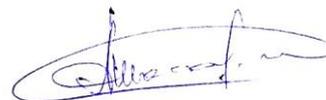


Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

На правах рукописи



Шхапацев Аслан Капланович

**ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ ПОЧВ
ЗАПАДНОГО КАВКАЗА ПОСЛЕ НАРУШЕНИЯ ЛЕСОВ
РУБКАМИ И ПОЖАРАМИ**

1.5.19. Почвоведение (биологические науки)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

Ростов-на-Дону - 2023

Работа выполнена на кафедре экологии и природопользования
Академии биологии и биотехнологии имени Д. И. Ивановского
Южного федерального университета

Научный консультант: **Казеев Камиль Шагидуллович,**
доктор географических наук, профессор,
Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского, директор

Официальные оппоненты: **Болотов Андрей Геннадьевич,**
доктор биологических наук, доцент,
Почвенный институт имени В.В. Докучаева, отдел физики, гидрологии и эрозии почв, ведущий научный сотрудник, заместитель директора

Сулейманов Руслан Римович,
доктор биологических наук, профессор,
Уфимский институт биологии – обособленное структурное подразделение Уфимского федерального исследовательского центра РАН, лаборатория почвоведения, главный научный сотрудник

Фаизова Вера Ивановна,
доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
Ставропольский государственный аграрный университет, факультет агробиологии и земельных ресурсов, кафедра почвоведения им. В.И. Тюльпанова, профессор

Защита диссертации состоится **15.03.2024 г. в 15:00** на заседании диссертационного совета ЮФУ801.01.01 по биологическим наукам на базе Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки 194/1, к. 712.

С диссертацией можно ознакомиться в Зональной научной библиотеке им. Ю.А. Жданова Южного федерального университета по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, ул. Р. Зорге, 21Ж и на сайте Южного федерального университета <https://hub.sfedu.ru/diss/show/1311277/>.

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Отзыв на автореферат в 2-х экз. (с указанием даты, полностью ФИО, учёной степени со специальностью, звания, организации, подразделения, должности, адреса, телефона, e-mail), заверенный печатью организации, просим направлять по адресу: 344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 194/1, к. 804, ученому секретарю диссертационного совета ЮФУ801.01.01 Тимошенко А.Н., а также в формате .pdf на e-mail: atimoshenko@sfedu.ru.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Тимошенко Алёна Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Леса обладают максимальным биологическим разнообразием и продуктивностью среди всех экосистем. Они обеспечивают в биосфере средообразующую и природоохранную функции. Последние обширные и практически нетронутые леса на юге Европейской территории России остались на Кавказе, где они широко распространены в предгорных и горных условиях. Леса Западного Кавказа являются одними из самых разнообразных и продуктивных природных экосистем России. Однако в последние десятилетия лесные экосистемы Кавказа деградируют вследствие усиливающегося антропогенного воздействия. Леса и лесные почвы играют важную роль в поглощении и перераспределении атмосферных осадков. Деградация лесов приводит к повышению опасности повторяемости стихийных бедствий и увеличению масштабов их негативного воздействия. Почвы являются важным компонентом наземных экосистем, определяющим их продуктивность. Свойства почв, их биологическая активность и продуктивность кардинально изменяются при антропогенном воздействии, особенно при рубке леса и пожарах, которые приводят к деградации природных экосистем и почвенного покрова (Краснощечков, Сорокин, 1988; Дымов и др., 2012, 2014; Краснощечков, Чередникова, 2012; Дымов, 2017; Краснощечков, 2018а; Габбасова и др., 2019; Barreiro, Diaz-Ravina, 2021; Dymov et al., 2021; Huang et al., 2022; Lucas-Borja et al., 2022). Экологическое состояние почв Западного Кавказа, утративших древостой, значительно отличается от почв фоновых ненарушенных лесов (Шевченко и др., 2019; Казеев и др., 2021). Особенно усиливается деградация почв на лишенных леса горных территориях в результате эрозионных процессов в условиях расчлененного рельефа и значительного количества осадков в условиях Западного Кавказа. Здесь восстановительные сукцессии после рубки лесов и пожаров приводят к значительным изменениям растительности и почв (Казеев и др., 2012б, 2013а,б, 2021; Тер-Мисакянц и др., 2013; Солдатов и др., 2020а,б; Вилкова и др., 2021, 2022, 2023). Проблемы ухудшения свойств почв после сведения лесов не решены до настоящего времени, в то время как для сельскохозяйственных и техногенно-нарушенных почв разработаны мероприятия по мелиорации и ремедиации. Способы повышения продуктивности с использованием горных пород и других мелиорантов обоснованы для пахотных почв региона (Кудаев и др., 2004; Шеуджен и др., 2002, 2003; Цховребов, 2003;

Цховребов и др., 2022). Обоснование их использования для ремедиации деградированных почв лесного фонда является актуальной задачей.

Зональными почвами горных территорий Западного Кавказа являются серые лесные (Phaeozem), буроземы (Cambisols) и дерново-карбонатные (Rendzic), на Черноморском побережье распространены также коричневые почвы (Вальков, 1977; Вальков и др., 1996; 2008б). Антропогенное воздействие, особенно рубка леса и природные пожары, приводит к деградации природных экосистем и почвенного покрова. Экологическое состояние послелесных почв Западного Кавказа значительно отличается от природных ненарушенных почв (Поляков, 2010; Солдатов и др., 2020б; Казеев и др., 2021). Биологические свойства почв и биоиндикацию широко используют в диагностике экологического состояния окружающей среды (Thiele-Bruhn et al., 2020; Kozun et al., 2022). При диагностике плодородия и качества почв хорошо показали методы почвенной энзимологии (Казеев и др., 2004а; Sinsabaugh et al., 2008, Даденко и др., 2013; Luo et al., 2017, Kolesnikov et al., 2021а,б,в). Эти методы хорошо зарекомендовали себя на юге России при оценке агрогенного воздействия (Казеев и др., 2004б, 2020б; Даденко и др., 2014; Горобцова и др., 2016; Азаренко и др., 2020) и пожаров (Kazeev et al., 2019; Казеев и др., 2020, Oda-bashyan et al., 2019; Вилкова и др., 2022, 2023) на экологическое состояние почв.

Цель работы – определить изменения биологических свойств горных почв Западного Кавказа после нарушения лесов рубками и пожарами.

В задачи исследований входило:

- Оценить изменение биологических свойств горных почв Западного Кавказа после уничтожения леса.
- Определить пути эволюции послелесных почв Западного Кавказа разных хронорядов в зависимости от типа почв и экологических факторов.
- Выявить особенности устойчивости разных почв Западного Кавказа к деградации древесной растительности.
- Рассмотреть возможность ускоренного восстановления биологической активности нарушенных послелесных почв с помощью мелиорантов и биопрепаратов.

Исследование состоит из решения трех ключевых вопросов:

1. Определение естественного хода изменения почв после нарушения древостоя в пологе леса.
2. Выявление возможных направлений изменений почв разного генезиса после нарушений рубками и пожарами.
3. Определение способов ускоренного восстановления нарушенных почв Западного Кавказа с помощью биопрепаратов и мелиорантов.

Основные защищаемые положения

1. Потеря древесного яруса в результате рубок, пожаров и ветровалов изменяет биологические свойства и экологическое состояние лесных почв Западного Кавказа. Дальнейшая эволюция почв зависит от степени повреждения почвенно-растительного покрова, времени после нарушения, типа почв, климата, рельефа и почвообразующих пород.
2. Изменения экологического состояния нарушенных лесных почв максимальны в первые годы после нарушения, но продолжаются десятки лет. В зависимости от степени нарушения возможна как полная деградация почв, так и повышение биоразнообразия, продуктивности и биологической активности. В первые годы после рубки леса и пожаров при слабом нарушении в результате опущенного эффекта биологическое разнообразие флоры, фауны и биологическая активность почв могут значительно повышаться уже через 2–3 года. Нарушение почвы тяжелой техникой резко замедляет восстановление и может привести к полной деградации почв с выходом на поверхность элювия горных пород.
3. Устойчивость экологического состояния почв юга России к деградации древесной растительности снижается в ряду: серые лесостепные > коричневые \geq серые лесные \geq дерново-карбонатные > буроземы.
4. Применение мелиорантов и биопрепаратов способствует активизации биологических процессов и ускорению восстановления нарушенных рубками и пожарами лесных почв. Лучшие результаты показывают цеолиты и известковые мелиоранты, особенно на кислых почвах.

Научная новизна результатов исследований. Выявлены закономерности изменения биологической активности послелесных почв низкогорий и среднегорий Западного Кавказа в зависимости от времени, прошедшего после повреждения почвенно-растительного покрова. Установлены параметры, отражающие экологическое состояние нарушенных

рубками и пожарами почв разных хронорядов и типов почв. С применением ИПБС построен ряд устойчивости почв низкогорий (коричневых, серых лесных и лесостепных) и среднегорий Западного Кавказа (буроземов и рендзин) к деградации древесной растительности. Установлены основные факторы изменений почв, а также индикаторы процессов деградации и проградации экологического состояния почв. Выявлены закономерности восстановления почв и способы его ускорения путем внесения мелиорантов и биологических препаратов.

Теоретическая значимость работы. Установлены параметры, отражающие экологическое состояние нарушенных почв разных хронорядов (1–110 лет) и типов почв Западного Кавказа. Определены пути эволюции послелесных почв Западного Кавказа в зависимости от типа почв и экологических факторов. Установлена высокая устойчивость почв низкогорий (серых лесных и лесостепных) по сравнению с почвами среднегорий Адыгеи (буроземов и рендзин). Установлены основные факторы деградации почв и экосистем, а также индикаторы этих явлений. Выявлены закономерности восстановления почв и способы его ускорения путем внесения мелиорантов и биологических препаратов.

Практическая значимость заключается в использовании результатов исследований природоохранными и лесотехническими организациями для экологического мониторинга лесных почв и повышения эффективности проводимых мероприятий по восстановлению лесов и предотвращению стихийных бедствий (наводнений, селей и др.). Установлены параметры для диагностики и мониторинга нарушенных почв и индикаторы их экологического состояния. Установленные способы ускоренного восстановления нарушенных послелесных почв позволят улучшить экологическое состояние нарушенных территорий, предотвратив деградацию почв, снизив эрозию, увеличить продуктивность и устойчивость экосистем. Результаты исследований применяются в образовательной деятельности при подготовке бакалавров, магистров и аспирантов в Майкопском государственном технологическом и Южном федеральном университетах.

Апробация результатов работы. Материалы диссертационной работы представлены на научных мероприятиях разного уровня: научных конференциях «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (Ростов-на-Дону, 2017–2022), Международной конференции «Экология и биология почв»

(Ростов-на-Дону, 2018), Всероссийской научной конференции «Почвы в биосфере» (Томск, 2018), Всероссийской конференции «Энтузиасты аграрной науки» (Краснодар, 2019), конференции «Молодежная инициатива» (Ростов-на-Дону, 2017), Межрегиональной конференции «Наука XXI века: вызовы и перспективы» (Элиста, 2019), VII Всероссийской конференции «Горные экосистемы и их компоненты» (Махачкала, 2019), X Всероссийской конференции «Устойчивое развитие территорий: теория и практика» (Сибай, 2019), II Всероссийской школы-конференции «Наземные и морские экосистемы Причерноморья и их охрана» (Севастополь, 2020), VI международной конференции «Наука, образование и инновации для АПК: состояние, проблемы и перспективы» (Майкоп, 2020), IX всероссийской научной конференции «Лесные почвы и изменение климата» (Москва, 2021); VIII Всероссийском съезде общества почвоведов «Почвы – стратегический ресурс России» (Сыктывкар, 2022), Международной конференции «Биологическое разнообразие и биоресурсы степной зоны в условиях изменяющегося климата» (Ростов-на-Дону, 2022), VI Международной конференции «Эволюция и деградация почвенного покрова» (Ставрополь, 2022) и др.

Личный вклад автора. Диссертационная работа выполнена на основе обширного материала мониторинга экологического состояния почв Западного Кавказа и оригинальном материале, полученном лично автором и при его непосредственном участии.

Публикации результатов исследований. Основные результаты диссертации опубликованы более чем в 60 научных работах, из них 8 публикаций в журналах, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и Web of Science, 13 статья в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК, 3 монографии и 3 РИД.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, 11 глав, выводов, списка литературы и приложений. Работа изложена на 335 страницах печатного текста, содержит 35 таблиц, 109 рисунков, 33 приложения. Список литературы включает 409 источников.

Конкурсная поддержка работы. Исследования поддержаны грантами Президента РФ по государственной поддержке ведущей научной школы РФ (НШ-3464.2018.11, НШ-2511.2020.11, НШ-449.2022.5), Министерства науки и

высшего образования РФ (075-15-2022-1122; FENW-2023-0008; "Приоритет 2030" ЮФУ).

Благодарности. Автор признателен за всестороннюю помощь на всех стадиях работы научному консультанту, директору Академии биологии и биотехнологии им. Д. И. Ивановского ЮФУ, д.г.н. К. Ш. Казееву. Глубокую благодарность автор выражает заведующему кафедрой агрохимии КубГАУ, д.с.-х.н., академику РАН А. Х. Шеуджену, профессору МГТУ, д.б.н. Ю. Н. Ашинову, заведующему кафедрой экологии и природопользования ЮФУ, д.с.-х.н. С. И. Колесникову за ценные советы, доценту кафедры ботаники ЮФУ, к.б.н. О. Ю. Ермолаевой – за помощь в исследованиях флоры и растительности, инженеру кафедры зоологии ЮФУ Э. А. Хачикову – за идентификацию герпетобионтов, научному сотруднику Института географии РАН, к.г.н. Е. А. Грабенко – за помощь в полевых исследованиях и консультации, старшему научному сотруднику АБиБ ЮФУ, к.б.н. В. П. Солдатову – за помощь в проведении исследований. Автор благодарен сотрудникам и обучающимся кафедры экологии и природопользования ЮФУ, участвовавшим в работе на разных этапах, сотрудникам Майкопского государственного технологического университета, Кавказского государственного природного биосферного заповедника и ГПЗ «Утриш» за помощь в полевых исследованиях. В работе были использованы фотографии А. К. Шхапацева, К. Ш. Казеева и В. П. Солдатова.

1 ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ

В первой главе представлен обзор российских и зарубежных источников, посвященных экосистемной роли лесов, их рациональному использованию, воздействию рубки леса и пожаров на свойства почв и биологическую активность. Рассмотрены лесные экосистемы и почвы Западного Кавказа, вопросы восстановления ремедиации нарушенных почв, а также биологические индикаторы последствий пожаров и скорости восстановления почв.

2 ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Почвы, нарушенные рубками

Дерново-карбонатные выщелоченные (Яворова поляна, Партизанская поляна)

Буроземы кислые (Кавказский заповедник, пос. Отдаленный)

Серые лесостепные почвы (станция Даховская)

Серые лесные (станция Даховская, терраса р. Сюк)

Коричневые карбонатные и выщелоченные (заповедник «Утриш»)

Почвы, нарушенные пожарами

Коричневые карбонатные и выщелоченные (заповедник «Утриш»)

Буроземы кислые (Кавказский заповедник)

Расположение исследуемых участков представлено на рисунке 1.

