

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
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)

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
**доктора** биологических наук

Научный консультант:  
доктор географических наук, профессор Казеев Камиль Шагидуллович

Ростов-на-Дону – 2023

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
1 ВЛИЯНИЕ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ .....	12
1.1 Экосистемная роль и рациональное использование лесов .....	12
1.2 Изменение лесных экосистем и почв при антропогенном воздействии и изменении климата .....	16
1.3 Лесные экосистемы Западного Кавказа (на примере Кавказского заповедника) .....	22
1.4 Почвы лесов Западного Кавказа.....	25
1.4.1 Серые лесные почвы	26
1.4.2 Буроземы	30
1.4.3 Дерново-карбонатные почвы (карболитоземы рендзины)	36
1.4.4 Коричневые почвы	40
1.5 Мелиорация почв Западного Кавказа .....	43
2 ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	48
3 МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ .....	59
3.1 Методы полевых исследований.....	59
3.2 Методы лабораторных исследований.....	61
3.3 Моделирование восстановления почв мелиорантами.....	63
4 ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ ПРИ НАРУШЕНИЯХ ВЕРХНЕГО ЯРУСА ЛЕСА В КАВКАЗСКОМ ЗАПОВЕДНИКЕ .....	67
5 ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ВЫРУБКАХ СРЕДНЕГОРИЙ АДЫГЕИ .....	76
6 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГОРНЫХ ПОЧВ АДЫГЕИ ПОСЛЕ СВЕДЕНИЯ ЛЕСА.....	89
7 БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ БУРОЗЕМОВ СТАРОВОЗРАСТНЫХ ВЫРУБОК ЗАПАДНОГО КАВКАЗА.....	110
8 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КОРИЧНЕВЫХ ПОСЛЕЛЕСНЫХ ПОЧВ СУХИХ СУБТРОПИКОВ .....	122

9 ПОСТПИРОГЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ ЗАПОВЕДНИКА «УТРИШ».....	136
10 СРАВНИТЕЛЬНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ РАЗНЫХ ТИПОВ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА К РУБКАМ И ПОЖАРАМ.....	142
11 РЕМЕДИАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ПОЧВ ВЫРУБОК .....	159
11.1 Модельные эксперименты с оценкой эффективности мелиорантов и биопрепаратов для оптимизации экологического состояния нарушенных лесных почв Западного Кавказа .....	159
11.1.1 Влияние ремедиантов на биологическую активность буроземов (лабораторный эксперимент)	159
11.1.2 Восстановление биологической активности постпирогенных почв с помощью ремедиантов	161
11.1.3 Влияние дыма от пожаров на биологическую активность лесных почв Западного Кавказа	166
11.2 Результаты полевого модельного опыта по ремедиации деградированного бурозема .....	168
ВЫВОДЫ.....	182
ЛИТЕРАТУРА .....	185
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	232
Приложение 1	233
Приложение 2	239
Приложение 3	243
Приложение 4	249
Приложение 5	267
Приложение 6	276
Приложение 7	281
Приложение 8	283
Приложение 9	284
Приложение 10	285
Приложение 11	287
Приложение 12	289
Приложение 13	290
Приложение 14	291
Приложение 15	292

Приложение 16	293
Приложение 17	294
Приложение 18	295
Приложение 19	296
Приложение 20	297
Приложение 21	298
Приложение 22	300
Приложение 23	302
Приложение 24	303
Приложение 25	304
Приложение 26	305
Приложение 27	306
Приложение 28	309
Приложение 29	314
Приложение 30	323
Приложение 31	330
Приложение 32	331
Приложение 33	335

## ВВЕДЕНИЕ

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 (Краснощеков, Сорокин, 1988; Дымов и др., 2012, 2014; Краснощеков, Чередникова, 2012; Дымов, 2017; Краснощеков, 2018а; Габбасова и др., 2019; Barreiro, Diaz-Ravina, 2021; Dymov et al., 2021; Huang et al., 2022; Lucas-Vorja 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 опушечного 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 рендин). 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 научной конференции «Экология и биология почв» (Ростов-на-Дону, 2018), Всероссийской научной конференции с международным участием «Почвы в биосфере» (Томск, 2018), Всероссийской научно-практической конференции «Энтузиасты аграрной науки» (Краснодар, 2019), научно-практической конференции «Молодежная инициатива» (Ростов-на-Дону, 2017), Межрегиональной научно-практической конференции «Наука XXI века: вызовы и перспективы» (Элиста, 2019), VII Всероссийской

конференции с международным участием «Горные экосистемы и их компоненты» (Махачкала, 2019), X Всероссийской научно-практической конференции «Устойчивое развитие территорий: теория и практика» (Сибай, 2019), II Всероссийской научно-практической 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 с международным участием «Лесные почвы и изменение климата» (Москва, 2021); VIII Всероссийском съезде общества почвоведов им. В.В. Докучаева «Почвы – стратегический ресурс России» (Сыктывкар, 2022), Международной научной конференции «Биологическое разнообразие и биоресурсы степной зоны в условиях изменяющегося климата» (Ростов-на-Дону, 2022), VI Международной научной 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, из них 143 источника на иностранном языке.

**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 (5.5735.2017/8.9; №СП-12-22-9).

**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 Академии биологии и биотехнологии им. Д.И. Ивановского ЮФУ к.б.н. В.П. Солдатову – за помощь в проведении полевых исследований и получении фактического материала. 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

## 1.1 ЭКОСИСТЕМНАЯ РОЛЬ И РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛЕСОВ

По данным ФАО и UNEP (FAO, 2020), а также Доклада о глобальных целях в области лесопользования (United Nations, 2021), на материках Земли общая площадь лесов составляет 31 % (4,06 млрд гектар), по другим оценкам на превышает 4,1 миллиарда гектаров земной поверхности (Hisano et al., 2017). Около половины лесов слабо затронута антропогенным воздействием и всего около трети являются девственными лесами. На поверхности суши леса распределены крайне неравномерно. Всего несколько стран (Российская Федерация, Бразилия, Канада, США, Китай), обладают более 50 % лесов от общей площади (Antwi et al., 2022). Наша страна имеет наибольшие площади лесов в мире. На долю Российской Федерации приходится около 20 % (более 800 млн га) площади лесов всего мира и около 52 % лесов Евразии (Глобальная оценка..., 2020; ФАО, UNEP, 2020). На территории России леса, прежде всего таежные, занимают более половины площади и имеют большое значение в качестве источника древесины, строительных материалов, а также недревесных и пищевых ресурсов. Леса Европейской части Российской Федерации с давних пор подвержены антропогенному воздействию в результате расширения поселений, сельскохозяйственных угодий, получения топлива, строительных материалов и т.д. В результате воздействия человека на леса России, в частности леса Западного Кавказа, экосистемы претерпевают серьезные изменения (Тер-Мисакянц и др., 2013; Казеев и др., 2014).

