107–114. (In Russ.) <https://doi.org/10.24412/1993-3916-2022-1-107-114>

2. 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.

Gorobtsova O.N., Uligova T.S., Gedgafova F.V., Tembotov R.H., Khakunova E.M. Biological Activity of Soils of the Deciduous Forests Belt in Central Caucasus. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2021, no. 1, pp. 78–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.31857/S0024114821010046>

3. Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Оценка уровня биологической активности агрогенных и естественных черноземов Кабардино-Балкарии // Почвоведение. 2017. № 5. С. 614–623.

Gorobtsova O.N., Uligova T.S., Tembotov R.K., Khakunova E.M. Assessment of Biological Activity in Agrogenic and Natural Chernozems of Kabardino-Balkaria. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science, 2017, vol. 50, pp. 589–596. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2021-13-1-25-34>

4. Дегтярева Т.В., Караев Ю.И., Лиховид А.А., Лысенко А.В. Микроэлементный состав дерново-карбонатных почв Северо-Западного Кавказа // Устойчивое развитие гор. территорий. 2021. Т. 13, № 1(47). С. 25–34.

Degtyareva T.V., Karaev Yu.I., Likhovid A.A., Lysenko A.V. Microelement Composition of Sod-Carbonate Soils of the North-West Caucasus. *Ustojchivoe razvitie gornykh territorij* = Sustainable Development of Mountain Territories, 2021, vol. 13, no. 1(47), pp. 25–34. (In Russ.) <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2021-13-1-25-34>

5. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов н/Д.: ЮФУ, 2016. 356 с.

Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Akimenko Yu.V., Dadenko E.V. *The Methods for Biодiagnostics of Terrestrial Ecosystems*. Rostov-on-Don, Southern Federal University Publ., 2016. 356 p. (In Russ.).

6. Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Шханацев 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. Т. 4, № 4. С. 426–436.

Kazeev K.Sh., Soldatov V.P., Shkhatpatsev A.K., Shevchenko N.Ye., Grabenko Ye.A., Ermolaeva O.Yu., Kolesnikov S.I. 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. <https://doi.org/10.31857/S0024114821040069>

7. Минкина Т.М., Манджиева С.С., Чаплыгин В.А., Назаренко О.Г., Максимов А.Ю., Замулина И.В., Бурачевская М.В., Сушкова С.Н. Аккумуляция тяжелых металлов разнотравной степной растительностью по данным многолетнего мониторинга // Арид. экосистемы. 2018. Т. 24, № 3(76). С. 43–55.

Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Chaplygin V.A., Nazarenko O.G., Maksimov A.Yu., Zamulina I.V., Burachevskaya M.V., Sushkova S.N. Accumulation of Heavy Metals by Forb Steppe Vegetation According to Long-Term Monitoring Data. *Aridnye ekosistemy* =

Arid Ecosystems, 2018, vol. 24, no. 3(76), pp. 43–55. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S2079096118030058>

8. Нижельский М.С., Казеев К.Ш., Вилкова В.В., Колесников С.И. Ингибирование ферментативной активности чернозема обыкновенного газообразными продуктами горения растительных материалов // Почвоведение. 2022. № 6. С. 728–736.

Nizhelskiy M.S., Kazeev K.Sh., Vilкова V.V., Kolesnikov S.I. Inhibition of Enzymatic Activity of Ordinary Chernozem by Gaseous Products of Plant Matter Combustion. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science, 2022. vol. 55, pp. 802–809. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1064229322060096>

9. 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. <https://doi.org/10.31857/S0032180X22020095>

Nikitin D.A., Semenov M.V., Chernov T.I., Ksenofontova N.A., Zhelezova A.D., Ivanova E.A., Khitrov N.B., Stepanov A.L. Microbiological Indicators of Soil Ecological Functions: A Review. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science, 2022, vol. 55, pp. 221–234. (In Russ.). <https://doi.org/10.31857/S0032180X22020095>

10. Осинцева М.А., Миленьева И.С., Голубцова Ю.В. Физико-химический анализ почвенного покрова техногенно нарушенных территорий Кузбасса // Устойчивое развитие гор. территорий. 2022. Т. 14, № 2(52). С. 252–262.