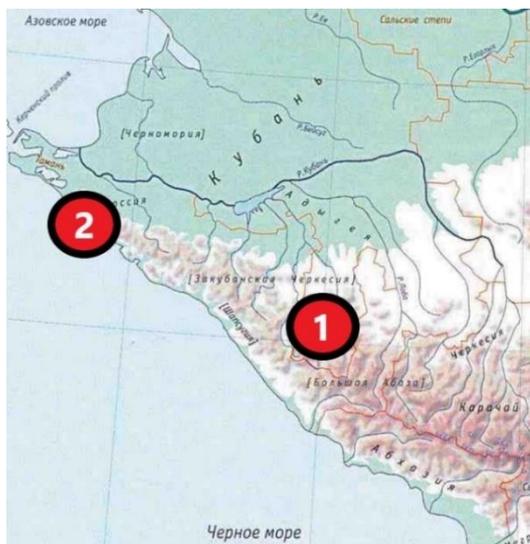


Рис. 1. Схема расположения исследуемых объектов:

- 1 – вырубki и гарь мезофитных лесов Кавказа;
- 2 – вырубki и гарь ксерофитных лесов Кавказа

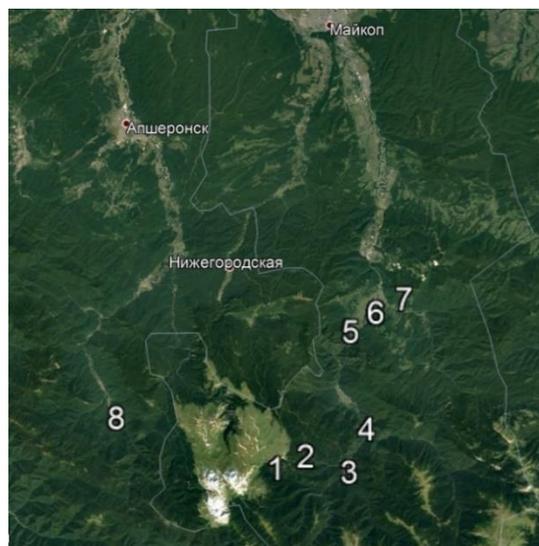


Рис. 2. Карта-схема расположения участков мезофитных лесов Западного Кавказа:

- 1 – вырубka 12 лет, Яворова поляна;
- 2 – вырубka 12 лет, за Гузерицлем; участки леса и гарь, Кавказский заповедник, пос. Гузерицль;
- 3 – поспирогенный участок (устье р. Киша);
- 4 – вырубka 15 лет, пос. Никель;
- 5 – вырубka более 15 лет, ст-ца Даховская;
- 6-7 – участки лесовозобновления после рубок, ст-ца Даховская;
- 8 – самозарастающие вырубki 40–110 лет, пос. Отдаленный.

Исследования буроземов проводили в верховьях р. Белой (Республика Адыгея, Кавказский биосферный заповедник) и Апшеронского лесхоза Краснодарского края (рис. 2). Исследуемые участки окон находятся на ранней стадии восстановительной сукцессии. В почвенном покрове Кавказского биосферного заповедника отмечены буроземы кислые и глееватые или Cambisols Dystric на элювии глинистых сланцев. Подстилка маломощная, деструктивного типа. Серые лесные и лесостепные почвы вырубок разных хронорядов исследованы в окрестностях станции Даховской Майкопского района Республики Адыгея. Участок №2 находится на склонах хребта Уна-Коз и горы Гуд

недалеко от слияния рек Дах и Белая. На этой территории были исследованы несколько послелесных площадок на разных стадиях восстановительной сукцессии через 10–40 лет после сведения леса. Здесь распространены серые лесные остаточно-карбонатные почвы (Greyic Phaeozem Eutric).

Третий участок расположен на выровненной террасе высотой около 500 метров над уровнем моря вблизи впадения реки Сюк в Белую. Почвой данного участка является серая лесная (Greyic Phaeozem Pachic). На вырубке рядом почва деградировала в результате развития эрозионных процессов, которые резко усилились после сведения леса. В результате почва данной территории серая лесная смытая каменистая (Greyic Phaeozem Skeletic).

Дерново-карбонатные почвы хроноряда 0–12 лет исследованы в окрестностях Яворовой и Партизанской полян в нескольких километрах от поселка Гузерибль (Адыгея) на высоте 1200–1600 м над уровнем моря. Почвы исследуемой территории – дерново-карбонатные (рендзины, Rendzic Leptosols) выщелоченные слабокаменистые суглинистые на элювии известняков. По Классификации почв России эти почвы относятся к карболитоземам темногогумусовым. Ранее здесь были проведены исследования биологических свойств лесных и послелесных почв (Казеев и др., 2012, 2013, 2021; Тер-Мисакянц и др., 2013; Солдатов и др., 2020; Шхапацев и др., 2021, 2022).

Исследовали несколько вырубок, находящихся в нескольких километрах друг от друга. Сплошная рубка леса на участках №1 и №2 проведена в 2010 г. В качестве мониторинговых площадок были выбраны несколько участков с разной степенью нарушения почвенного покрова. На участке новой вырубке 2019 г. исследована однородная площадка с полным уничтожением растительности, подстилки и верхнего гумусового слоя.

Коричневые почвы исследованы в западной части Северо-Черноморской провинции Большого Кавказа на Абрауском полуострове в государственном природном заповеднике «Утриш» (рис. 3).

Ранее проведенные исследования показали, что не только на территории полуострова Абрау, но и на территории заповедника «Утриш» распространены коричневые почвы (Казеев и др., 2015). При этом большинство почв заповедника относят к неполноразвитым родам коричневых почв с высокой степенью скелетности по причине их формирования на плотных породах разного состава с высокой степенью скелетности (Опанасенко, Евтушенко, 2019).

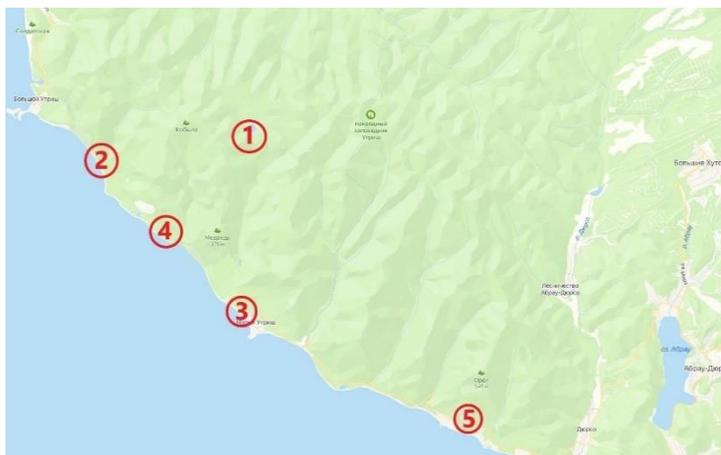


Рис.3. Нарушенные рубкой и пожарами ксерофитные леса и редколесья Абрауского полуострова: 1– вырубка; 2 – гарь 2010 г., Водопадная щель; 3 – гарь 2018 г., пос. Малый Утриш; 4 – гарь 2020 г., Базовая щель; 5– гарь 2015 г., Сухая щель

В 2019–2020 гг. были проведены исследования постпирогенных почв на нескольких участках Абрауского полуострова, отличающихся временем восстановления с момента пожаров. Согласно традиционной «Классификации и диагностике почв СССР» (1977), почвы диагностированы как коричневые (Cambisols) выщелоченные на элювии окарбоначенного песчаника.

3 МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспедиционные и лабораторно-аналитические исследования выполнены в 2005–2022 гг. На каждом из исследуемых участков были заложены разрезы. Для выявления статистических закономерностей для почв разных участков отбирали по несколько (3–6) индивидуальных почвенных образцов из поверхностного слоя почвы (0–10 см, не подстилки) рандомно на расстоянии нескольких метров друг от друга. Исследованы температура, влажность, плотность и сопротивление пенетрации почв, структурное состояние, валовой состав, реакция среды, обменная и гидролитическая кислотность, обменные основания, интенсивность эмиссии почвой углекислого газа, содержание общего органического и активного углерода, карбонатов, элементов питания растений, численность микроорганизмов и мезофауны, ферментативная активность и другие показатели (Воробьева и др., 2006; Казеев и др., 2003, 2016; Даденко и др., 2021). Для выявления различий в уровне биогенности и биологической активности разных почв определяли интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) почвы. Этот показатель оценивает совокупность биологических показателей, выраженных в разных единицах, и позволяет

нивелировать случайные колебания, характерные для большинства биологических параметров (Казеев, Колесников, 2012).

Анализы почвенных образцов выполнены в лабораториях Южного федерального университета в трехкратной полевой повторности и в трехкратной аналитической повторности.

Для оценки влияния разных способов ускоренного восстановления нарушенных рубками и пожарами почв Западного Кавказа была проведена серия лабораторных и полевых экспериментов с использованием биопрепаратов, сидератов и мелиорантов. Основное внимание уделено использованию удобрений и цеолитов, которые значительно улучшают плодородие сельскохозяйственных земель юга России (Кудаев и др., 2000; Шеуджен и др., 2002, 2017; Шхапацев, Кемечева, 2006; Трубилин и др., 2009). Использование биопрепаратов и гуминовых кислот показало эффективность для восстановления постпирогенных почв (Максимов и др., 2017; Нижельский и др., 2021; Вилкова и др., 2022).

Всего для написания диссертационного исследования были исследованы 57 ключевых участков, на некоторых из которых динамические исследования вели более 10 лет, были обобщены и проанализированы более 5000 полевых и более 20 000 лабораторно-аналитических определений разных параметров более чем 1 500 почвенных образцов.

Статистическая обработка данных проведена с использованием корреляционного анализа для изучения тесноты и формы связи между биологическими показателями почв. Дисперсионный анализ полученных результатов проводили в программах STATISTICA 10, MS Excel, Python 3.6.5 пакет Matplotlib.

4 ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ ПРИ НАРУШЕНИЯХ ВЕРХНЕГО ЯРУСА ЛЕСА В КАВКАЗСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ

Естественные леса представляют собой сукцессионную мозаику элементов мозаично-ярусной структуры. Мозаика формируется в естественных лесах после нарушений, приводящих к образованию прорывов в сплошном пологом леса. «Окно» – небольшой по площади участок леса, образующийся в сомкнутом пологом деревьев. Размеры прорывов – «окон» – в пологом леса определяют видовой состав успешно возобновляющихся древесных видов и их

количественные сочетания (Попадюк и др., 1994). В результате появляются ветровально-почвенные комплексы. Особенности сукцессий и запасов органического углерода в подобных условиях в лесах Северо-Западного Кавказа исследованы ранее (Лукина и др., 2018; Шевченко и др., 2019). Подобные изменения могут возникать и при антропогенных воздействиях на лесные экосистемы.

Исследуемые «окна» возрастом 2–6 лет и площадью 75–200 м² характеризуются повышенной инсоляцией и особым микроклиматом, быстрорастают подростом и травянистой растительностью. Это приводит к изменению физических, химических и биологических свойств буроземов. Исследования показали значительное расхождение значений влажности почв в исследуемых буроземах. В почвах «окон» выявлены достоверно более высокие значения этого показателя (рис. 4), потому что кроны деревьев не задерживают атмосферную влагу в дождливый период во время полевых исследований.

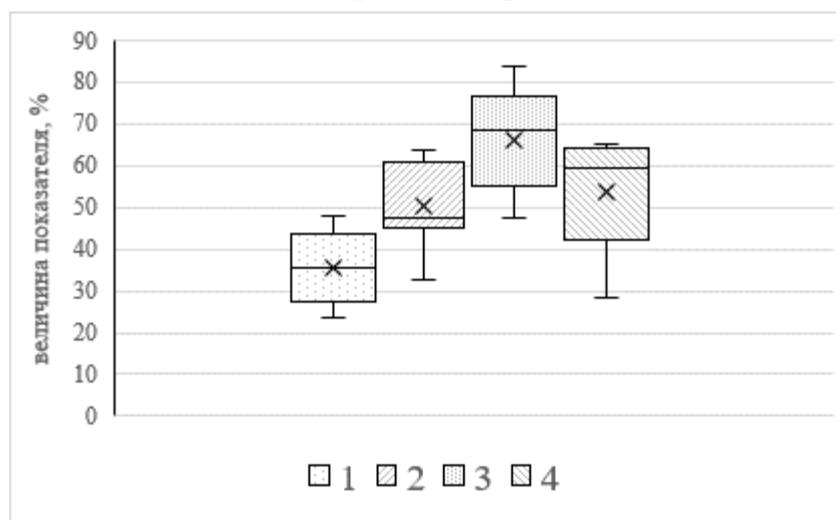


Рис. 4. Влажность и структурность буроземов, %: 1 – влажность в лесу; 2 – влажность в «окнах»; 3 – структурность в лесу; 4 – структурность в «окнах»

Избыточное увлажнение способствовало некоторому ухудшению структурности почв в «окнах» по сравнению с фоновыми участками лесов. Однако даже при этом содержание ценных почвенных агрегатов в буроземах отличное в лесу и хорошее в почвах «окон». Водопрочность почвенных агрегатов была тоже на очень высоком уровне, независимо от мест отбора образцов. Произрастание травянистой растительности в «окнах» положительно сказалось на степени насыщенности почв основаниями, которая возросла на 34 %. Обменная и гидролитическая кислотности при этом практически не изменились,

pH_{KCl} составлял 4,1. Улучшение степени насыщенности почв произошло за счет увеличения значений поглощенных кальция и магния.

Содержание гумуса в почвах «окон» существенно превышает показатели фоновых участков леса. В поверхностном слое почвы в «окнах» содержание гумуса в среднем составляет 6,9 %, что в 1,13 раза превышает фоновые значения (рис. 5).

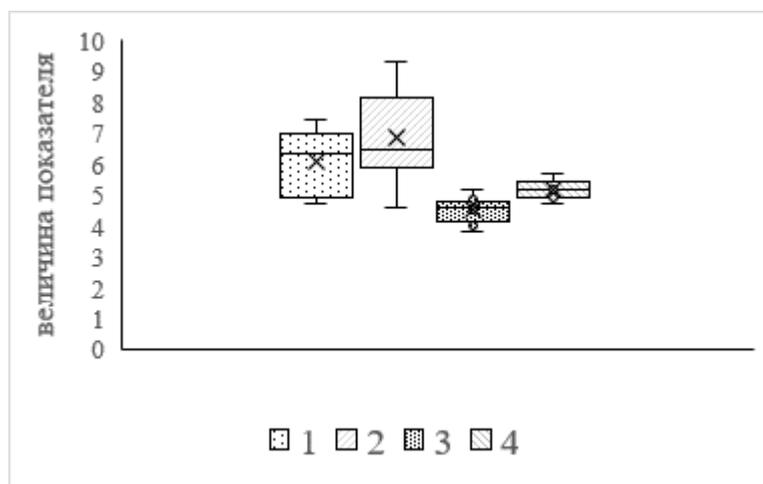


Рис. 5. Содержание гумуса (%) и численность бактерий (млрд) в буроземах: 1 – гумус в почвах леса; 2 – гумус в «окнах»; 3 – бактерии в лесу; 4 – бактерии в «окнах»

Практически аналогично изменяется содержание активного углерода, которое в «окнах» повышено на 10 %, что свидетельствует о более существенной доступности источников питания для почвенных микроорганизмов. Об увеличении на 20 % содержания гумуса в почвах на начальных этапах рубочной сукцессии по сравнению с лесными почвами сообщали и другие исследователи (Лукина и др., 2018). Для дерново-карбонатных почв района исследований увеличение биоразнообразия, биологической активности и гумусности на периферийных участках вырубок в результате опушечного эффекта также известно (Казеев и др., 2012, 2013; Солдатов и др., 2020; Shkhatpatsev et al., 2021).