В лесах сосредоточена большая доля биоразнообразия Земли. Многоярусные леса представляют собой сложно организованную трехмерную среду обитания для огромного числа наземной растений, животных и микроорганизмов, биоразнообразии которых нуждается в сохранении (Одум, 1986; Creamer et al., 2016; Souza-Alonso et al., 2022). Леса обеспечивают важнейшие экологические

функции биосферы, выполняют регулирование состава атмосферы и климата в локальном масштабе и для всей Земли в целом (Brooks, Kyker-Snowman, 2008; Souza-Alonso et al., 2022). Огромную роль леса выполняют в обеспечении природными ресурсами, регулировании гидрологического режима, защите от эрозии, особенно в условиях расчлененного рельефа местности. Для человека также важна роль лесной растительности в обеспечении чистоты атмосферного воздуха и рекреационные возможности лесов (FAO, 2020).

Сохранение природного биоразнообразия и устойчивости лесных экосистем усложняется с каждым годом (Götmark et al., 2015; Mori et al., 2017). Леса повсеместно подвергаются возрастающему антропогенному воздействию. При этом страдает биосфера Земли и нарушаются экологические функции: регулирование круговорота воды и углерода, газового состава атмосферы, ухудшается состояние окружающей среды и обедняются природные ресурсы (Ripple et al., 2022).

В настоящее время можно выделить несколько основных тенденций изменений лесов. Во-первых, с 2010 года природные леса исчезают со скоростью более семи миллионов гектар в год, при этом основная доля потерь (пять миллионов гектар) отмечается для наиболее ценных и разнообразных тропических лесов (Vancutsem et al., 2021). Основными причинами уничтожения лесов является рубка для получения древесины и иных материалов, увеличение площадей под жилищную и транспортную инфраструктуру, расширение площадей сельскохозяйственных угодий, в том числе под пастбища и плантации (Curtis et al., 2018). В некоторых регионах скорость уничтожения лесов значительно выше среднемировой скорости. Например, в тропических районах Бразилии течение первых шести месяцев 2022 года было уничтожено рекордные площади лесов (Antwi et al., 2022). Еще одной причиной деградации лесов является глобальное потепление, с аридизацией климата, которое способствует ослаблению роста и гибели деревьев. Увеличение повторяемости и интенсивности засух, ураганов, пожаров, расширение ареалов вредителей и болезней

при повышении температуры приводят к угнетению лесных экосистем и гибели лесов. В 2000–2010 годах ежегодные потери древесины европейскими лесами составили 56 миллионов кубометров, и еще 33 миллиарда тонн древесины могут быть потеряны в ближайшее время (Forzieri et al., 2021).

Необходимо отметить, что в последние десятилетия площадь искусственных лесонасаждений возрастает на 3–4 миллиона гектар в год. Общая площадь лесонасаждений в мире оценивается в 294 миллиона гектар, что составляет 7 % площади лесов мира (Franca et al., 2022). Однако эти насаждения, как правило, состоят из одной породы, в результате чего они более уязвимы к внешним неблагоприятным воздействиям, вспышкам вредителей и болезней (Jactel et al., 2017). В тропических регионах лесонасаждения состоят в основном из нескольких интродуцированных родов деревьев (особенно эвкалипта). Это приводит к глобальному распространению вредителей и болезней. Увеличение разнообразия видов деревьев может положительно повлиять на запасы углерода в почве в лесах умеренного и субтропического пояса, но идентичность видов деревьев, оказывает более сильное влияние на запасы углерода в почве, чем разнообразие видов деревьев (Mayer et al., 2020). Площадь лесонасаждений увеличивается по всему миру для удовлетворения глобального спроса на древесину, топливо и целлюлозу (Neilmaug, 2014). Преобразование первичных лесов во вторичные леса после рубок обычно снижает запасы углерода в почве, особенно если почва перед лесовозобновлением превращается в сельскохозяйственные угодья (Mayer et al., 2020).

В настоящее время отмечена прогрессирующая деградация практически всех биомов на Земле, которая в основном вызвана антропогенными факторами (Souza-Alonso et al., 2022). Поэтому очень важно проводить мониторинг антропогенных нарушений и разрабатывать рациональное управление лесами (Hisano et al., 2017).

Природопользование в лесной зоне направлено на сохранение устойчивости и благополучие лесов, принося при этом экономические выгоды без экологического ущерба (Boisvenue, Running, 2006; Antwi et al., 2022). Мониторинг, направленный на оценку естественных (ветровалы, лесные пожары, поражения вредителями и болезнями и др.) и антропогенных (сведение леса для получения древесины, строительства, расширения сельскохозяйственных угодий и др.) нарушений, необходим для устойчивого природопользования и сохранения стабильности экосистем и биосферы в целом (Vigl et al., 2021).

Чрезвычайно важны экосистемные функции лесов. Воспроизводство и устойчивый рост лесов направлен на долгосрочное получение древесины и других продуктов лесного происхождения (мясо диких копытных, грибы, семена, орехи, фрукты, косметическое и фармацевтическое сырье и др.) (Zhang et al., 2012; Li et al., 2020; Vacek et al., 2023). Кроме разнообразных продуктов лесов важно и экологическое, рекреационное и просветительское значение лесов (Davis et al., 2001; Hassan et al., 2005; Feng et al., 2016; Hisano et al., 2017; Korner, 2017; Lof et al., 2019), средообразующее значение лесов, влияние на микроклимат, защита от стихийных бедствий (наводнений, лавин, селей, оползней, камнепадов), очистка воды и воздуха и депонирование углерода (Соловьев, Николаев, 2004; Kurz et al., 2009; Felton et al., 2013; Cukor et al., 2017, 2022; Jenkins, Schaap, 2018). В лесонасаждениях плотность посадки деревьев и прореживание мало влияют на запасы углерода в лесной почве (Mayer et al., 2020).

В горах и предгорных территориях роль лесов еще больше возрастает. Основными экосистемными услугами лесов здесь являются: защита от эрозии, обвалов, осыпей, селей, удовлетворение потребностей в древесине, рекреация, сохранение биоразнообразия и депонирование углерода (Blatter et al., 2017). Природопользование в горных условиях является сложной задачей. Необходимо обеспечить не только выполнение основных экосистемных услуг леса,

но и защитные функции от гидрологических и гравитационных опасных явлений. Это очень важно для общества в целом и особенно для сообществ в густонаселенных горных районах (Brang, 2001; Dorren et al., 2004). Обеспечение защиты от опасных стихийных явлений является основной экосистемной функцией лесов в горных районах. Многие горные леса находятся на крутых или даже очень крутых склонах и обладают защитным действием от природных опасностей, таких как камнепады, снежные лавины, оползни и эрозия. Основная регулирующая функция этих лесов заключается в защите людей и имущества от воздействия стихийных бедствий или в снижении такого воздействия (Frehner et al., 2007). Леса представляют собой экологически чистую и экономичную альтернативу техническим защитным мерам (Dorren et al., 2005).