Osin'tseva M.A., Melentyeva I.S., Golubtsova Yu.V. Physico-Chemical Analysis of the Soil Cover of Technogenically Disturbed Territories of Kuzbass. *Ustojchivoe razvitie gornyykh territorij* = Sustainable Development of Mountain Territories, 2022, vol. 14, no. 2(52), pp. 252–262. (In Russ.). <https://doi.org/10.21177/1998-4502-2022-14-2-252-262>

11. Солдатов В.П., Шхатацев А.К., Казеев К.Ш., Харитонов Т.Д., Казеев Д.К., Колесников С.И. Динамика изменения активности ферментов в почвах Адыгеи с разной степенью нарушения после сведения леса // Изв. вузов. Сев.-Кавказ. регион. Естеств. науки. 2020. № 4. С. 105–111.

Soldatov V.P., Shkhatatsev A.K., Kazeev K.Sh., Kharitonova T.D., Kazeev D.K., Kolesnikov S.I. Dynamics of Enzyme Activity Change in Soils of Adygea with Various Degrees of Disturbance after Forest Reduction. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Estestvennye nauki* = Bulletin of Higher Educational Institutions. North Caucasus Region. Natural Science, 2020, no. 4, pp. 105–111. (In Russ.). <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2020-4-105-111>

12. Сушкова С.Н., Минкина Т.М., Манджиева С.С., Тюрина И.Г., Васильева Г.К., Кизилкая Р. Мониторинг содержания бенз(а)пирена в почвах под влиянием многолетнего техногенного загрязнения // Почвоведение. 2017. № 1. С. 105–116. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17010142>

Sushkova S.N., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Deryabkina I.G., Vasil'eva G.K., Kizilkaya R. Dynamics of Benzo[ $\alpha$ ]pyrene Accumulation in Soils under the Influence of Aero-technogenic Emissions. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science, 2017, vol. 50, pp. 95–105. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S1064229317010148>

13. Шевченко Н.Е., Кузнецова А.И., Тебенькова Д.Н., Смирнов В.Э., Гераськина 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.

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. Succession Dynamics of Vegetation and Storages of Soil Carbon in Mixed Forests of Northwestern Caucasus. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2019, no. 3, pp. 163–176. (In Russ.). <https://doi.org/10.1134/S0024114819030082>

14. Burachevskaya M., Mandzhiyeva S., Bauer T., Minkina T., Rajput V., Chaplygin V., Fedorenko A., Chernikova N., Zamulina I., Kolesnikov S., Sushkova S., Perelomov L. The Effect of Granular Activated Carbon and Biochar on the Availability of Cu and Zn to *Hordeum sativum* Distichum in Contaminated Soil. *Plants*, 2021, vol. 10, no. 5, art. no. 841. <https://doi.org/10.3390/plants10050841>
15. 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, vol. 166, art. no. 104078. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104078>
16. Huang H., Tian D., Zhou L., Su H., Ma S., Feng Y., Tang Z., Zhu J., Ji C., Fang J. Effects of Afforestation on Soil Microbial Diversity and Enzyme Activity: A Meta-Analysis. *Geoderma*, 2022, vol. 423, art. no. 115961. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.115961>
17. Kozun Yu.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic Gradients of Biological Properties of Zonal Soils of Natural Lands. *Geoderma*, 2022, vol. 425, art. no. 116031. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2022.116031>
18. Luo L., Meng H., Gu J.D. Microbial Extracellular Enzymes in Biogeochemical Cycling of Ecosystems. *Journal of Environmental Management*, 2017, vol. 197, pp. 539–549. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.04.023>
19. Minnikova T., Ruseva A., Kolesnikov S. Assessment of Ecological State of Soils Contaminated by Petroleum Hydrocarbons after Bioremediation. *Environmental Processes*, 2022, vol. 9, art. no. 49. <https://doi.org/10.1007/s40710-022-00604-9>
20. Minnikova T., Kolesnikov S., Evstegneeva N., Timoshenko A., Tsepina N. Estimation of the Enzymatic Activity of Haplic Chernozem under Contamination with Oxides and Nitrates of Ag, Bi, Te and Tl. *Agronomy*, 2022, vol. 12, no. 9, art. no. 2183. <https://doi.org/10.3390/agronomy12092183>
21. 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, vol. 6, iss. 1, pp. 17–34. <https://doi.org/10.5194/soil-6-17-2020>

**Конфликт интересов:** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов  
**Conflict of interest:** The authors declare that there is no conflict of interest