Изменение эдафических свойств приводит к изменению численности микроорганизмов и биологической активности буроземов. Для профильного распределения активности ферментов характерно типичное резко убывающее поведение (Казеев и др., 2004, 2012). Значения активности разных ферментов в большинстве случаев находится на среднем уровне обогащенности. Выявлено высокое пространственное варьирование значений активности ферментов в исследуемых почвах, что существенно затрудняет установление достоверности различий (рис. 6). Изменения ферментативной активности в первые

годы формирования «окон» не имеют однозначной реакции. Различные ферменты, отражающие те или иные биологические процессы в почвах, имеют разную специфику поведения. Активность каталазы и фосфатазы незначительно увеличивается – на 10–13 %. Активность дегидрогеназ и инвертазы не имеет достоверных различий в почвах исследуемых участков. В поверхностных слоях молодых «окон» существенно уменьшилась активность уреазы (35 %), менее значительно уменьшилась активность пероксидазы (10 %).

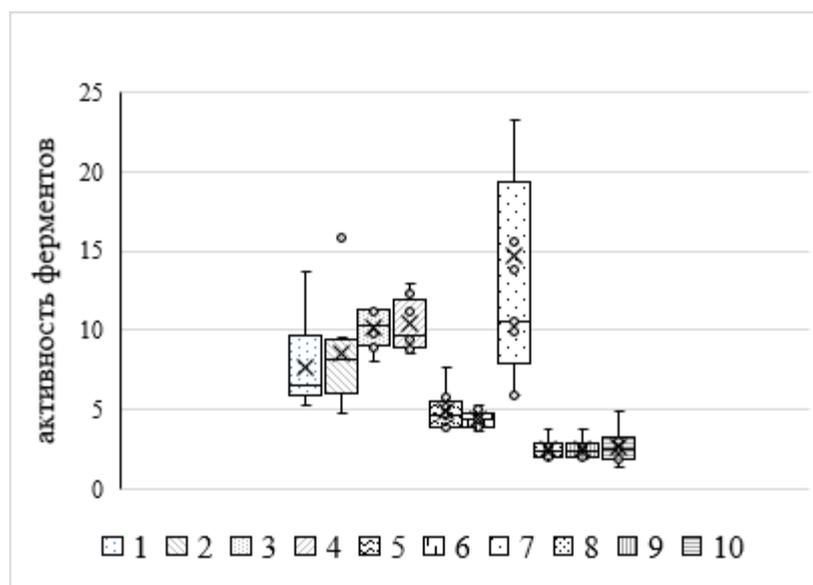


Рис. 6. Активность ферментов в буроземах:

1-2 – каталаза в почвах леса и «окон», мл O_2 /г/мин; 3-4 – дегидрогеназы, мг ТФФ/10г/24ч;
 5-6 – пероксидаза, мг бензохинона/г/30мин; 7-8 – уреазы, мг $N-NH_4$ /10г/24ч;
 9-10 – инвертаза, мг глюкозы/г/24ч

Интегрированный метод определения биологической активности буроземов способен оценить совокупность параметров, выраженных в разных величинах. Ранее подобный способ был успешно использован для выявления закономерностей влияния климатических параметров на биологические свойства почв (Казеев и др., 2004, 2015; Kozun et al., 2022). Использование ИПБС показало близкие значения параметра при высоком варьировании показателя в целом (рис. 7). Это связано с недостаточным размером образующихся «окон», которые в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа с большой высотой верхнего древесного яруса имеют сильное боковое затенение (Лукина и др., 2018; Шевченко и др., 2019).

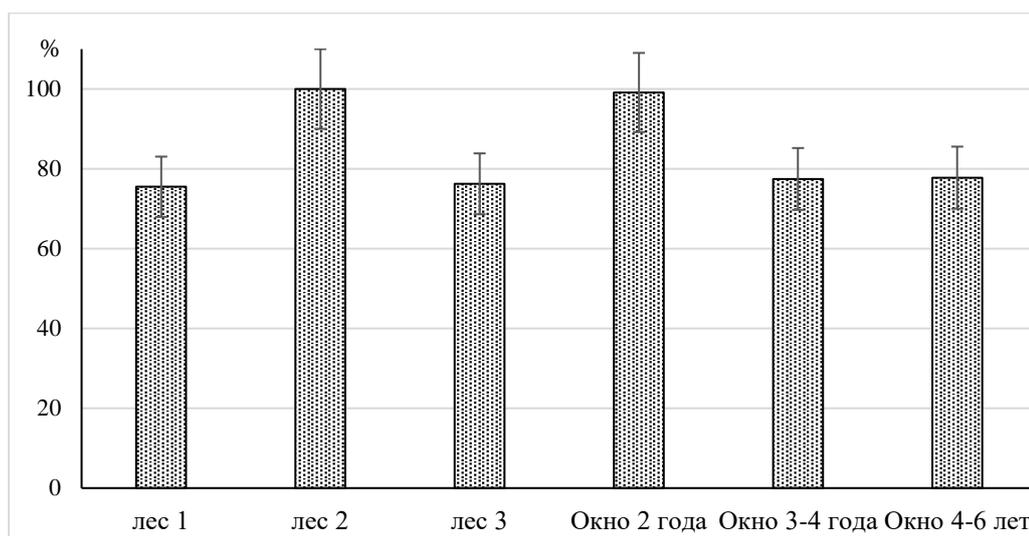


Рис. 7. ИПБС буроземов

Максимальные значения ИПБС отмечены в буроземе участка леса с доминированием бука по сравнению с лесными участками с доминированием пихты. Ранее было отмечено, что опад пихты менее благоприятен для биологических процессов в почвах вследствие большей устойчивости к биологическому разложению (Шевченко и др., 2019).

Наряду с факторами, способствующими появлению густой травянистой растительности и развитию дернового процесса, что благоприятствует активизации биологических процессов в почвах, существуют и факторы, их ограничивающие. Например, выявлено (Лукина и др., 2018), что поступление органического углерода в лесах под кронами в три раза выше, чем в «окнах».

5 ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ВЫРУБКАХ СРЕДНЕГОРИЙ АДЫГЕИ

Растительность северного макросклона Западного Кавказа представлена мезофитными широколиственными (буковыми, дубово-грабовыми) и темнохвойными (преимущественно буково-пихтовыми) лесами (Голгофская, 1967; Французов, 2006; Соколова, 2012, 2013, 2022; Литвинская, Муртазалиев; 2013, Акатов, 2014, 2018; Литвинская, 2020).

Большой интерес вызывает изучение экосистем, формирующихся на месте лесных вырубок. Ранее на территории среднегорий Адыгеи были проведены исследования, посвященные восстановительным сукцессиям самозарастающих вырубок (Казеев и др., 2013а; Хитрина и др., 2014; Ермолаева и др., 2015, 2023), по результатам которых дана комплексная оценка почвенно-

растительного покрова вырубок на азональных почвах Западного Кавказа – дерново-карбонатных почвах (Солдатов и др., 2020б; Казеев и др., 2021).

В период 2016–2021 гг. выявлено, что наибольшие изменения выявлены на участке с сильным антропогенным воздействием, где отсутствуют доминирующие виды, но флористический состав сообщества за шесть лет наблюдений стал более разнообразным и включает 38 видов на площади 100 м² (рис. 8).

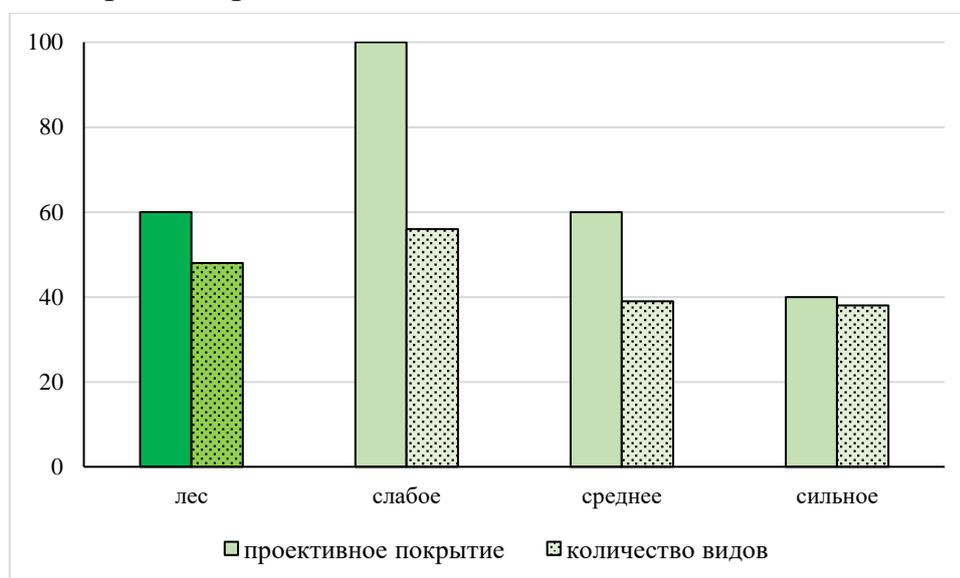


Рис. 8. Проективное покрытие травянистых растений и разнообразие флоры на вырубке Партизанской поляны с разной степенью нарушения в 2021 г. (Ермолаева и др., 2023)

Выявлены особенности таксономического состава флоры и некоторых характеристик растительности самозарастающих вырубок возрастом 2 года и 10 лет на дерново-карбонатных почвах Северо-Западного Кавказа. Отмечено возрастание биоразнообразия растений по мере снижения степени нарушения почвенно-растительного покрова.

6 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ ПОЧВ АДЫГЕИ ПОСЛЕ СВЕДЕНИЯ ЛЕСА

Значительная часть диссертационного исследования посвящена биологической диагностике экологического состояния разных почв гор Западного Кавказа после сведения лесов в зависимости от генезиса почв и возраста вырубков. Эти работы продолжаются в течение 15 последних лет. В задачи исследований входило: оценка экологических условий исследуемых участков, определение биологических параметров почв вырубков в зависимости от возраста и

степени антропогенного нарушения при рубках и выявление устойчивости почв разного генезиса к рубке леса.

Сравнительные исследования температурного режима показали значительное различие исследуемых участков в зависимости от климата, определяемого высотой местности над уровнем моря. Горные условия определяют прохладные условия исследуемой территории в отличие от предгорной равнины с очень жарким летом. Высота местности определяет температурный градиент, который отражается в почвах исследуемых участков (рис. 9).

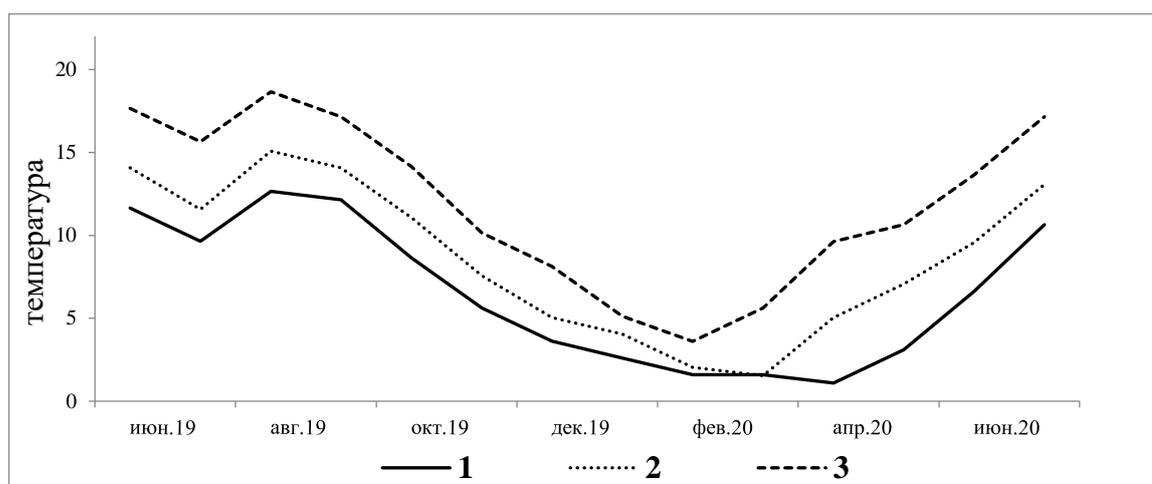


Рис. 9. Сезонное изменение температуры почв Адыгеи на глубине 10 см в зависимости от высоты местности над уровнем моря (2019–2020 гг.):
1 – 1635 м; 2 – 1200 м; 3 – 541 м

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 течение летних месяцев. Это приводит к ограничению биологического разложения и оторфовыванию растительных остатков в подстилке, на поверхности почвы образуется лесная подстилка. 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.

На основе обобщения полученных в 2019 г. данных был проведен корреляционный анализ между исследуемыми параметрами физических, химических и биологических свойств дерново-карбонатных и серых лесостепных

почв. Результаты анализа представлены в таблице 16. Выявлено, что гидротермические условия оказывают весьма значительное влияние на большинство исследуемых параметров. При этом роль температуры и влажности почв прямо противоположны. Биологическая активность имеет сильную отрицательную зависимость от температуры почвы на глубине 5 см. Коэффициент корреляции для активности дегидрогеназ, инвертазы, уреазы, фосфатазы, численности бактерий, микробной биомассы и ИПБС составляет от $-0,68$ до $-0,92$. В то же время большинство биологических параметров тесно связано с влажностью почвы. Исключением является активность пероксидазы, а дыхание почв находится в обратной зависимости от их влажности ($R = -0,68$). В большинстве случаев наблюдается положительная связь биологической активности с содержанием гумуса и структурностью почв. В целом повышение плотности почвы приводит к снижению биологической активности.

Фоновая серая лесная почва участка №1 содержит 9,7 % гумуса при нейтральной реакции среды и высокой степени насыщенности основаниями. Такие благоприятные условия в почвах формируются при их образовании на элювии карбонатных пород. При нарушении почвенно-растительного покрова в результате рубки и трелёвки леса отмечено резкое уменьшение биологической активности этих почв. Такую же закономерность отметили и на участке №2. Здесь содержание гумуса снижается с 9,0 % в контрольной почве до 4,7 % в смытой почве вырубке. Кроме того, на участке №2 снижаются степень насыщенности почвы основаниями и значения pH. Это является последствием смыва поверхностного слоя почвы на вырубке после сведения леса. В результате уменьшается биологическая активность, особенно активность уреазы (в 2,5 раза) и дегидрогеназ (в 4 раза). В почвах вырубок участка №1 снижение активности ферментов было выражено в меньшей степени.

На участке №3 контрольная серая лесостепная почва обладает типичными для почв этого типа значениями содержания гумуса (7,3%) и нейтральными значениями pH (7,3). Физические свойства (плотность, структурное состояние, сопротивление пенетрации) и реакция среды практически неотличимы на этом участке. Интегрированная оценка показала относительно незначительные различия серых лесостепных почв разной степени повреждения по сравнению с дерново-карбонатными почвами (Казеев и др., 2020, 2021). В 2019 г. наибольшее отклонение от контрольных значений выявлено для почв заросшей древесно-кустарниковой растительностью вырубке. На вырубках

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

Биологическая активность дерново-карбонатных почв среднегорий Адыгеи на участке №4 (высота 1635 м) значительно меньше на нарушенных рубкой участках даже через 10 лет после сведения леса. 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 почвы до глубины 30 см. Деградация биологической активности была связана с механическим нарушением поверхности почвы при работе бульдозеров, погрузчиков и другой тяжелой техники при рубке, трелёвке и вывозе леса, что свидетельствует о значительном нарушении экологических функций почвы. Через 9–10 лет после сведения леса было выявлено, что значения ИПБС различаются на участках с разной степенью первоначального нарушения почвенно-растительного покрова.