Экосистемное управление лесами направлено на поддержание лесов в состоянии, позволяющем им постоянно обеспечивать эффективную защиту. Это означает, что управление лесами должно поддерживать как целостность экосистемы, так и защитную функцию горных лесов. Целостность определяется как способность поддерживать структуру и функции экосистемы, используя процессы и элементы, характерные для ее региона (Brang, 2001; Dorren et al., 2004). Основными условиями, способствующими естественным эволюционным процессам и экологической устойчивости защитных лесов, являются: разнообразный состав пород, достаточное естественное возобновление и оптимальная структура леса (Brang et al., 2006, Dorren et al., 2004). Устойчивость в защитном лесу подразумевает, что состояние целевого леса может быть гарантировано в долгосрочной перспективе и на правильной территории (Frehner et al., 2007).

## **1.2 ИЗМЕНЕНИЕ ЛЕСНЫХ ЭКОСИСТЕМ И ПОЧВ ПРИ АНТРОПОГЕННОМ ВОЗДЕЙСТВИИ И ИЗМЕНЕНИИ КЛИМАТА**

Изменениям лесных экосистем и их рациональному использованию посвящена обзорная статья З. Вацек с соавторами (Vasek et al., 2023). Лесам в

последнее время уделяется повышенное внимание, в первую очередь в связи с растущими экономическими потребностями, смягчением последствий глобального изменения климата (IPCC 2007, 2014) и растущим вниманием к защите окружающей среды (FAO, 2016). Таким образом, важны исследования лесных экосистем для оценки последствий изменения климата (Boisvenue, Running, 2006; He et al., 2017) и возможного уменьшения как самих изменений, так и их последствий (Bosela et al., 2021).

В настоящее время леса подвергаются более повторяющимся и интенсивным нарушениям, на которые сильно влияет климат. Увеличение пожаров, засух, оползней, наводнений, ураганов, вспышки насекомых-вредителей и различных болезней приводят к деградации лесов (Dale et al., 2001; Bolte et al., 2009; Lorz et al., 2010; Felicijan et al., 2016; Abdullah et al., 2019; Mayer et al., 2020). В европейских лесах более 33 миллиардов тонн древесины могут серьезно пострадать от этих нарушений. Основными причинами являются ветровалы (40 %), пожары (34 %), вредители и болезни (26 %) (Forzieri et al., 2021). Изменение климата может повлиять на восприимчивость лесов к стихийным бедствиям и повлиять на их частоту, интенсивность, продолжительность и сроки (Stanturf et al., 2014). Недостаток осадков и, как следствие, более частые и продолжительные засухи будут представлять повышенный риск для роста, экологической стабильности и жизнеспособности лесных экосистем в условиях глобального изменения климата (Brazdil et al., 2009; Kolstrom et al., 2011).

Изменения климатических условий могут оказывать на лесные экосистемы как отрицательные, так и положительные эффекты. Существуют подходы к прогнозу возможных сценариев эволюции почв с учетом глобального изменения климата и возможного перераспределения количества выпадающих осадков по сезонам (Любимова и др., 2022; Jat et al., 2022; Kozun et al., 2022). Продуктивность лесов и видовое разнообразие обычно увеличиваются с повышением температуры, количества осадков и доступности питательных ве-

ществ (Das, 2004). Температура была определена как ключевой фактор, регулирующий многие наземные биогеохимические процессы, такие как дыхание почвы, разложение подстилки, минерализация и нитрификация азота, денитрификация, выделение различных газов, тонкая динамика корней, продуктивность растений и поглощение питательных веществ (Hassan et al., 2005; Norby et al., 2005; Begovic et al., 2020).

Значительное воздействие сведение лесов оказывает на почвы и почвенный покров (Краснощеков, 1988, 2022; Безкоровайная и др., 2005; 2013, 2019; Дымов, 2017; Сулейманов и др., 2017; Ставрова и др., 2019; Mayer et al., 2020; Cambi et al., 2021; Nichols et al., 2021).

Леса страдают не только от длительных периодов засухи, но и от увеличения повторяемости лесных пожаров. Ожидается, что воздействие более сухой и теплой погоды в будущем усилится в условиях продолжающегося изменения климата, особенно в Средиземноморском регионе (Fernandes, 2013). В обзорной аналитической работе, основанной на многочисленных исследованиях, увеличение будущей пожарной опасности и площадей пожаров оценивается в диапазоне от 2 до 4 % и от 5 до 50 % за десятилетие соответственно (Dupuy et al., 2020).

Пожары возникли на поверхности Земли с тех пор, как на ней произошло появление живых организмов (прежде всего растений), уровень кислорода в атмосфере превысил пороговое значение 16–19 %, возникли засухи и источники возгораний (Scott et al., 2013).

В текущем контексте глобального изменения окружающей среды антропогенное влияние (через изменение растительного покрова и землепользования) и глобальное потепление играют все более важную роль в периодичности и масштабах лесных пожаров. Прогнозируемое повышение температуры вследствие изменения климата повысит риск и масштабы лесных пожаров во многих биомах (Liu, Wimberly, 2016; Jia et al., 2019). Изменения землепользо-

вания, грозная активность и метеорологические условия способствуют увеличению числа пожаров, прогнозируя катастрофический сценарий повышения частоты пожаров в период до 2050 года (Huang et al, 2015). Помимо повторяемости пожаров, практически во всех лесных экосистемах значительно увеличилась продолжительность пожароопасного сезона (Jolly et al., 2015). В России в последние годы не редкостью стали ранневесенние и даже зимние пожары.

Распространению лесных пожаров в регионах с умеренным климатом способствуют повторяющиеся засухи, пожароопасная растительность и растущая антропогенная нагрузка. Характерно высокие температуры и теплопередача, вызванные сжиганием биомассы во время лесных пожаров, влияют на все уровни организации почвы, включая ее структуру, пористость, инфильтрацию, тепловой режим, запас воды, pH, содержание органического вещества и доступность питательных веществ (Neary et al., 1999, 2005, Gonzalez-Perez et al., 2004; Certini, 2005; Saiz et al., 2018; Nichols et al., 2021). Воздействие температуры зависит от глубины почвы и от ее влажности (Ferreira et al., 2008). Температура почвы пирогенном воздействии во многом определяет послепожарную эволюцию лесных экосистем. Практика управления пожарами, такая как предписанное сжигание, снижает запасы углерода в почве, но в меньшей степени, чем лесные пожары, которые более интенсивны (Mayer et al., 2020). Послепожарные воздействия включают значительное изменение растительности, свойств почвы, гибель семян и корней и сильное воздействие на численность и состав почвенной фауны и микроорганизмов (Краснощеков и др., 2012; 2018а,б). Кроме того, скорость эрозии почвы может быть высокой в выгоревших лесных экосистемах, особенно в горных хребтах и районах с выраженными склонами (Краснощеков, 1988; Габбасова и др., 2019). Эти потери являются результатом структурных изменений почвы, снижения инфильтрационной способности, гидрофобности, усиления вредных гидрологических процессов.