На участках со средней и сильной степенью нарушения произошло значительное снижение интегрального показателя. На участках со слабым нарушением почвы с опущечным эффектом было отмечено увеличение значений ИПБС в результате повышения биологической активности и содержания органического вещества в подстилке и гумусово-аккумулятивном слое почв. Увеличение ИПБС относительно контрольных участков составило 13–41 %. Аналогичные результаты были отмечены и на других участках, освободившихся от древесной растительности в этом регионе (Тер-Мисакянц и др., 2014; Шевченко и др., 2019).

7 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БУРОЗЕМОВ СТАРОВОЗРАСТНЫХ ВЫРУБОК ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

Исследуемые буроземы обладали практически идентичным рН водной и солевой вытяжки в контрольном лесу Кавказского заповедника и старовозрастных вырубках Апшеронского района Краснодарского края (водный 5,6–

5,7; солевой 4,1–4,3). 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. Всё это свидетельствует о хорошей оструктуренности исследуемых буроземов, что обеспечивает им хорошую водопроницаемость в верхних горизонтах, но не спасает эти почвы 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 активность оксидаз, способствуя, однако, увеличению активности редуктаз и в случае незначительной выраженности оглеения – гидролаз (Казеев и др., 2004б; Кандашова и др., 2016). Близкие значения отмечены также для содержания 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 затрудняет оценку достоверности различий. Однако выявлено, что на вырубках возрастом 40–50 лет значения эмиссии CO₂ из почв на 28 % ниже, чем на участках более старого возраста (рис.10). Эмиссия углекислого газа из почв контрольного участка леса практически равна таковой на участке вырубки возрастом 90–110 лет. Содержание гумуса в поверхностном слое исследуемых буроземов по оценочной шкале (Орлов и др., 2004) среднее, что характерно для этих почв (Вальков и др., 2008). Этот горизонт, обогащенный гумусом, очень маломощный. Характер профильного распределения содержания гумуса резко убывающий, типичный для большинства лесных почв (рис. 13А). Уже на глубине 25 см содержание гумуса снижается от поверхности с 7,4 % до 2,0%.

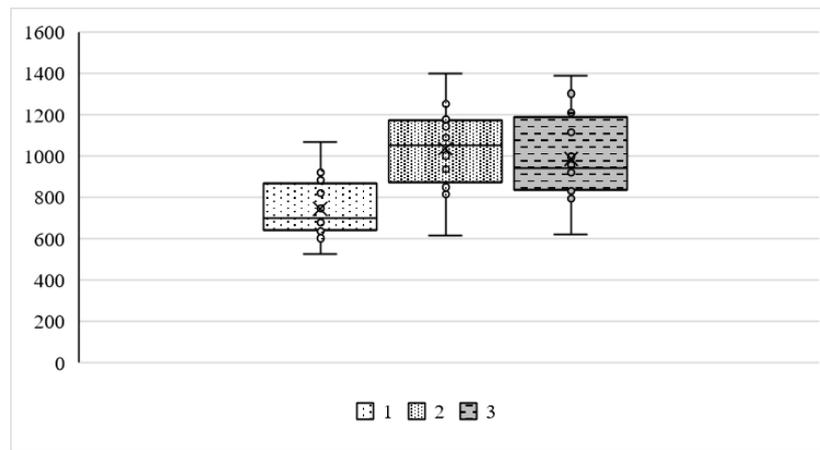


Рис. 10. Интенсивность эмиссии углекислого газа буроземами, мг CO₂:
1 – вырубка 40–50 лет; 2 – вырубка 90–110 лет; 3 – лес контрольный

Это связано с характером поступления органических остатков с опадом на поверхность почвы. На вырубке возрастом 40–50 лет показатели гумусного состояния практически не отличаются от контрольных значений (рис.13,14). Еще 50 лет восстановления после рубки приводят к заметным изменениям в определяемых параметрах гумусности. Содержание гумуса 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. Количество и качество (вследствие повышения доли пихты) опада повышено относительно более молодой вырубке, что приводит к накоплению гумуса в поверхностном слое почвы. О высокой интенсивности накопления органического углерода в почвах старовозрастных вырубок свидетельствует и повышение содержания активного углерода, содержащего лабильные части органического вещества почв.

Следует отметить, что в работе исследованы минеральные горизонты почв без горизонта лесной подстилки, которая в исследуемых почвах хоть и маломощна и практически исчезает к концу вегетационного сезона, но играет большую роль в биологических процессах. На поверхности и в поверхностном слое почвы находится значительное количество органических остатков разной степени разложения, полностью избавиться от которых можно только методом флотации (Орлов и др., 1996). Возможно, для подобных исследований более корректно использование метода прокаливания образца почвы без предварительной очистки от корней растений и органических веществ.

(рис. 11).

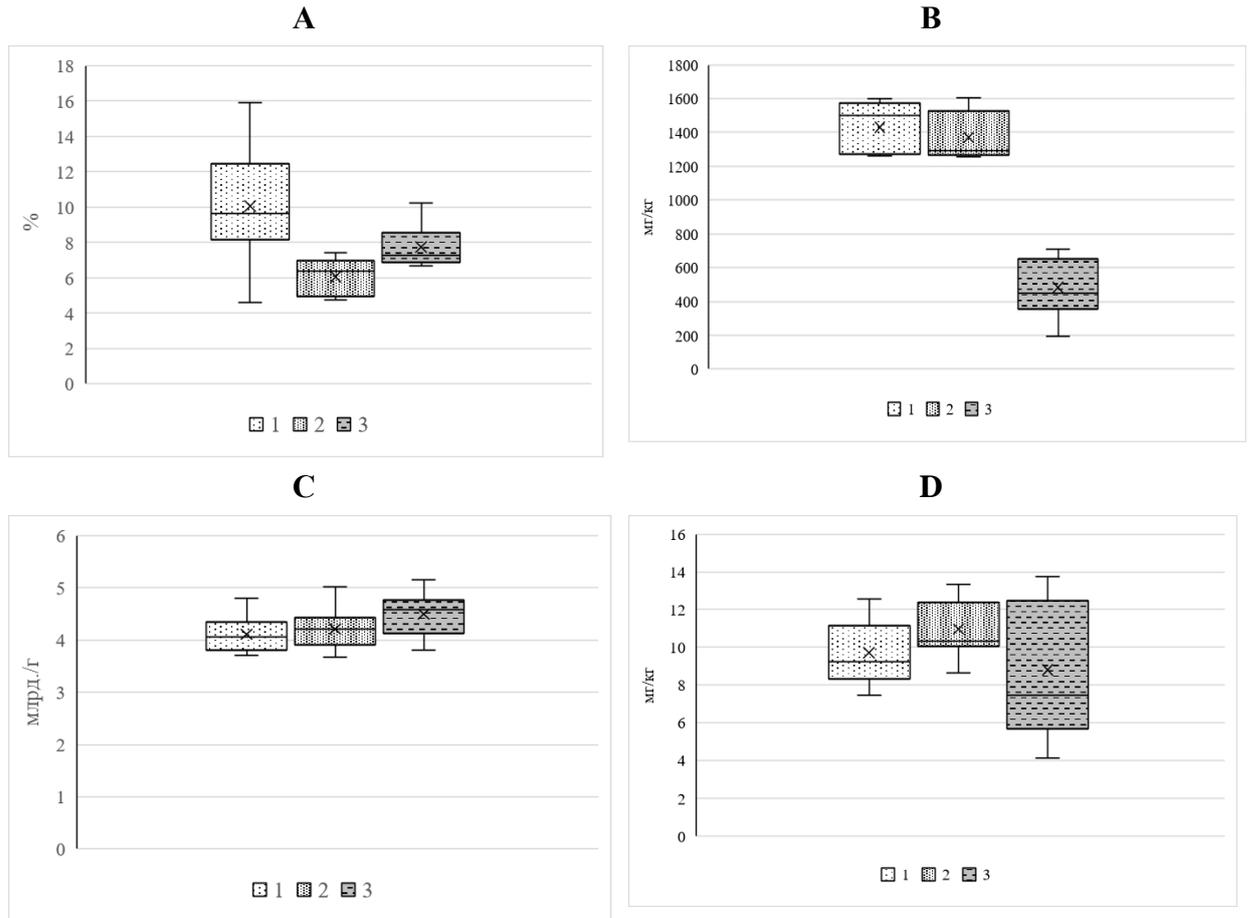


Рис. 11. Содержание гумуса – А, активного углерода – В, бактерий – С и микробной биомассы – D в буроземах. Обозначение почв – как на рис. 5

Буроземы кислые старовозрастных вырубок Апшеронского лесничества в поверхностном горизонте по шкале Д. Г. Звягинцева (1978) обладают средней обогащенностью бактериями – 4,1–4,2 млрд/г, которая ниже, чем в буроземах Кавказского заповедника: $4,5 \pm 0,2$ (рис. 11). Ранее выявлено, что численность бактерий при лесовозобновлении меньше изменяется по сравнению с другими биологическими показателями (Huang et al., 2022). Значительное время, произошедшее с момента рубки леса, позволило приблизить биогенность буроземов до значений фоновых лесов Кавказа. При этом почвы вырубок 40–50 лет и 110–120 лет неразличимы по этому показателю, притом, что на отдельных участках обилие бактерий варьировало в довольно широких пределах – 3,7–5,0 млрд/г. Это связано со значительной неоднородностью лесных почв в результате различий растительности, микрорельефа, вывалов деревьев и др. На глубине 5–15 см численность бактерий значительно меньше – 3,0–3,6

млрд/г. Микробная биомасса в исследуемых почвах не имеет достоверных отличий вследствие высокой вариабельности показателя (рис.11).

Ферментативная активность проявила себя как информативный показатель в диагностике экологического состояния исследуемых буроземов. Однако активность разных ферментов имела специфические черты. Даже ферменты, относящиеся к одному классу, могут иметь разное поведение в почвах исследуемого хроноряда (рис. 12).

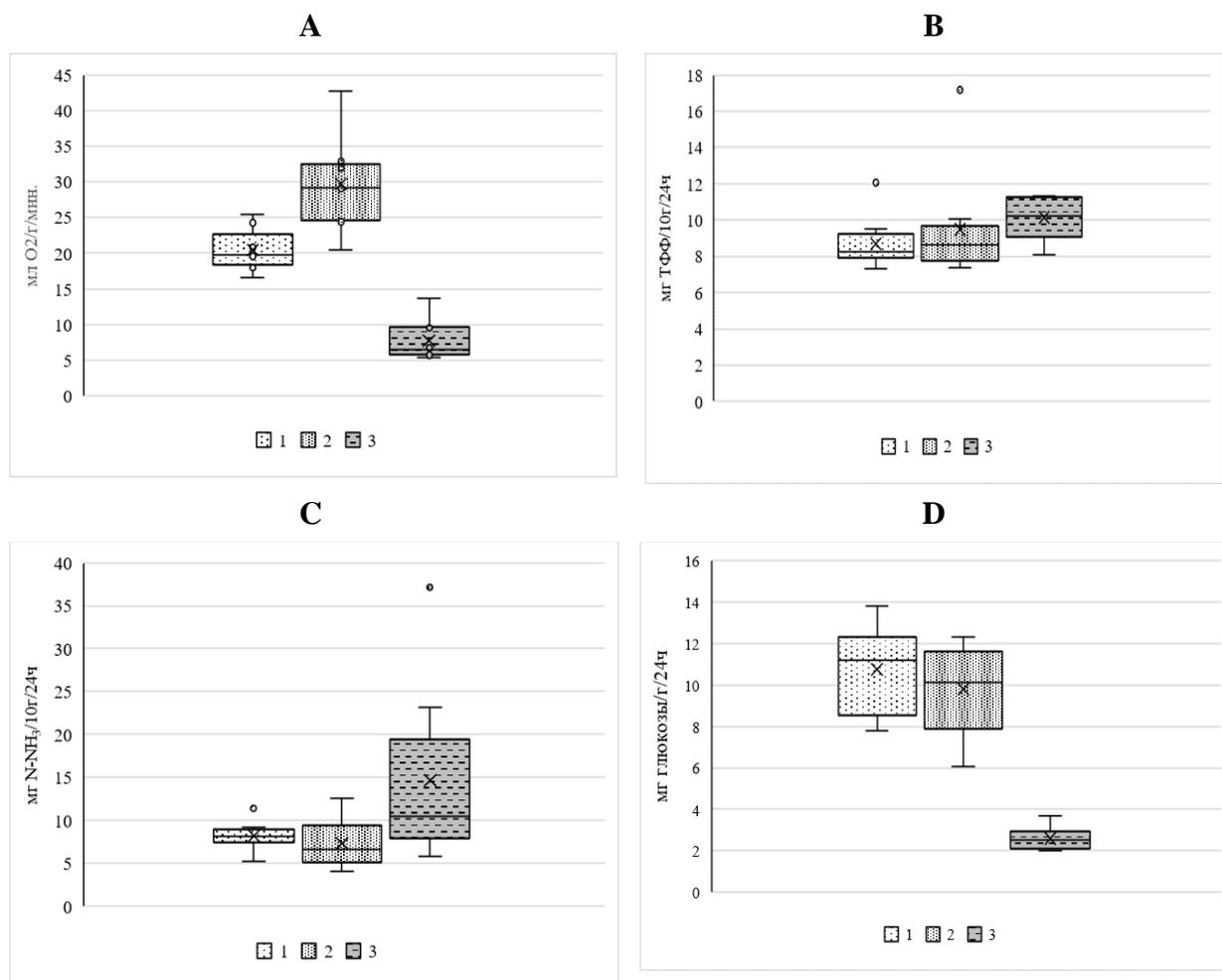


Рис. 12. Ферментативная активность буроземов вырубков.

Обозначение почв – как на рис. 6:

A – каталаза; B – дегидрогеназы; C – уреазы; D – инвертаза

Так, активность каталазы в почвах старовозрастных вырубков характеризуется очень высоким уровнем активности по шкале Д. Г. Звягинцева (1978) и значительно (почти в 3–4 раза) превосходит почвы контрольного участка леса в Кавказском заповеднике, где активность этого фермента находится на среднем уровне обогащенности. Почвы с более длительным восстановлением

(вырубка 90–110 лет) обладают на 45 % большей активностью, чем почвы на вырубке возрастом 40–50 лет. Этот фермент чаще всего слабо коррелирует с плодородием почв агроценозов (Казеев и др., 2004; Даденко и др., 2014; Азаренко и др., 2020), однако показывает высокую чувствительность при оценке степени деградации лесных почв (Казеев и др., 2012, 2021; Солдатов и др., 2020a). Активность каталазы обладает значительной устойчивостью и относительно низким варьированием (Казеев и др., 2004; Даденко и др., 2013, 2021), однако на исследуемых участках варьирование было очень высоким: на вырубках 14–22 %, на контроле 36 %. Активность дегидрогеназ, напротив, максимальна в почве контрольного леса. Однако различия с почвами вырубок не столь существенны, как для активности каталазы – на 17 % больше, чем на вырубке 40–50 лет, на 7 % – вырубке 90–110 лет. При этом на вырубках выявлено значительно большее (16–32 %) варьирование активности дегидрогеназ, чем в контрольном лесу (12 %). Активность ферментов группы гидролаз, отражающих напряженность циклов азота, углерода и фосфора, также имела разное поведение в исследуемых буроземах. Активность уреазы также была максимальна в контрольном лесу и значительно (почти в два раза) превышала значения этого фермента на вырубках. Инвертаза, напротив, в контрольном лесу обладала почти в четыре раза меньшей активностью, чем на вырубках. Активность фосфатазы также почти в два раза меньше в контрольном лесу по сравнению со старовозрастными вырубками. Существенных различий для активности уреазы, фосфатазы и инвертазы между почвами вырубок разного возраста не выявлено. Варьирование гидролитических ферментов было очень высоким: 17–38 %, а для уреазы в контрольном лесу – 68 %.