Методы биологической диагностики во многих случаях лучше позволяют быстро и недорого установить изменения свойств, плодородия и экологического состояния почв (Яковлев, 2000; Орлов и др., 2004; Денисова, Казеев, 2008; Денисова и др., 2011; Creamer et al., 2016; Макушкин, 2018; Bünemann et al., 2018; Thiele-Bruhn et al., 2020; Козунь и др., 2022; Терехова, 2022). Накоплен значительный материал по использованию разных биологических показателей в оценке экологического состояния почв, в частности для почв юга России (Вальков и др., 1989; Казеев и др., 1998, Новиков, 2001; 2022, 2004, 2020б; Даденко и др., 2013, 2014; Горобцова и др., 2015, 2016, 2021; Азаренко и др., 2020; Гедгафова и др., 2023 и др.). В качестве одного из общих показателей биологической активности используется интенсивность дыхания почв, отвечающее за эмиссию углекислого газа почвами (Звягинцев и др., 1978; Казеев и др., 2004; Norby et al., 2005; Creamer et al., 2016; Ху, Shang, 2016; Мокриков и др., 2019). В последние годы интерес к подобным исследованиям возрос в связи с оценкой карбонового цикла (Каренин и др., 2015, 2017, 2019; 2023; Кудяров, 2018, 2023; Суховеева и др., 2020, 2023; Неведров и др., 2021, 2023; Смагин, Карелин, 2021; Васенев и др., 2022а,б, 2023; Karelin, Sukhoveeva et al., 2023; Суховеева, Каренин, 2022; Гарькуша и др., 2023; Горбов и др., 2023; Осипов, 2023; Припутина и др., 2023; Sukhoveeva et al., 2023). Эти исследования направлены на оценку вклада почвенного дыхания в общую эмиссию парниковых газов на Земле и роль почвы в депонировании органического углерода. Почти половина общего органического углерода в наземных экосистемах депонированы в лесных почвах (Mayer et al., 2020). Изменяя скорость депонирования или минерализации углерода из почвы, лесохозяйственная деятельность может влиять на запасы углерода в почве в лесах.

Почвенные микроорганизмы отзывчивы на изменение природных условий и антропогенное воздействие разной природы (Звягинцев и др., 1978; Степанов и др., 2005; Репях, Казеев, 2007; Глушакова и др., 2021; Чернов, Семенов, 2021; Никитин и др., 2022; Hermans et al., 2023).

Ферментативная активность почв является чувствительным индикатором изменений почв под влиянием естественных и антропогенных факторов (Галстян, 1974, 1978, 1982; Хазиев, 1979, Абрамян, 1990; Sinsabaugh et al., 2008; Kivlin, Treseder, 2014), в том числе агрогенного воздействия (Хазиев, Гулько, 1991; Казеев и др., 1998; 2004; Даденко и др., 2014; Фаизова, 2014; Raiesi, Kabiri et al., 2016; Мокриков и др., 2019; Mokrikov et al., 2019; Собина и др., 2022) и проградационных изменений в залежных почвах (Raiesi, Salek-Gilani, 2018; Азаренко и др., 2020; Казеев и др., 2020б). Для ее применения в качестве диагностирующего показателя изучены закономерности их пространственного распределения и динамики в почвах разных типов (Хазиев и др., 1982; Гончарова и др., 1990; Казеев и др., 2004; Luo et al., 2017; Sinsabaugh et al., 2018). Установлено высокая информативность этих показателей при ионизирующем воздействии (Денисова, 2005), загрязнении антибиотиками (Акименко и др., 2013, 2014), урбанизации (Горбов и др., 2016, 2023). Значительный вклад по использованию показателей биологической активности сделан в оценку экологического состояния почв, загрязненных тяжелыми металлами и нормированию их уровня в почвах (Колесников и др., 2000а,б, 2014, 2019а,б, 2021; Минкина и др., 2010, 2011; Вардуни и др., 2019).

Сведение лесов оказывает огромное влияние на экосистемы (Краснощевков, 1988; Marchi et al., 2014; Abella, Springer, 2015; Lin et al., 2017; Габбасова и др., 2019; Гынинова и др., 2019; Lucas-Vorja et al., 2022). В частности на эмиссию углекислого газа из почв тропических (Malhi, Grace, 2000; Bai et al., 2020) и бореальных (Weber, 1990; Pietikäinen, Fritze, 1995; Медведева и др., 2020; Иванов и др., 2022, 2023; Осипов, 2023) лесов.

Методы биологической диагностики широко используют при оценке постпирогенных почв (Vega et al., 2013б; Богородская и др., 2019; Казеев и др., 2020а; Lombao et al., 2021). Лесные пожары оказывают прямое влияние на почвенную биоту непосредственно в результате воздействия высоких температур, горения или выделяющихся газов (Нижельский и др., 2022), а также косвенное

– в результате послепожарных восстановительных сукцессий (Cochrane et al., 1999, Neary et al., 2005). Хотя пожары могут практически стерилизовать почву температурным воздействием, микробная активность верхнего слоя почвы обычно увеличивается из-за быстрого высвобождения питательных веществ из органического вещества почв (Fuentes-Ramirez et al., 2018). Однако последствия пожаров для ключевых элементов экосистемы, например, микоризы, способствуют изменениям роста и развития растений в результате сукцессий (Allen et al., 2005). Значительное и долговременное влияние пожары оказывают на почвенную мезофауну (Безкоровайная и др., 2005; Мордкович и др., 2007; Богородская и др., 2010; Гонгальский, 2011; Гонгальский, Зайцев, 2016). После пожара установлено значительное сокращения потока углерода, проходящего через почвенную пищевую сеть (Зайцев и др., 2017). Чувствительными индикаторами рубок и пирогенного воздействия, в частности являются почвенные микроорганизмы (Pietikäinen, Fritze, 1995; Максимова и др., 2017; Старцев и др., 2017; Fuentes-Ramirez et al., 2018; Whitman et al., 2019; Медведева и др., 2020; Цховребов и др., 2020; Huang et al., 2023), а также соединения органического углерода (Liu et al., 2014; Маслов и др., 2018; Гынинова и др., 2019; Дымов и др., 2021) и метаболиты биоты, в частности ферменты (Adamczyk et al., 2015; Габбасова и др., 2019; Ananbeh et al., 2019; Kazeev et al., 2019).

### **1.3 ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА (НА ПРИМЕРЕ КАВКАЗСКОГО ЗАПОВЕДНИКА)**

Исследуемая территория находится на Северо-Западном Кавказе. Объектами исследований являются наиболее распространенные экосистемы низкогорий и среднегорий Западной части Кавказа. Эталоном природных экосистем исследуемой территории считается Кавказский государственный природный биосферный заповедник. Он является крупнейшей горной территорией с со-

хранившимися природными экосистемами, с высоким биологическим разнообразием и обилием реликтовых и эндемичных флоры и фауны (Lebedev et al., 2020; <https://www.kavkazzapoved.ru/flora-i-mikobiota>).