Анализ полученных данных показал наличие корреляционных связей для некоторых показателей. Так, содержание гумуса в поверхностном слое исследуемых почв тесно коррелирует с содержанием поглощенных оснований ($R=0,96$), содержанием подвижного фосфора ($R=0,65$) и структурностью ($R=0,63$). С биологическими параметрами содержание гумуса связано меньше: так, для активности уреазы $R=0,46$, для микробной биомассы $R=0,48$, а для численности бактерий всего 0,39. Удивляет отсутствие связи содержания гумуса с содержанием активного углерода ($R=0,22$) и активностью инвертазы (0,17). Эти два показателя обычно тесно связаны с содержанием гумуса в почве (Казеев и др., 2004a, 2016, 2020; Даденко и др., 2013; Азаренко и др., 2020). В причинах этого предстоит разобраться в следующих исследованиях.

Численность бактерий, как и следовало ожидать, тесно связана с микробной биомассой ($R=0,89$), а также влажностью ($R=0,60$), активностью инвертазы ($R=0,56$). А вот с активностью дегидрогеназ у бактерий отмечена обратная связь ($R= -0,51$), в то время как обычно для этих показателей отмечают прямую связь (Даденко и др., 2021). Активность инвертазы положительно коррелирует с влажностью ($R=0,71$), активностью дегидрогеназ ($0,60$) и содержанием обменного аммония ($R=0,61$). В то же самое время отсутствует связь с гумусом и активным углеродом, что, как указано выше, редко бывает в энзимологических исследованиях. Также не было выявлено связи между ферментами, отражающими напряженность циклов азота и фосфора; коэффициент корреляции для активности фосфатазы и содержания подвижного фосфора составил $0,30$, а для активности уреазы и содержания обменного аммония и вовсе $0,08$. Об отсутствии связи и даже возможном подавлении активности ферментов от повышенных концентраций фосфора и азота указывали и другие исследователи (Stone at al., 2012; Wu at al., 2022).

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. 13), показала более высокую биологическую активность почв на старовозрастных вырубках по сравнению с фоновыми участками леса.

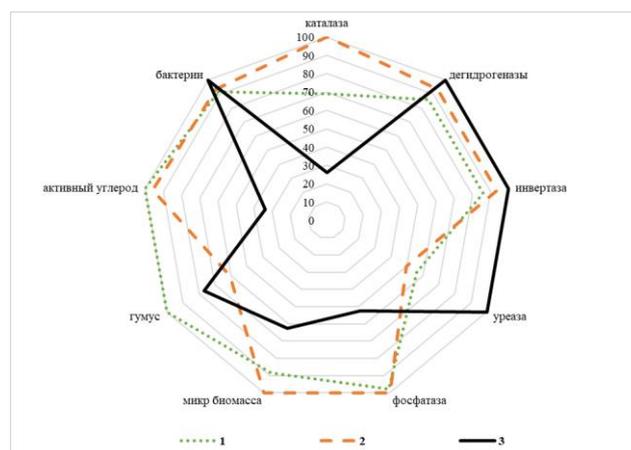


Рис. 13. Биологическая активность в буроземах. Обозначения в легенде – как на рис. 6

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 биологической активности на периферийных участках вырубок уже в первые годы после сведения леса (Казеев и др., 2012, 2021; Солдатов и др., 2020а,б).

8 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КОРИЧНЕВЫХ ПОСЛЕЛЕСНЫХ ПОЧВ СУХИХ СУБТРОПИКОВ

Объектом исследования являются три участка горных склонов над урочищем Сухой Лиман заповедника «Утриш» с высотой над уровнем моря 310–316 м. Рубка леса несколько десятилетий назад была повсеместной на всей территории заповедника (Кухарев и др., 2013). Выбранные участки были выделены по степени нарушения растительного покрова. Первый участок представляет собой поляну с травянистой растительностью высотой 0,5 м. В качестве второго участка была выбрана зарастающая после вырубki территории с подростом ясеня высотой 3,5 м. В качестве контроля использовали прилегающую территорию фонового дубово-грабового леса. Почвенный покров территории включает сочетания коричневых выщелоченных среднесуглинистых почв разной мощности и скелетности (Chromic Cambisol). Участок с высоким антропогенным нарушением отличается значительно меньшим содержанием гумуса (2 %), чем в контрольных почвах, где его содержание превышает 5 %. Активность каталазы значительно увеличивалась по мере восстановления древесной растительности после сведения леса. На контроле уровень обогащенности данным ферментом более чем в два раза превышает обезлесенный участок на поляне. Между значениями активности инвертазы для второго участка и контроля не было выявлено существенных различий, в то время как на первом участке, в сравнении с контрольным, данный показатель был на 30 % ниже. Для всех трех участков было обнаружено слабое варьирование пероксидазной активности.

Различия в биологической активности связаны как с природным варьированием показателей, так и со степенью каменистости и мощности почв, а также со степенью антропогенного нарушения почв при вырубке леса (Казеев и др., 2016б). В 2015 г. ИПБС почв на вырубке значительно ниже контрольных значений – на 18–37 % (рис. 14). В 2019 г. подтверждены сниженные значения ферментативной активности и ИПБС в почвах вырубki.

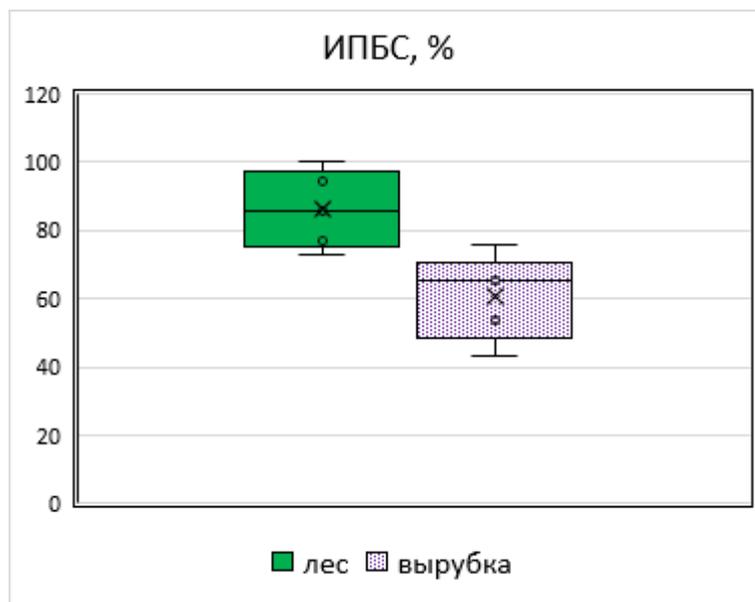


Рис. 14. Сравнение ИПБС коричневых почв вырубки и леса, 2015 г.

Таким образом, было выявлено существенное негативное воздействие рубки леса на биологическую активность коричневых почв. Процессы восстановления содержания гумуса и активности исследуемых ферментов зависят от растительности, формирующейся на месте вырубленного участка леса. В целом ферментативная активность возрастает по мере зарастания вырубки подростом деревьев. Однако различия в ИПБС значительны в оба срока наблюдения.

9 ПОСТПИРОГЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ ЗАПОВЕДНИКА «УТРИШ»

Пожары являются частыми явлениями, которые возникают как естественным образом, так и при воздействии человека. Пожары влияют на все компоненты биогеоценоза. Коренным образом меняется развитие древостоя, уменьшается видовое разнообразие и плотность популяций. В целом для лесных территорий, многократно подвергавшихся действию пожаров, характерно уменьшение в напочвенном покрове доли трав, господство мхов, лишайников, кустарничков (Кулешова и др., 1996). Установлена значительная роль пожаров в возобновлении леса в лесной зоне России (Khanina et al., 2018). Было обнаружено, что характеристики почвы менее чувствительны к лесным пожарам, чем наземная растительность (Pingree, DeLuc, 2018). Однако пожары вносят большое изменение в микрофлору и разнообразие почвенной фауны, влияют на изменение ее химического состава, содержание органического вещества и питательных элементов. После пожаров происходит уплотнение почв, ухудшается

водопроницаемость, изменяется структура и pH, теряется минерализованное органическое вещество, снижается нитрификация (Магзанова, Хиялиева, 2013, Adkinsa et al., 2019). Пожары приводят к изменению геохимических особенностей биоценозов за счет выноса в виде дыма и последующего вымывания из почвы питательных веществ и к изменению гидротермического режима. Смена абиотических условий неизбежно приводит к трансформации качеств экологических ниш на гарях, изменяет связность среды и пространственную структуру почвенного покрова (Wardle et al., 2008). По степени воздействия для территорий с почвами легкого механического состава влияние пожаров на почву многократно превышает влияние земледелия. Изменение состава напочвенного покрова определяет, в свою очередь, изменение характера гумусонакопления (образование гумуса). В исследованиях В. Ф. Валькова с соавторами (1996) было выявлено, что палы стерни и соломы пагубно воздействуют на гумусное состояние чернозема. Даже одногодичные наблюдения выявляют тенденцию уменьшения содержания общего и водорастворимого гумуса за счёт гуминовых и фульвокислот, что приводит к повышению доли негидролизуемого остатка органического вещества.

При пожарах негативное воздействие на биоту оказывает как термический фактор, так и токсичные продукты горения (Вальков и др., 1996; Казеев и др., 2020; Нижельский и др., 2022). Пирогенный эффект оказывает значительное влияние на ферментативную активность почв (Одабашян и др., 2017; Lucas-Vorja et al., 2018; Fernandez-Garcia et al., 2019), поэтому активность почвенных ферментов может быть индикатором последствий пирогенного воздействия в почвах.

Возобновление территории гарей занимает длительное время и зависит от силы пирогенного воздействия.

Уникальные экосистемы Абрауского полуострова Черноморского побережья Кавказа, сохранившиеся в заповеднике «Утриш», представлены сухими восточно-средиземноморскими субтропиками с большим числом эндемиков и реликтов, сохранившимся с третичного периода. Это одно из немногих в России мест произрастания можжевело-фисташковых редколесий. В 2016–2021 гг. проведено исследование биологических свойств коричневых почв на нескольких участках Абрауского полуострова. Основной упор сделан на исследование мониторинговой площадки Водопадной щели заповедника «Утриш», расположенной на постпирогенном участке можжевелового редколесья на

высоте 110–140 м над уровнем моря на южных отрогах хребта Навагир (рис.15, 16).



Октябрь 2016 г.



Сентябрь 2018 г.

Рис. 15, 16. Постпирогенный участок Водопадной щели

Установлено значительное влияние пожаров на эколого-биологические свойства коричневых почв (рис. 17).

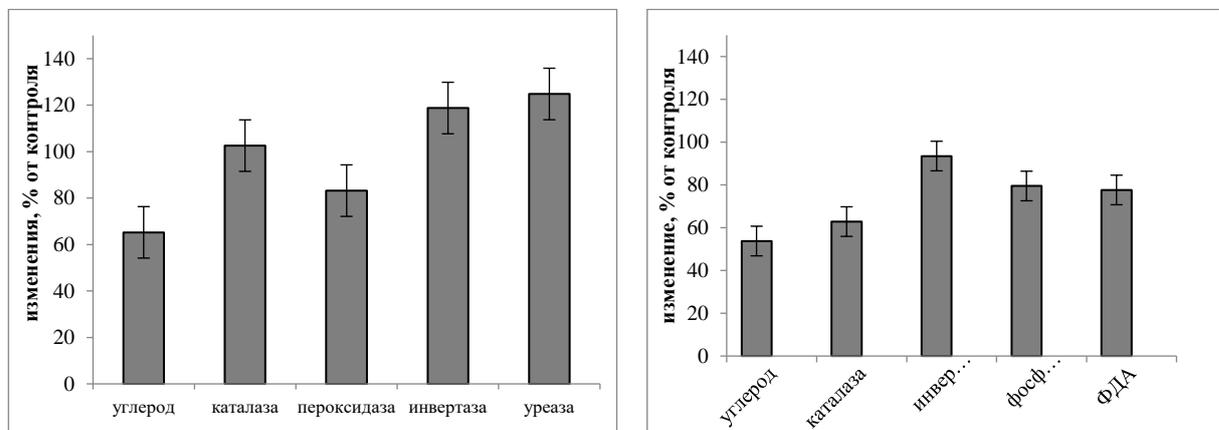


Рис. 17. Изменение биологической активности верхнего слоя почв: А – Водопадной щели через девять лет после пожара; В – Сухой щели через пять лет после пожара

Спустя пять–десять лет после пожара многие биологические свойства постпирогенных почв значительно различаются по сравнению со свойствами контрольных участков можжевельнового редколесья. Содержание гумуса и биологическая активность постпирогенных почв в целом снижены по сравнению с почвами контрольных участков можжевельнового редколесья. При этом было

отмечено высокое варьирование биологических показателей почв на разных участках одного пожара.

Варьирование связано как с особенностями горного рельефа, так и с характером растительности, образующей разные по количеству растительных остатков рефугиумы. Интенсивность продуцирования углекислого газа в поверхностных горизонтах почв пожара более чем в два раза ниже по сравнению с контрольными значениями. Постпирогенная почва участка Сухой щели спустя пять лет после пожара содержит почти вдвое меньше гумуса в поверхностном пятисантиметровом слое по сравнению с почвой контрольного участка можжевельнового редколесья. На глубине 15–25 см различие между почвами участков сохраняются на том же уровне, что и для верхних горизонтов. Таким образом, показано значительное влияние пожаров на биологические параметры субтропических почв заповедника «Утриш», сохраняющееся в течение многих лет. Интегральный показатель биологического состояния (ИПБС) постпирогенных коричневых почв, рассчитанный с учетом значений интенсивности выделения углекислого газа, активности ферментов, содержания гумуса и бактерий, в почвах постпирогенного участка через девять лет после пожара был все еще снижен на 17 % относительно значений в почвах на контрольных участках.

В 2021 г. для всех постпирогенных почв заповедника «Утриш» отмечено отклонение в значениях активности исследуемых ферментов в сравнении с контрольными образцами почв. Наибольшее ингибирование таких ферментов, как каталаза, инвертаза и уреазы, отмечено непосредственно после сильного пожара на участке № 1 (рис. 18).