Особенности горного рельефа, высотная дифференциация климата и длительная геологическая история территории Западного Кавказа обусловили высокое ландшафтное и биологическое разнообразие (Зернов, 2006).

Территория заповедника расположена на границе умеренного и субтропического климатических поясов и относится к влажной западной подобласти высокогорной климатической области Кавказа (Алисов, 1956). Характерны большие температурные различия северной и южной частей заповедника, особенно зимой: средние январские температуры  $-5^{\circ}$  отмечаются в Предкавказье, а в Западном Закавказье  $+5^{\circ}$  и более (Гвоздецкий, 1954, 1963).

Среднемноголетняя сумма осадков, выпадающих в лесном поясе южного макросклона Западного Кавказа, равняется 2092 мм, а в субальпийском поясе северного – 1341 мм (Животов, 2008). Теплый влажный климат нижнегогорья южного макросклона характеризуется положительными средними температурами января ( $+4,2^{\circ}\text{C}$ ) и высокими температурами июля ( $+21^{\circ}\text{C}$ ) (Lebedev et al., 2020). В среднегорье средние температуры января  $-4^{\circ}\text{C}$ ,  $-6^{\circ}\text{C}$ , а июля  $16-22^{\circ}\text{C}$ . На уровне около 2000 метров над уровнем моря средняя температура января колеблется от  $-6^{\circ}\text{C}$  до  $-8^{\circ}\text{C}$ , а средняя температура июля составляет около  $14^{\circ}\text{C}$  (Акатов и др., 1990).

На территории Кавказского заповедника зарегистрировано около 1700 видов сосудистых растений (<https://www.kavkazzapoved.ru/flora-i-mikobiota>). Лесная флора насчитывает более 900 видов сосудистых растений, при этом почти 640 видов произрастают исключительно в лесном поясе. Растительный покров заповедника характеризуется преобладанием лесного и лугового типов, с ярко выраженными чертами мезофильности (<https://www.kavkazzapoved.ru/flora-i-mikobiota>).

Леса покрывают 62 % территории заповедника. Лесной пояс южного (причерноморского) склона представлен полосами широколиственных, смешанных и пихтовых лесов с широким участием т.н. «колхидского подлеска» (Акатова, 2004). Лесной пояс северного макросклона представлен мезофитными широколиственными (буковыми, дубово-грабовыми) и темнохвойными (преимущественно буково-пихтовыми) лесами (Акатов и др., 1990, 2018). До высоты 700 м над уровнем моря произрастают широколиственные леса. В буковых лесах встречаются массивы со значительной примесью широколиственных пород. В пределах 600–1900 м среди лесов преобладают пихтарники и буко-пихтарники, составляющие 44 % всей лесной площади заповедника. Пихта кавказская является мощным доминантом среднегорных и высокогорных лесов Северо-Западного Кавказа (Грабенко, Татаренко, 2010). Отдельные пихты-гиганты в высоту превышают 60 метров при диаметре около 2 метров. В бассейнах Малой и Большой Лабы среди пихтарников встречаются елово-пихтовые и чистые еловые леса. В верхней части лесного пояса (1600–2000 метров над уровнем моря) при высокой влажности на полноразвитых плодородных почвах, особенно дерново-карбонатных, произрастает субальпийское высокотравье из гигантских трав с преобладанием зонтичных и сложноцветных, реже злаки (борщевики, колокольчик молочнокветковый, крестовники, телекия красивая, рожь Куприянова и др.) (Акатов и др., 1990).

Фитомасса (около 70 кг углерода на 1 гектар) и продуктивность ( $0,34 \times 10^3$  кг углерода /га/год) кавказских лесов более чем наполовину превосходит значения аналогичных показателей в лесах нашей страны в целом (Бакаева, Замолодичков, 2009; Уткин, Рысин, 2010). Запас углерода лесов Кавказа пополняется с большей скоростью, чем происходят потери, вызванные антропогенным вмешательством (вырубка, пожар). Такие показатели связаны с обширными зонами, содержащими молодые средневозрастные насаждения (Бакаева, Замолодичков, 2009).

## 1.4 ПОЧВЫ ЛЕСОВ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА

В лесах Северного Кавказа основными почвами являются – буроземы, серые лесные, как зональные типы почвообразования и рендзины (дерново-карбонатные почвы), как интразональный тип (табл. 1). Описание этих почв в представленной книге базируется на почвенно-географических работах (Вальков и др., 1996, 2002, 2008б; Казеев и др., 2004, 2010; Казеев, Колесников, 2015в).

Влажный климат лесов создает в почвах промывной водный режим. Растворимые в воде вещества должны были бы вымываться из профиля почвы. Однако выноса питательных веществ из почвы в грунтовые воды практически не происходит. Лесные фитоценозы сформировались как элювиально-устойчивый тип растительности. Сущность приспособления состоит в накоплении и удержании лесом необходимых ему запасов элементов-органогенов не в почве, из которой легко идет вымывание, а в более надежном хранилище — в биомассе.

Таблица 1

Распространение почв на Северном Кавказе (Вальков и др., 2002)

№	Почвы	Площадь, тыс. га
1.	Дерново-карбонатные	780,8
2.	Буроземы	1748,5
3.	Серые лесные	227,1
4.	Буровато-серые лесные (переходные к бурым)	443,4
5.	Коричневые	640,6
6.	Лугово-коричневые	53,0

Биологический круговорот элементов в лесах приближается к непосредственному обмену элементов между организмами и их отмирающими остатками. В лесных сообществах миграция элементов происходит не с нисходящими фильтрующимися водами, а с восходящими к кронам деревьев растворами различных веществ и их закреплением в биомассе деревьев. Биологический круговорот элементов в лесном сообществе характеризуется следующим:

опад, формирующий лесную подстилку, – главный источник снабжения растений элементами питания, биологическая масса (древесина, хвоя, листья, ветки) – основная кладовая хранения элементов-биофилов. Сосредоточение элементов минерального питания в биогенном веществе – важнейшая особенность лесных биогеоценозов (Вальков и др., 2008б). Из-за постоянного промывания элементы просто не могли бы остаться в почве. Однако в целом биогеоценозы леса содержат большой объем элементов питания и не выпускают его из своего биологического круговорота. Важнейшая экологическая функция почв в лесных биогеоценозах – обеспечение оптимальных условий для беспрепятственного развития корневых систем деревьев с их высокой поглощающей способностью. Плодородие в применении к естественным условиям теряет агрономическое содержание, так как способность удовлетворять потребности растений присуща не только почве, но самому биологическому сообществу, и не всегда по объему естественной биомассы можно судить об агрономическом уровне плодородия (Вальков и др., 2007а, 2008а). В то же время лесные почвы, как среда обитания корневых систем деревьев, могут оцениваться с экологических позиций как почвы высокого уровня плодородия, несмотря на их агрономическую неприглядность. Это подтверждение парадокса плодородия: нет вообще плодородных почв, а есть почвы конкретно плодородные для тех или иных биоценозов (Вальков и др., 2007).

#### **1.4.1 Серые лесные почвы**

Серые лесные почвы Кавказа относятся к южно-европейской фации (Вальков и др., 1996). Главное экологическое отличие их от серых лесных почв других регионов состоит в том, что они не промерзают в течение всего года. Серые лесные почвы распространены в области предгорий и гор на высоте 350–750 метров над уровнем моря (Вальков и др., 2002). Сформировались они в условиях расчлененного рельефа на склонах разной крутизны и экспозиции под дубовыми лесами с примесью граба, клена, вяза, ясеня, бука, дикоплодо-

вых. В подлеске часто встречаются боярышник, лещина, кизил, азалия, ежевика. Травянистый покров представлен разнотравно-луговой растительностью. Главными чертами диагностики являются: бескарбонатность, глубокая промытость профиля, слабокислая реакция среды, отсутствие четкой элювиально-иллювиальной дифференциации профиля, невыраженность карбонатного горизонта  $C_{Ca}$ , серые тона в окраске профиля, даже в текстурно-иллювиальном горизонте В, интенсивное развитие травянистой растительности под пологом леса (Казеев и др., 2010).

Мощность гумусовых горизонтов серых лесных почв Северного Кавказа составляет 40–60 см, мощность почвы в целом 80–100 см (рис. 1, 2, табл. 2).

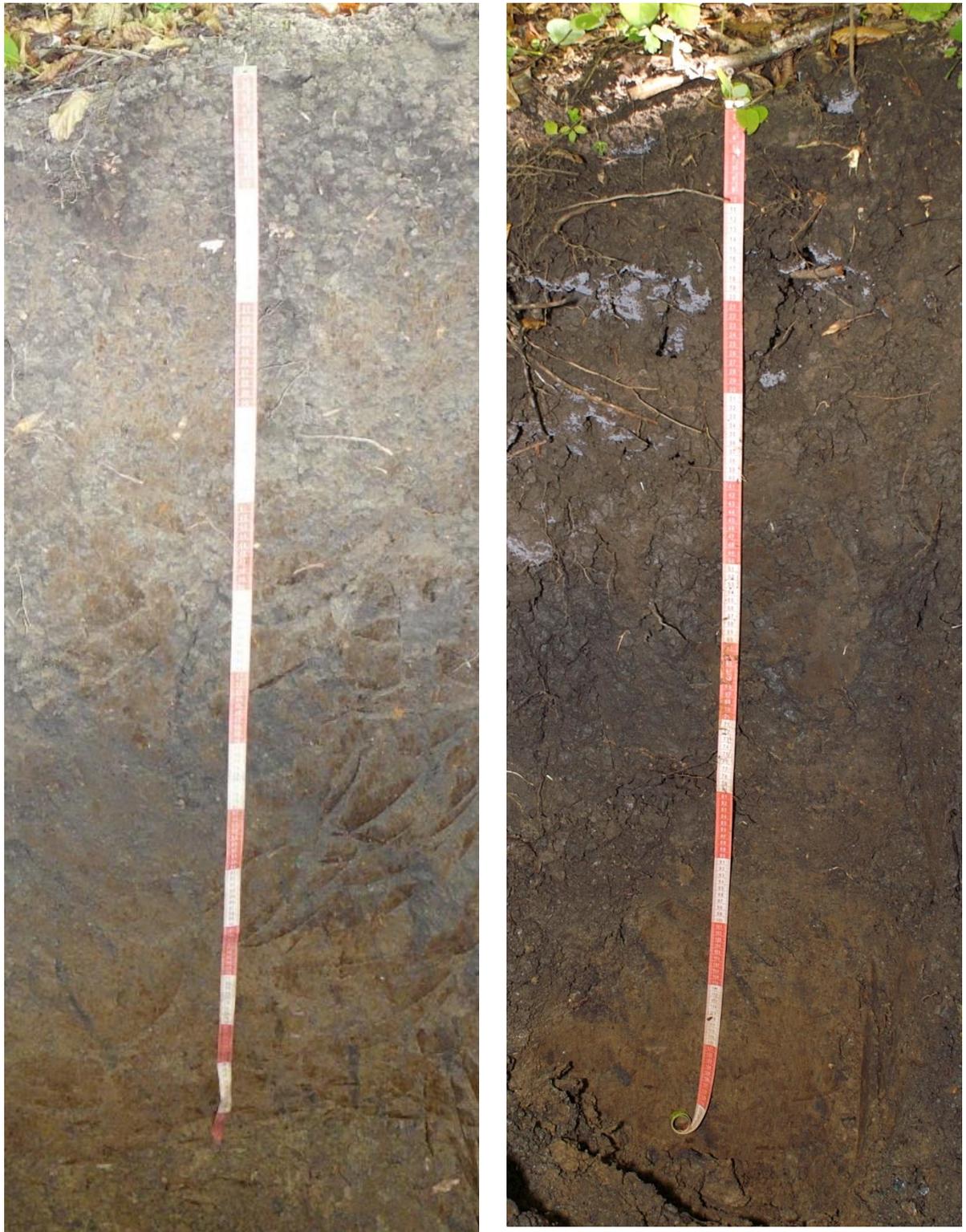


Рис. 1. Серая лесная почва окрестностей станицы Даховской, Адыгея, 2007–2008 гг. (фото К.Ш. Казеева)