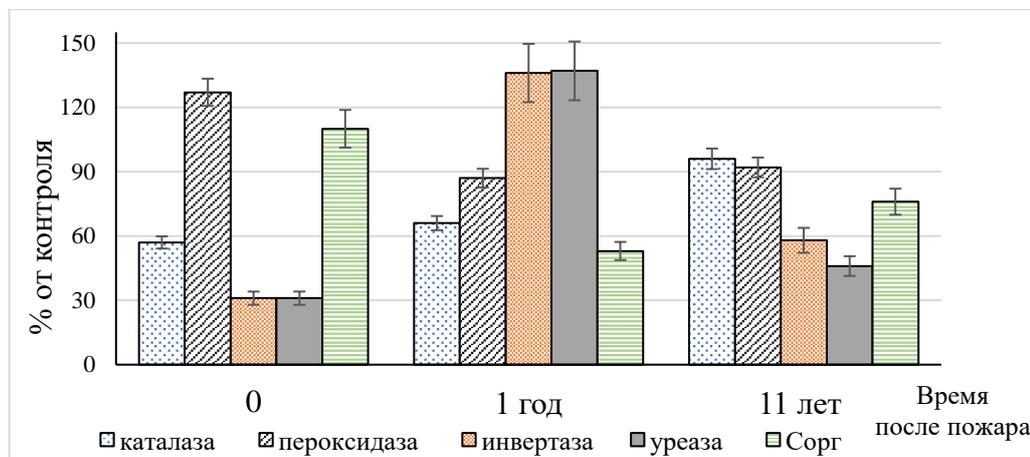


Рис. 18. Динамика активности ферментов постпирогенных почв в процентах от контроля

Активность инвертазы здесь снижена на 69 %, уреазы также на 69 % и каталазы на 43 % по сравнению с контрольными образцами. В целом уровень подавления ферментативной активности зависел от степени повреждения огнем исследуемой территории. Сильное пирогенное воздействие приводит к существенным изменениям растительности, микробного сообщества и биологической активности (Whitman et al., 2019). Снижение ферментативной активности напрямую связано с пирогенным воздействием – увеличением температуры на поверхности почвы, при котором белковые структуры ферментов разрушаются.

По сравнению с контрольными почвами содержание общего органического углерода на участке № 1 сразу после пожара выше на 10 %, а для двух других участков пожарищ содержание общего органического углерода снижено на 47 % через год после пожара и на 24 % – через 11 лет. Приближение содержания органического углерода к контрольным значениям через 11 лет после пожара связано с трендом повышения биологической активности почв при усилении дернового процесса почвообразования, активное участие в котором принимает травянистая растительность начальных этапов восстановительной сукцессии. А увеличение содержания органического углерода непосредственно после пожара напрямую зависит от большого количества пирогенного углерода, образующегося в результате пожаров (Liu et al., 2014).

10 СРАВНИТЕЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ РАЗНЫХ ТИПОВ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА К РУБКАМ И ПОЖАРАМ

Изменения экологического состояния почв при рубках и пожарах связаны с уничтожением древесной растительности. Причиной этого могут быть и ветровалы, обусловленные ослаблением деревьев низинными пожарами, как на одном из исследуемых нами участков в районе впадения реки Киша в Белую. После сведения леса начинаются восстановительные сукцессии, последовательность которых хорошо изучена в литературе (Сукачев, 1938; Одум, 1986; 1986; Федорчук, Кузнецова, 1995; Маслов, 2002; Нештаев, 2002, 2017; Уланова, 2006; Шевченко, 2016; Буряк, Каленская, 2020).

Поскольку разные биоиндикаторы могут реагировать на антропогенные воздействия по-разному, в последние годы широко применяется интегрированная оценка биологических свойств почв (Казеев и др., 2003; 2015; García-Ruiz et al., 2018; Acosta-Martinez et al., 2018; Karlen et al., 2019; Thiele-Bruhn et

al., 2022). В обзорной статье В. А. Тереховой (2022) охарактеризованы достоинства и недостатки некоторых способов и индексов экологического состояния почв, базирующихся на использовании реакций живых систем на загрязнение среды обитания (в частности, интегральный показатель биологического состояния почвы – ИПБС, функциональное разнообразие микробиома – ФБР, индекс состояния по методологии ТРИАД). С. И. Колесниковым с соавторами (2006) было показано, что нарушение экологических функций почвы происходит в определенной очередности. По мере увеличения концентрации загрязняющего почву химического вещества срыв выполняемых ею экосистемных функций (по классификации Г. В. Добровольского и Е. Д. Никитина, 1990) происходит в следующей последовательности: информационные – биохимические, физико-химические, химические и целостные – физические. В качестве критерия степени нарушения экологических функций почвы используют интегральный показатель биологического состояния почвы (ИПБС). Если значения ИПБС уменьшились менее чем на 5 %, то почва выполняет свои экологические функции нормально, при снижении значений ИПБС на 5–10% происходит нарушение информационных экوفункций, на 10–25 % – биохимических, физико-химических, химических и целостных, более чем на 25 % – физических (Колесников и др., 2006). Устойчивость почв к антропогенным воздействиям определяется устойчивостью именно целостных биогеоценологических функций, таких как аккумуляция и трансформация веществ и энергии в биогеоценозе, санитарная функция, функция буферного и защитного биогеоценологического экрана, условия существования и эволюции организмов. Нарушение этой группы функций следует считать порогом устойчивости почвы к антропогенному воздействию, превышение которого чревато экологическим кризисом или даже катастрофой для экосистемы (Колесников и др., 2006).

Спустя 10 лет после рубки леса вырубке на участках с дерново-карбонатными почвами дифференцируются в зависимости от степени развития травянистой луговой флоры и подроста деревьев и кустарников (рис. 19). При этом на экотонных участках со слабым нарушением отмечено повышение разнообразия и фитомассы, а также повышение содержания гумуса и биологической активности вследствие развития дернового процесса и оторфовывания растительных остатков на поверхности почвы (Солдатов и др., 2020а; Казеев и др., 2021; Shkhatpatsev et al., 2023). В результате на этих участках отмечено

превышение значений ИПБС на 12–39 % относительно фонового леса. При этом на участке сильного нарушения ИПБС по-прежнему уменьшен на 36–51 %.

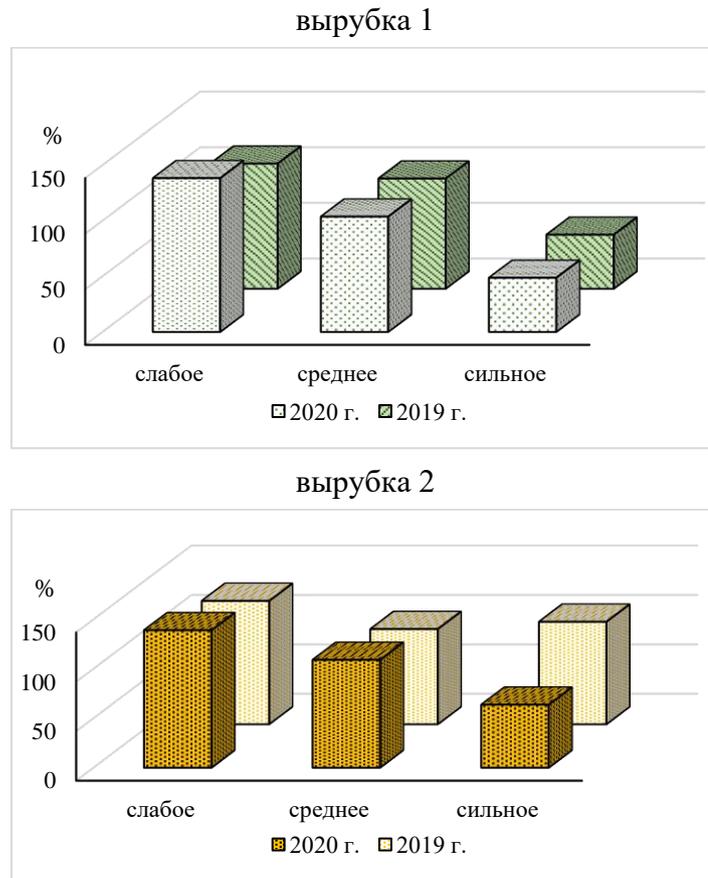


Рис. 19. ИПБС дерново-карбонатных почв среднегорий Адыгеи разной степени нарушения: 1 – слабое; 2 – среднее; 3 – сильное

Для серых лесостепных почв низкогорий Адыгеи выявлены незначительные различия в ИПБС вырубок и фонового леса (рис. 20).

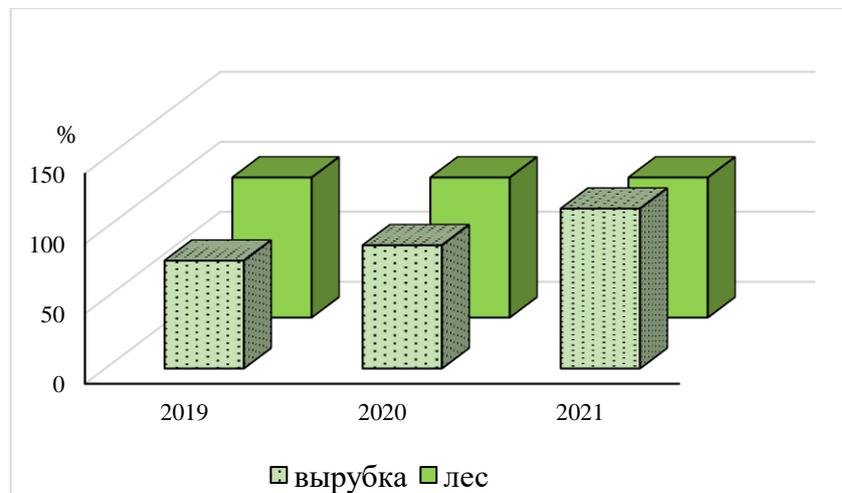


Рис. 20. ИПБС серых лесостепных почв на участке №3, 2019–2021 гг.:
1 – контрольный лес; 2 – вырубка;
3 – вырубка с повторным сведением подроста

В зависимости от времени наблюдения различия ИПБС могут быть отрицательными (–13 %) и положительными (+14 %).

Значительное влияние на биологическую активность почв вырубок оказывает время, прошедшее с момента сведения леса. Выявлено нарастание биологической активности по мере повышения возраста серых лесных почв в условиях горного рельефа хребта Уна-Коз с уклонами 6–12 ° (рис. 21). Разница в ИПБС относительно контрольного леса сокращается с 34 % до 17 % при увеличении возраста вырубок с 10 до 40 лет.

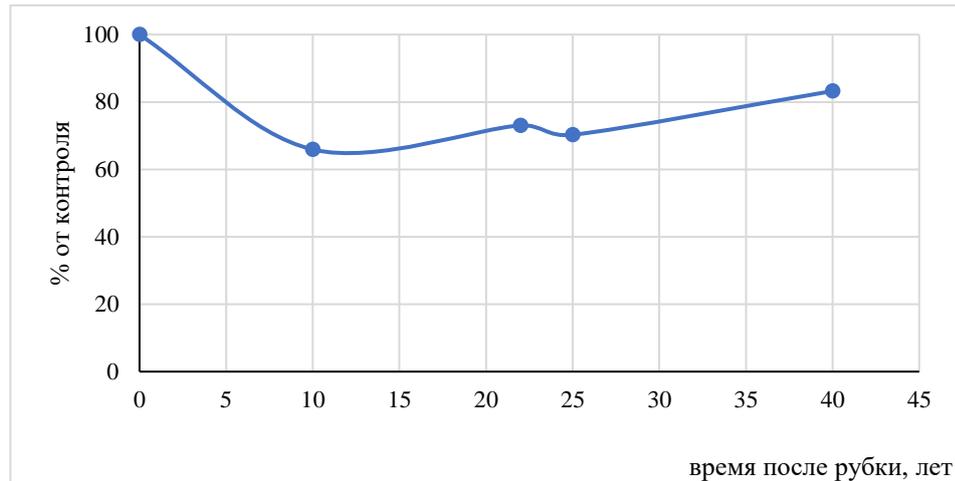


Рис. 21. Динамика восстановления ИПБС серых лесных почв Адыгеи

ИПБС почв на вырубке значительно ниже контрольных значений – на 18–37 % (рис. 22). При этом увеличение возраста подроста деревьев на вырубке ИПБС повышается, не достигая, однако контрольных значений биологической активности почвы фонового леса.

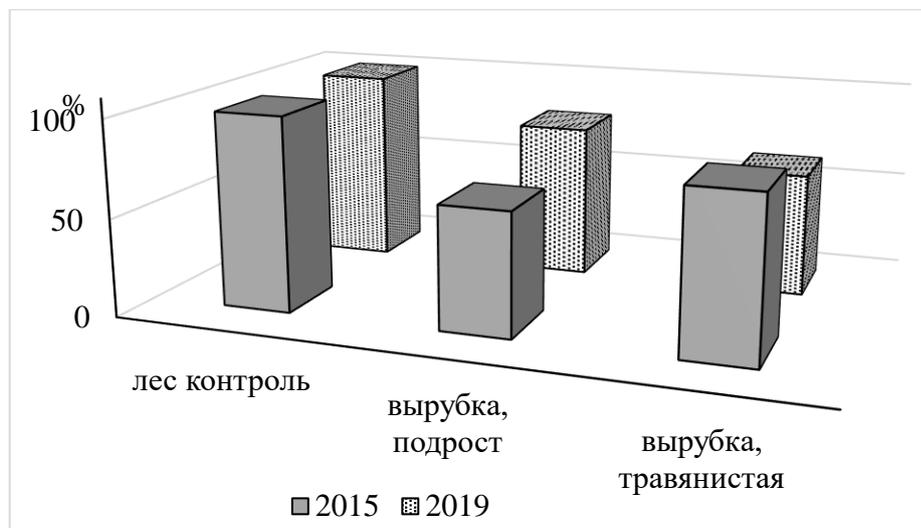


Рис. 22. ИПБС почв вырубки на коричневой почве заповедника «Утриш»

Обобщение многолетних полученных результатов с использованием предложений К. Ш. Казеева об устойчивости почв юга России к антропогенному воздействию (2004) и С. И. Колесникова об изменении экологических функций почв по реакции интегрального показателя биологического состояния почв (2000, 2006) позволило определить сравнительную устойчивость почв разных типов и экосистем к деградации (пожарам и рубке леса).

В условиях Западного Кавказа биологическая активность послелесных экосистем и почв снижается в ряду серые лесостепные > коричневые \geq серые лесные \geq дерново-карбонатные > буроземы.

11 МЕЛИОРАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ПОЧВ ВЫРУБОК И ПОЖАРИЩ

В результате проведенных в течение месяца еженедельных исследований не было установлено какой-либо закономерности в продуцировании почвами углекислого газа. Было выявлено значительное расхождение значений показателя в разных вариантах опыта в разные сроки определения. Возможно, примененный камерный метод не был нормально адаптирован к задачам исследований. Внесение цеолитов привело к повышению величины рН почв с 5,6 на контроле до 6,1 единицы, а при внесении извести – до 6,7. Внесение мелиорантов привело к снижению подвижности гумуса, содержание активного углерода уменьшалось на 12 % в варианте с цеолитами и на 25 % – в варианте с известью. Выращивание сидератов не привело к изменению значений показателей реакции среды и содержания активного углерода. Однако в этом варианте зафиксировано снижение на 24 % активности каталазы и существенное повышения (на 32%) целлюлозолитической активности почвы. Внесение мелиорантов оказало благотворное влияние на активность каталазы. Ее активность при внесении извести увеличилась на 15 % относительно контрольных значений. Цеолиты повысили активность фермента на 21 %. Целлюлозолитическая активность также возросла после внесения мелиорантов. Внесение в почву извести привело к повышению на 22–38 % обилия бактерий рода *Azotobacter*. Интегрированная оценка показала положительное влияние применения цеолитов на биологическую активность бурозема, прибавка составила 18 % относительно контроля (рис. 23). Применение других приемов мелиорации не показало достоверного повышения значений ИПБС.

Таким образом, можно утверждать, что применение мелиорантов способствует повышению некоторых показателей биологической активности

бурозема за счет улучшения среды обитания растений и микроорганизмов. Лучшие результаты показаны для применения в качестве мелиоранта природных цеолитов.