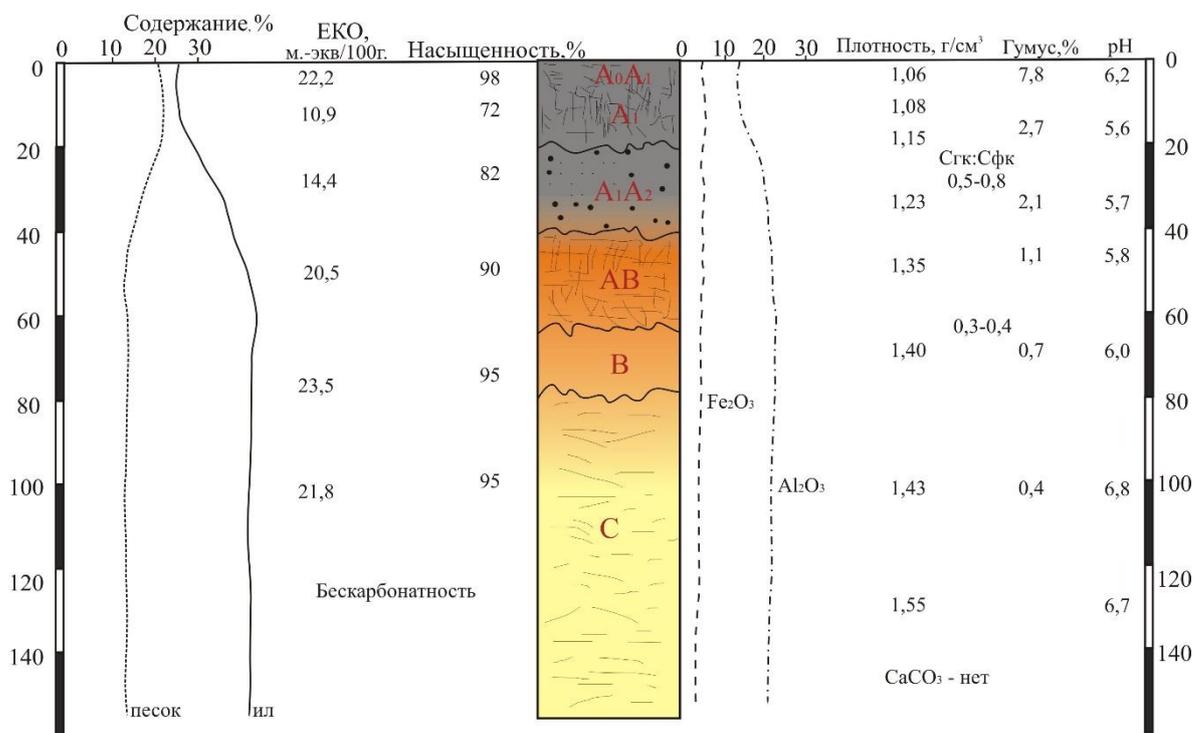


Рис. 2. Характеристика профиля серой лесной почвы (Казеев и др., 2010)

Таблица 2

Физико-химические свойства серых лесных почв окрестностей станции Даховской, Адыгея (Путеводитель..., 2008)

Горизонт	Глубина, см	ЕКО мг-экв./100 г	Са мг-экв./100 г	Mg мг-экв./100 г	Обменная кислотность мг-экв./100 г	Al мг-экв./100 г	H мг-экв./100 г
A	0-10	21,8	14,3	6,7	0,1	-	0,1
AB	10-33	14,3	8,7	4,7	0,1	-	0,1
B	33-53	15,6	9,3	5,0	0,1	-	0,1
B <sub>g</sub>	53-70	19,7	11,9	6,9	0,1	-	0,1
B <sub>g</sub>	70-90	20,1	12,3	6,9	0,3	-	0,3
BC <sub>g</sub>	90-100	20,7	13,6	6,1	0,1	-	0,1
C	110-140	20,9	16,2	5,7	0,1	-	0,1

Для этих почв характерны высокая биологическая активность, обилие почвенной фауны и микрофлоры в лесной подстилке и дерново-гумусовом горизонте (табл. 3). Экологически почвы благоприятны для дикорастущих плодовых деревьев (Вальков и др., 2008б).

Таблица 3

Эколого-биологические свойства серых лесных почв окрестностей станции Даховской, Адыгея (Путеводитель..., 2008)

Горизонт	Глубина, см	pH	Гумус, %	Каталаза, мл O <sub>2</sub> /г/мин	Инвертаза, мг глюкозы/г	Дегидрогеназа, мг ТФФ/10 г
A	0-10	7,1	9,36	7,3	43,8	30,3
AB	10-33	6,3	3,7	3,0	16,7	11,5
B	33-53	5,9	2,93	4,4	9,5	9,9
Bg	53-70	6,4	1,72	3,0	10,6	11,1
Bg	70-90	6,5	1,93	7,9	10,3	10,8
BCg	90-100	6,7	1,75	8,1	9,1	9,5
C	110-140	7,2	1,02	9,0	8,5	6,1

Это почвы «теплые», они хороши для многих плодовых культур, винограда, табака, кукурузы, а в естественных лесах широко распространены дикие яблоня, груша, алыча (Вальков и др., 2008а). Естественное плодородие серых лесных почв значительно меньше, чем в черноземах Предкавказья, баллы бонитета для основных полевых культур в этом регионе (озимой пшеницы, ячменя, кукурузы, подсолнечника) всего 40–50 баллов, из-за относительно короткого гумусового профиля и незначительных запасов гумуса (Вальков и др., 2002). В почвах недостаточно важнейших элементов питания растений – подвижных соединений азота, фосфора и калия.

#### 1.4.2 Буроземы

Северный Кавказ – обширные пространства распространения бурых лесных почв в их многообразном подтиповом представлении: слабонасыщенные, кислые, оподзоленные, лессовидные, глеевые и др. (Вальков и др., 2002). Эти почвы выделены Э. Раманном в 1905 г. как новый тип, характерный для

умеренно-теплых и умеренно-влажных лесов Европы (Фридланд, 1986). Близкие аналоги находятся в Карпатах и горах Крыма. Буроземы горных территорий Кавказа и Крыма подробно описаны в ряде работ (Зонн, 1950; Вальков, 1977; Вальков и др., 1996; 2008б; Локтионова, 2022; Костенко, 2014). По климатическим условиям бурые лесные почвы относятся к теплой северо-кавказской и влажно-теплой закавказской фациям с суммой температур более 10 °С в пределах 2500-3200 ° с количеством осадков, обеспечивающим глубокое промачивание профиля почвы и почвообразующей породы при промывном водном режиме (650–1200 мм). Основные типы лесов буково-грабовые, елово-пихтовые и в более теплых условиях каштаново-буковые.

Основными характеристиками буроземов являются: глубокая промытость профиля от легкорастворимых солей и карбонатов, кислая реакция среды, лесной тип гумусового профиля с фульватным составом гумуса, железисто-бурый тон в окраске при формировании на глинисто-суглинистых породах и темнота на элювио-делювии сланцев и базальтов (Вальков и др., 2008б). Морфологическое описание бурозема приведено ниже (Путеводитель..., 2008).

#### Бурая лесная ненасыщенная почва

пос. Никель, Краснодарский край, Майкопский район

Координаты 44°10.620' с.ш. 40°09.518' в.д. Высота н.у.м. 546 м.

Разрез заложен на склоне горы в 400 метрах вверх по склону от базы «Горная деревня» в буковом лесу.

Профиль почвы свидетельствует о наличии процессов оглеения по всему разрезу. С 50 до 70 см пятна закиси железа встречаются редко и размыты. С глубины 80 см встречаются железисто-марганцевые конкреции диаметром более 1 см, а закись железа представлена затеками. С 70 см к железисто-марганцевым конкрециям добавляются примазки закиси железа (сизые). С глубины 80 см почва сильно уплотнена.