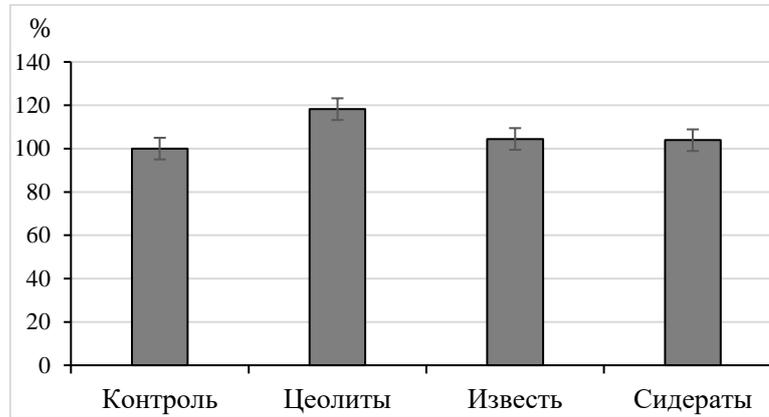


Рис. 23. Изменение ИПБС бурозема в модельном эксперименте

При изучении влияния мелиорантов на кислотность бурозема установлено повышение значений рН солевой суспензии с 3,9 единицы в контроле до 5,9 и 6,3 единицы соответственно в случае использования цеолита и извести. Внесение гумата калия не повлияло на значения кислотности изучаемой почвы. После воздействия огня значения кислотности почвы возросли до 5,3 единицы в сравнении с контролем, не подвергнувшись термическому воздействию. Внесение цеолита и извести в постпирогенные образцы привело к повышению значений до 6,4 и 7,1 единицы по сравнению с постпирогенным буроземом без использования мелиорантов. Внесение мелиорантов в постпирогенную почву не привело к достоверным изменениям содержания органического углерода. Активность каталазы существенно увеличилась при внесении цеолита и извести в 2,2 раза относительно контрольного варианта (рис. 24).

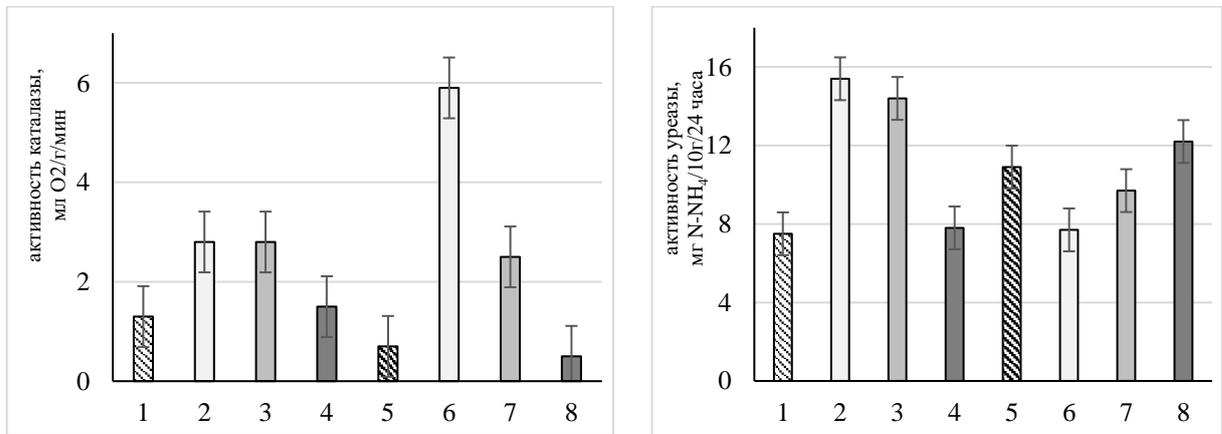


Рис. 24. Влияние мелиорантов на активность каталазы (А) и уреазы (В) бурозема: 1 – контроль, 2 – контроль+цеолит, 3 – контроль+известь, 4 – контроль+гумат, 5 – контроль+огонь, 6 – огонь+цеолит, 7 – огонь+известь, 8 – огонь+гумат

Внесение гумата калия также повлияло на активность данного фермента в сторону увеличения на 9 %. Термическое воздействие уменьшило активность каталазы на 46 %. Внесение цеолита и извести в значительной степени увеличило активность данного фермента в 8,5 и 3,6 раза по сравнению с постпирогенным буроземом без мелиорантов.

Отмечено стимулирование активности пероксидазы на 23 % относительно контроля при внесении извести, в то время как внесение цеолита и гумата калия влияния не оказало. После термического воздействия активность фермента существенно возросла – почти в два раза во всех постпирогенных вариантах. Стимулирование активности пероксидазы после термического воздействия отмечали и ранее в других работах (Вилкова и др., 2021, 2022). Однако внесение цеолита и гумата калия снизило активность фермента в одинаковой степени на 17 % относительно постпирогенного бурозема. Повышение активности пероксидазы на 24 % в постпирогенных вариантах отмечено только при внесении извести.

Активность одного фермента из класса гидролаз, уреазы, также существенно увеличилась после использования мелиорантов. Отмечено увеличение активности фермента при внесении цеолита и извести на 105 % и 91% относительно контрольной почвы без термического воздействия и мелиорантов. При использовании гумата калия активность фермента достоверно не изменилась. После термического воздействия установлено стимулирование активности уреазы на 45 % относительно контроля. В целом во всех постпирогенных вариантах активность уреазы выше в среднем на 35 %. Однако после внесения цеолита и извести установлено снижение активности фермента на 29 % и 11 % относительно постпирогенного бурозема без мелиорантов. Внесение гумата калия повысило активность фермента на 12 % в сравнении с постпирогенным буроземом.

При изучении активности инвертазы было установлено, что внесение гумата калия не оказало влияния на активность фермента. Цеолит и известь снизили активность фермента в одинаковой степени на 72 % относительно контроля. После термического воздействия отмечается повышение активности инвертазы в 4,3 раза в сравнении с контролем. Для постпирогенных вариантов с внесением цеолита достоверных различий не обнаружено.

Повышение температуры обычно приводит к инактивации ферментов. В большинстве случаев оптимальная активность ферментов проявляется при

температуре ниже 50 °С, а при высоких температурах происходит денатурация белковых молекул ферментов. Некоторые внеклеточные, внутриклеточные и «почвенные» ферменты обладают термостабильностью (Хазиев, 2005). Приведенные результаты уточняют полученные ранее результаты и свидетельствуют о положительном влиянии некоторых мелиорантов на ускоренное восстановление биологической активности после термического воздействия.

Таким образом, в ходе проведения исследования установлено значительное изменение биологических свойств бурозема после термического воздействия. Внесение мелиорантов различной природы в некоторых случаях позволило улучшить некоторые свойства бурозема и даже восстановить некоторые из них после термического воздействия. Так, внесение извести понизило кислотность почвы до слабокислой реакции. На содержание органического углерода ни один из мелиорантов в постпирогенных вариантах значительного влияния не оказал. Для вариантов без термического воздействия отмечено наибольшее увеличение $C_{орг}$ при внесении извести. Также внесение извести существенно повысило активность пероксидазы в буроземе. Стимулирующее влияние на активность каталазы оказало внесение цеолита и извести во всех исследуемых вариантах. Стимулирование активности уреазы произошло при внесении цеолита и извести в бурозем без термического воздействия и гумата калия для остальных вариантов. При изучении фитотоксичности исследуемой почвы установили, что внесение извести оказывает наибольшее стимулирующее влияние на рост корней ячменя для бурозема без термического воздействия, в то время как для постпирогенных вариантов наиболее эффективным мелиорантом оказался гумат калия.

Применение биопрепаратов NAGRO, «Байкала ЭМ1» и гумата калия также ускоряет восстановление биологической активности почв, подверженных воздействию дыма (Нижельский и др., 2021). Поэтому после воздействия пирогенных факторов (дыма и огня) целесообразно применение биологических препаратов для активизации биологических процессов и ускорения восстановления почв.

Полевой модельный опыт был проведен для оценки эффективности применения мелиорантов с целью улучшения экологического состояния деградированного бурозема. Такие почвы получили значительное распространение на вырубках, гарях, техногенно нарушенных территориях с проявлением эрозии. Содержание гумуса в поверхностном горизонте (0–10 см) составляет 8,1 %, но

резко снижается уже на глубине 10–20 см до 2,8 % (Путеводитель..., 2008). Реакция среды этих почв кислая – $pH=5,4$, емкость катионного обмена составляет 20,8 мг-экв./100 г, обменная кислотность – 2,5 мг-экв./100 г.

Эмиссия углекислого газа из буроземов через 16 суток после внесения мелиорантов значительно уменьшилась в деградированном варианте бурозема по сравнению с фоновой почвой (рис. 25).

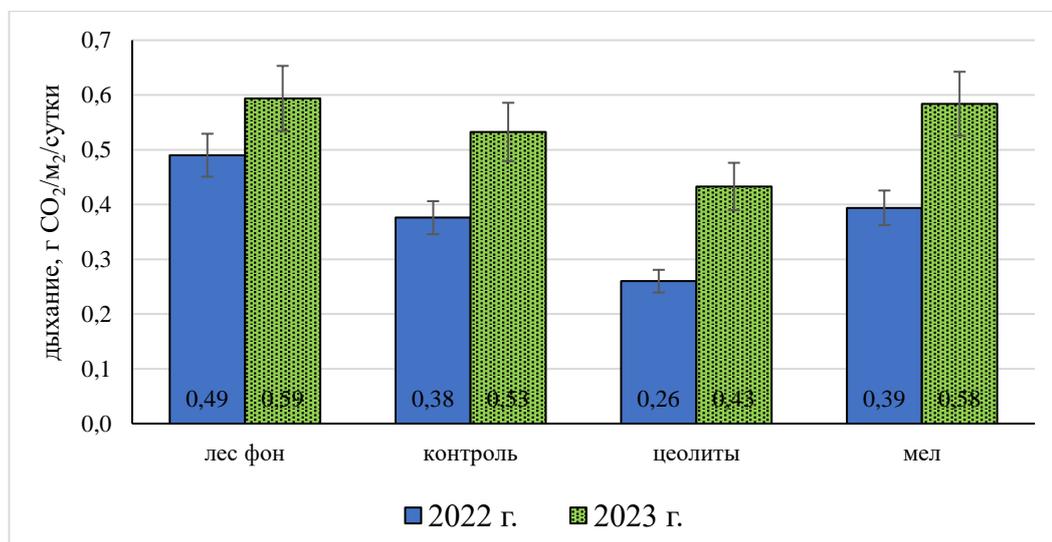


Рис. 25. Влияние мелиорантов на дыхание бурозема

Ликвидация поверхностного десятисантиметрового слоя почвы, богатого корнями растений, их неразложившимися остатками, гумусом и микроорганизмами, привела к подавлению биологической активности почвы на 23 %. В результате скальпирования попавший на поверхность слой почвы обладает значительно меньшей биологической активностью. Низкая влажность почвы предопределила негативное воздействие цеолитов на дыхание почвы в опыте. Уменьшение значений эмиссии углекислого газа составило 31 % по сравнению с контрольными значениями. Негативный эффект внесения цеолитов связан с его гигроскопичностью. Мелиорант еще больше иссушил поверхностный слой почвы, которая и без него была практически высушена вследствие долгого отсутствия дождей в сухой сезон. Снижение влажности почвы приводит к понижению эмиссии углекислого газа (Иванов и др., 2018, 2022; Лопес де Гереню и др., 2018; Осипов и др., 2018). Внесение извести не вызвало такого эффекта и не привело к достоверному отклонению от контрольных значений показателя. Через год после внесения мелиорантов дыхание почв относительно измерений в 2022 г. на фоновом участке было повышено на 16 %, а в

контрольном участке – на 40 %. Это связано с более благоприятными условиями увлажнения почвы.

Влажность почвы была практически на оптимальном уровне для растений и протекания биологических процессов в почве. В варианте с внесением извести дыхание было выше по сравнению с контрольной почвой. Это небольшое повышение интенсивности дыхания сохранилось с прошлого 2022 г. В варианте с внесением цеолитов дыхание в 2023 г. было меньше, но разница с контролем по сравнению с годом внесения была существенно меньше. Добавление извести значительно снизило кислотность почвы. Повышение значения солевого рН составило целую единицу. Кислая почва ($pH_{KCl}=4,0$) при добавлении цеолитов, напротив, стала еще более кислой ($pH_{KCl}=3,5$). Через год после начала опыта реакция почвенной среды в этом варианте практически сравнялась с контрольными значениями.

В результате использования интегрированной оценки биологической активности почв установлено, что внесение мелиорантов на начальном этапе в целом привело к существенному снижению значений ИПБС относительно контрольной почвы (рис. 26).

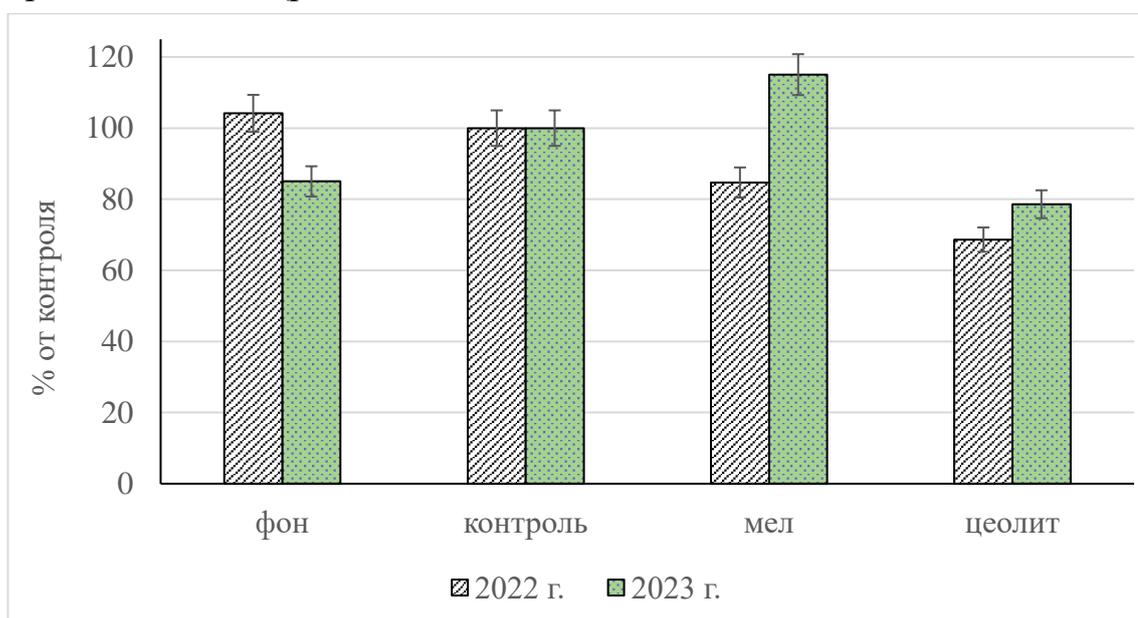


Рис. 26. Влияние мелиорантов на ИПБС бурозема

Оба мелиоранта понижали ИПБС на 15–31 %, что весьма существенно для этого параметра (Казеев и др., 2003; Колесников и др., 2006). Но уже через год эффект применения извести поменялся на противоположный. В 2023 году значение ИПБС в этом варианте было выше контрольных на 15 %. Внесение цеолита всё еще оказывало негативное воздействие на этот показатель, хоть и

с тенденцией к некоторому приближению к значениям ИПБС контрольной почвы.

Проведение корреляционного анализа показало тесную положительную связь активности дегидрогеназ с величиной рН ($R=0,97$), умеренную положительную связь активности дегидрогеназ и каталазы и инвертазы с уреазой (в обоих случаях $R=0,59$), а также прорастание семян ячменя и содержание гумуса ($R=0,47$). Для остальных исследуемых параметров прямолинейных связей не обнаружено.

Через год после внесения мелиорантов биологическая активность бурозема существенно изменилась. Выявлено положительное влияние извести на ИПБС, в то время как внесение цеолита не показало положительного результата, хотя биологическая активность в целом повысилась, но не достигла контрольных значений. Возможно, для проявления положительного эффекта от мелиорантов требуется больше времени. Мелиорация почв внесением цеолитов должна учитывать тип почвы, нормы внесения и природные условия. Внесение в черноземы рисовых чеков вместе с удобрениями оказывает положительный эффект для плодородия почвы, в то время как эффект внесения цеолита в бурозем для активизации биологической активности почвы не приводит к однозначным результатам.

ВЫВОДЫ

1. Уничтожение древостоя в результате ветровалов, рубок и пожаров приводит к сходным значительным изменениям физических, химических и биологических свойств почв Западного Кавказа. Экологическое состояние и биологическая активность деградированных почв определяются многими факторами, включая: степень нарушения почвенно-растительного покрова, условия рельефа, время восстановления, свойства исходных почв, вида индикатора.
2. Направление и скорость трансформации горных почв Западного Кавказа на разных этапах после сведения лесов сильно различаются. В первые годы (от 2 до 10 лет) после нарушения биологическая активность почв восстанавливается быстрее, чем в последующие 40–100 лет. Причинами ускоренного восстановления в первые годы является развитие травянистой растительности на первых стадиях сукцессии на освобожденной от деревьев территории. Это приводит к развитию дернового процесса, активизации

биологических процессов и аккумуляции органических веществ на поверхности (в виде оторфованной мортмассы) и в профиле почв (в виде гумуса). Однако при серьезных нарушениях возврата до исходного состояния может не происходить и спустя несколько десятилетий после исходного нарушения. Основным деградационным фактором, снижающим биологическую активность, является эрозия, развивающаяся на склоновых территориях после сведения леса. Без эрозии восстановление нарушенных рубками буроземов происходит за 40–50 лет.

3. Буроземы старовозрастных вырубок имеют существенные отличия от почв фоновых лесов по химическим и биологическим свойствам, которые обусловлены сукцессионными изменениями растительности. Интегрированная оценка биологической активности выявила существенные различия между почвами фоновых лесов и вырубок при существенном варьировании отдельных биологических показателей. Причиной значительного увеличения ИПБС является активизация биологических процессов в почвах после сведения леса в результате развития травянистой растительности, что приводит к усилению дернового процесса. Различий в значениях ИПБС буроземов на вырубках разного возраста не выявлено.
4. Оценка ИПБС буроземов старовозрастных вырубок (40–110 лет), несмотря на значительные отклонения отдельных параметров, показала более высокую биологическую активность почв на вырубках по сравнению с фоновыми участками леса. Различия в значениях ИПБС почв вырубок возрастом 50 и 110 лет практически отсутствуют.
5. Установлено значительное влияние пожаров на биологические свойства коричневых почв ксерофитных лесов и редколесий Абрауского полуострова. Постпирогенные почвы характеризуются сниженной биологической активностью по сравнению с почвами фоновых территорий. Со временем различия сглаживаются, однако даже после многолетнего периода постпирогенного восстановления (более 11 лет) активность ферментов и содержание органического углерода не достигают контрольных значений.
6. Обобщение полученных результатов позволило определить сравнительную устойчивость почв разных типов и экосистем Западного Кавказа к деградационным факторам (пожарам и рубке леса). Устойчивость почв Западного Кавказа снижается в ряду серые лесостепные > коричневые ≥ серые лесные ≥ дерново-карбонатные > буроземы. Различия связаны с

генетическими особенностями почв, которые, в свою очередь, определяются сочетанием почвообразующих факторов.

7. В качестве чувствительных и информативных показателей эволюции послелесных почв можно использовать плотность сложения почв, структурно-агрегатный состав, сопротивление пенетрации, содержание органического углерода, активность ферментов и численность бактерий. Общим экосистемным последствием рубок и пожаров на территории Западного Кавказа является повышение разнообразия флоры и герпетобионтов в первые годы после слабых и умеренных нарушений.
8. Модельные исследования показали возможность ускоренного восстановления нарушенных послелесных почв путем активизации биологических процессов внесением мелиорантов и биопрепаратов. Внесение мелиорантов (известки и цеолитов) в некоторых случаях позволило улучшить экологическое состояние и биологическую активность нарушенных почв. Эффективность мелиорантов связана с уменьшением высокой кислотности лесных почв (прежде всего буроземов).

Публикации в изданиях, входящих в базы данных международных индексов научного цитирования Scopus и Web of Science

1. Decade-long soil changes after the clear felling in forests of the North-Western Caucasus mountains / **A. Shkhapatsev**, V. Vilkova, V. Soldatov, K. Kazeev, S. Kolesnikov // Sains Tanah Journal of Soil Science and Agroclimatology. – 2023. – Vol. 20, № 1. – P. 1-9. – DOI 10.20961/stjssa.v20i1.63187.
2. Effect of Smoke Caused by Fires on the Enzymatic Activity of Forest Soils in the North Caucasus (Russian Federation) / M. S. Nizhelskiy, K. S. Kazeev, V. V. Vilkova, A. N. Fedorenko, A. K. Shkhapatsev, S. I. Kolesnikov // Soil Systems. – 2023. – V. 7, No 3. – Art. No 77. – DOI 10.3390/soilsystems7030077.
3. Consequences of the catastrophic wildfire in 2020 for the soil cover of the Utrish State Nature Reserve / K. Kazeev, V. Vilkova, **A. Shkhapatsev** [et al.] // Sains Tanah. – 2022. Vol. 19, No. 1. – P. 52-59. – DOI 10.20961/stjssa.v19i1.58709.
4. Changes in the Properties of Calcareous Soils after Clearcutting in the Coniferous-Deciduous Forests of the Northwestern Caucasus / K. Sh. Kazeev, V. P. Soldatov, A. K. **Shkhapatsev** [et al.] // Russian Journal of Forest Science. – 2021. – Vol. 4, No 4. – P. 426-436. – DOI: 10.31857/S0024114821040069.
5. Reaction of the Enzymatic Activity of Soils of Xerophytic Forests on the Black Sea Coast in the Caucasus to the Pyrogenic Impact / V. V. Vilkova, K. S. Kazeev, S. I. Kolesnikov, **A. K. Shkhapatsev** // Arid Ecosystems. – 2022. – Vol. 12, No 1. – P. 93-98. – DOI 10.1134/S2079096122010139.

6. Aggregate Structure of Native and Arable Soils of Different Geneses: Morphological and Rheological Characteristics / Umarova A. B., Butylkina M. A., Suslenkova M. M., Aleksandrova M. S., Ejelev Z. S., Khmeleva M. V., **Shkhatsev A. K.**, Gasina A. I. // Eurasian Soil Science. – 2021. – Vol. 54, No. 9. – P. 1299-1311. – DOI 10.1134/S1064229321090131.
7. Ecological State of Soils of the Republic of Adygea Under High Anthropogenic Load / S.A. Lebedev, E.A. Sirotyuk, **A.K. Shkhatsev** [et al.] // Handbook of Environmental Chemistry. – 2020. – Vol.106. – P. 185-216. – DOI 10.1007/698_2021_741.
8. Post-fire changes in the biological properties of the brown soils in the Utrish state nature reserve (Russia) / K. Sh. Kazeev, T. A. Poltoratskaya, A. S. Yakimova, M.Yu. Odobashyan, **A.K. Shkhatsev** [et al.] // Nature Conservation Research. Заповедная. – 2019. – Vol. 4, No. Suppl.1. – P. 93-104. – Режим доступа: <https://dx.doi.org/10.24189/ncr.2019.055> (дата обращения 16.11.2023).

Статьи, опубликованные в журналах, входящих в Перечень рецензируемых научных изданий ЮФУ и ВАК

9. Биологическая активность буроземов старовозрастных вырубок Западного Кавказа / **А. К. Шхапацев**, К. Ш. Казеев, Ю. С. Козунь [и др.] // Лесной вестник. Forestry Bulletin. – 2023. – Т. 27, № 4. – С. 47-59. – DOI 10.18698/2542-1468-2023-4-47-59.
10. **Шхапацев, А. К.** Сравнительная устойчивость биологических свойств почв разных типов Западного Кавказа к рубкам и пожарам / Шхапацев А. К., Казеев К. Ш. // АгроЭкоИнфо. – 2023. – №4(58). – Режим доступа: https://agroecoinfo.ru/СТАТУИ/2023/4/st_423.pdf (дата обращения 16.11.2023).
11. Особенности растительности самозарастающих вырубок среднегорий Северо-Западного Кавказа / Ермолаева О. Ю., **Шхапацев А. К.**, Солдатов В. П., Казеев К. Ш. // Живые и биокосные системы. – 2023. – № 44. – DOI: 10.18522/2308-9709-2023-44-3. – Режим доступа: <https://jbks.ru/archive/issue-44/article-3> (дата обращения 16.11.2023).
12. **Шхапацев, А. К.** Биологическая активность буроземов в молодых "окнах" полога леса Кавказского биосферного заповедника / **Шхапацев А. К.**, Грабенко Е. А., Казеев К. Ш. // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2022. – № 4–2(216-2). – С. 139-147. – DOI 10.18522/1026-2237-2022-4-2-139-147
13. Влияние мелиорантов на биологическую активность бурозема после термического воздействия в модельных экспериментах / Вилкова В. В., **Шхапацев А. К.**, Казеев К. Ш. [и др.] // Агрехимический вестник. – 2022. – №5. – С. 70-76. – DOI 10.24412/1029-2551-2022-5-014.
14. Влияние пирогенного воздействия на биологическую активность чернозема обыкновенного в модельных экспериментах / В. В. Вилкова, К. Ш. Казеев, **А. К. Шхапацев** [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2021. – № 5(47). – DOI 10.51419/20215520. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/СТАТУИ/2021/5/st_520.pdf (дата обращения 16.11.2023)

15. Использование активности ферментов для диагностики последствий фумигации дымом почв / Нижельский М. С., Казеев К. Ш., **Шхапацев А. К.** [и др.] // Агро-ЭкоИнфо. – 2021. – №4(46). – DOI 10.51419/20214426. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/4/st_426.pdf (дата обращения 16.11.2023).
16. Ферментативная активность и содержание гумуса в послелесных почвах Адыгеи / Солдатов В. П., **Шхапацев А. К.**, Казеев К. Ш. [и др.] // АгроЭкоИнфо. – 2020. – № 3(41). – Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_308.pdf (дата обращения 16.11.2023).
17. Динамика изменения активности ферментов в почвах Адыгеи с разной степенью нарушения после сведения леса / В. П. Солдатов, **А. К. Шхапацев**, Казеев К.Ш. [и др.] // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2020. – №4(208). – С. 105-111. – DOI 10.18522/1026-2237-2020-4-105-111.
18. Фосфорное питание растений риса при включении биоплант флора в систему удобрения / А. Х. Шеуджен, Т. Н. Бондарева, П. Н. Хачмадук, **А. К. Шхапацев** // Плодородие. – 2017. – № 1(94). – С. 5-7.
19. Орлов, П. Радиохимические и агрохимические аспекты снижения последствий радиоактивного загрязнения почв / П. Орлов, Н. Аканова, **А. Шхапацев** // Международный сельскохозяйственный журнал. – 2017. – № 2. – С. 42-46.
20. Шеуджен, А. Х. Влияние цеолитов на агрохимические показатели плодородия лугово-черноземной почвы и урожайность риса / Шеуджен А. Х., **Шхапацев А. К.**, Бочко Т. Ф. // Агрохимия. – 2002. – № 8. – С. 14-20.
21. Глуховский, А. Б. Проблемы получения экологически безопасной продукции / А. Б. Глуховский, **А. К. Шхапацев** // Агрохимический вестник. – 1998. – № 3. – С. 34-36.

Монографии

22. Экологическое состояние горных почв Западного Кавказа после сведения леса: монография / **А. К. Шхапацев**, К. Ш. Казеев, В. П. Солдатов, С. И. Колесников; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Южный федеральный университет". – Ростов-на-Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета, 2023. – 135 с. – DOI 10.18522/801300049.
23. Шеуджен, А. Х. Теория и практика применения кремниевых удобрений на посевах риса / А. Х. Шеуджен, М. Х. Кемечева, **А. К. Шхапацев**. – Майкоп : МГТИ, 2003. – 103 с.
24. Агроэкологическая эффективность применения цеолитов в рисоводстве / М. И. Кудаев **А. К. Шхапацев**, А. Х. Шеуджен, Н. В. Елисеева. – Майкоп : Майкопский государственный технологический университет, 2000. – 86 с.

РИД (база данных)

25. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2022623273 Российская Федерация. Свойства дерново-карбонатных и серых лесостепных почв вырубок среднегорий Адыгеи : № 2022623308 : заявл. 01.12.2022 : опубл. 07.12.2022

/ К. Ш. Казеев, А. К. Шхапацев, В. П. Солдатов, А. А. Дмитриева ; правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет».

26. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622218 Российская Федерация. Годовая динамика температуры лесных почв среднегорий Адыгеи : № 2021622171 : заявл. 19.10.2021 : опубл. 21.10.2021 / К. Ш. Казеев, А. К. Шхапацев, С. И. Колесников, П. А. Дмитриев ; правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет».

27. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2020622648 Российская Федерация. Валовой состав нарушенных почв среднегорий Западного Кавказа : № 2020622590 : заявл. 09.12.2020 : опубл. 16.12.2020 / К. Ш. Казеев, А. К. Шхапацев, С. И. Колесников, П. А. Дмитриев ; правообладатель федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южный федеральный университет».

Статьи в журналах, входящих в Перечень ВАК

28. Агроэкологические аспекты приемов повышения продуктивности озимой пшеницы / Т. В. Кононова, **А. К. Шхапацев**, С. В. Жиленко, Ю. Н. Ашинов // Новые технологии. – 2018. – № 1. – С. 147-156.

29. Чумаченко, Ю. А. Влияние агрофизических и агрохимических свойств слитых и выщелоченных черноземов на урожайность сельскохозяйственных культур / Ю. А. Чумаченко, Н. И. Мамсиров, **А. К. Шхапацев** // Новые технологии. – 2017. – № 4. – С. 134-138.

30. **Шхапацев, А. К.** Влияние микроэлементов, регуляторов роста и сеникация посевов на эффективность азотных удобрений и урожайность риса / А. К. Шхапацев // Новые технологии. – 2006. – № 2. – С. 44-46.

31. **Шхапацев, А. К.** Азотные удобрения и способы увеличения их эффективности в рисоводстве / Шхапацев А.К. // Новые технологии. – 2006. – № 2. – С. 48-52.

Другие публикации:

32. Схашок, Ф. Ю. Содержание гумуса в почвах Адыгеи / Ф. Ю. Схашок, Ю. Н. Ашинов, **А. К. Шхапацев** // Энтузиасты аграрной науки : [сборник научных работ]. Вып. 14: – Краснодар : КубГАУ, 2012. – С. 155-158.