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание
A	0-10	Влажный, серо-бурый, комковатый, глинистый, плотноват, корни деревьев, переход заметный по цвету и плотности.
A	10-20	Влажный, серовато-бурый, комковатый, глинистый, плотноват, корни деревьев, переход постепенный
AB	20-50	Влажный, неоднородны с преобладанием бурых тонов, ореховато-призматический, глинистый, плотный, корни деревьев, переход постепенный.
B <sub>g</sub>	50-70	Сырой, бурый с пятнами оглеения, ореховато-призматический, глинистый, железисто-марганцевые дробовины, переход заметный по плотности.
BC <sub>g</sub>	70-90	Сырой, желто-бурый неоднородный по цвету с пятнами оглеения, ореховато-призматический, глинистый, очень плотный, черные железисто-марганцевые дробовины, сизые примазки закиси железа, переход заметный по плотности.
C <sub>g</sub>	100-120	Почвообразующая порода - желто-бурая мокрая глина, верховодка.

Мощный слой лесного опада формирует подстилку (A<sub>0</sub>), разлагающуюся практически полностью к лету следующего года, далее следует грубогумусовый маломощный горизонт (A<sub>0</sub>A<sub>1</sub>) – не более 5 см. Для бурых лесных почв характерно обилие почвенной фауны и высокая биологическая активность в лесной подстилке и прилегающем гумусовом горизонте A<sub>1</sub>. Общая мощность гумусового слоя 30–40 см, профиля почвы в целом 60–70 см (рис. 3, 4).

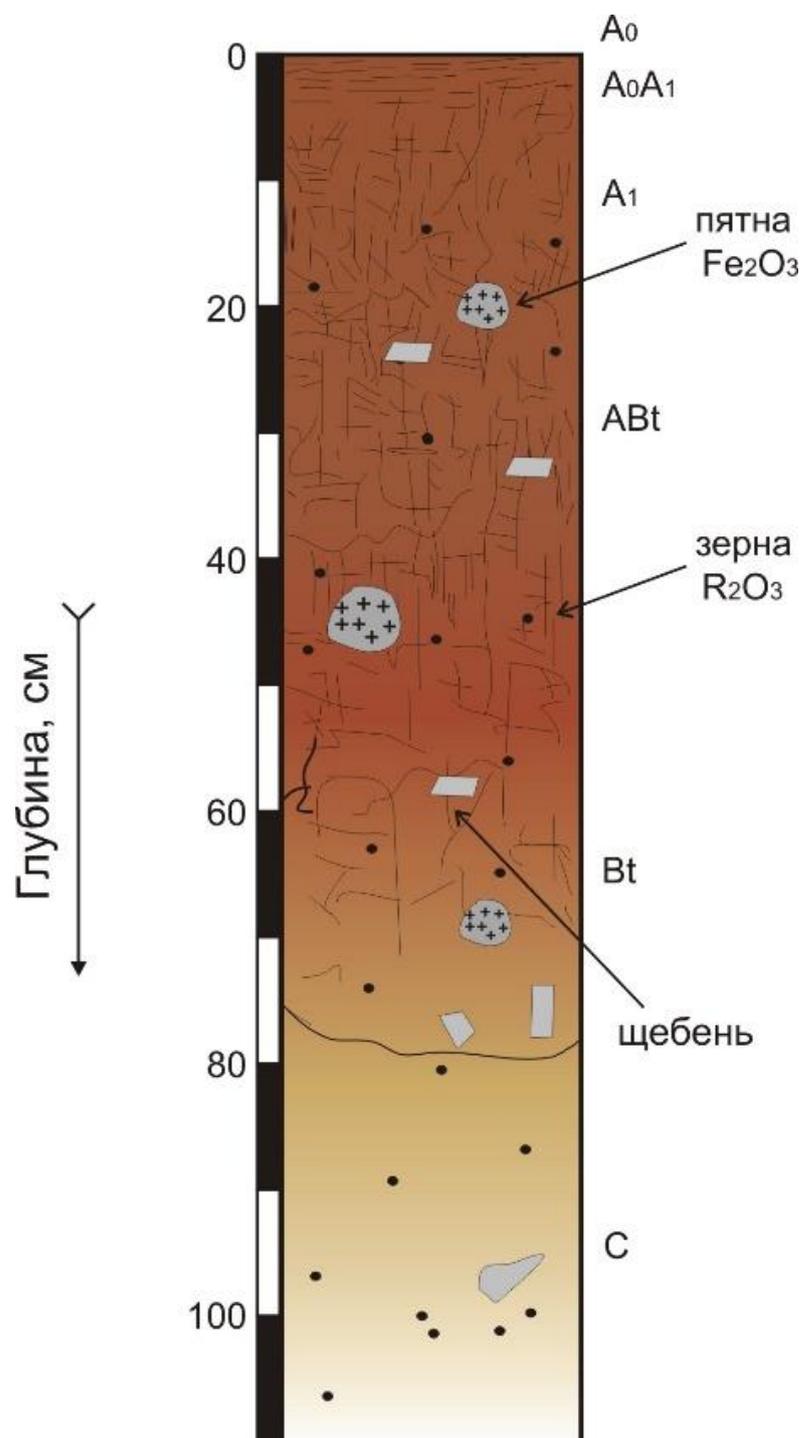


Рис. 3. Строение бурозема (Казеев и др., 2010)



Рис. 4. Профиль бурозема в окрестностях пос. Никель, Адыгея, 2008 (фото К.Ш. Казеева)

Выщелачивание легкорастворимых солей и карбонатов при промывном водном режиме приводит к их удалению из почвенного профиля и подкислению почвенной среды (Казеев и др., 2010). Уровень рН всех подтипов буроземов ниже 6,5, а чаще ниже 5 (табл. 4, 5). Оглинивание почвенного профиля с высвобождением оксидов железа приводит к окрашиванию почвы в насыщенные бурые цвета. Тектурные преобразования минеральной массы в результате оглинивания формируют горизонт  $B_t$ . В этом горизонте и в почвообразующей породе буроземов Кавказа возможно высокое содержание Pb, As, Cu, Co, Zn, V и макроэлементов (Нестерук и др., 2022). Сложение верхних горизонтов  $A_1+A_1B_t$  рыхлое с плотностью  $1,10+1,30$  г/см<sup>3</sup>. Плотность возрастает к материнской породе до  $1,60$  г/см<sup>3</sup>, делая ее практически водопроницаемой (Вальков и др., 2008б). Высокая фильтрационная способность почвенных горизонтов способствует хорошей водопроницаемости. Для буроземов характерен лесной тип гумусового профиля с резкой дифференциацией горизонтов по содержанию гумуса. Общие запасы гумуса составляют 100–150 т/га. При сельскохозяйственном использовании происходит резкая дегумификация (Казеев и др., 1998).

Таблица 4

Физико-химические свойства бурозема окрестностей пос. Никель, Адыгея  
(Путеводитель..., 2008)

Горизонт	Глубина, см	ЕКО мг-экв./100 г	Са мг-экв./100 г	Mg мг-экв./100 г	Обменная кислотность мг-экв./100 г	Al мг-экв./100 г	H мг-экв./100 г
A	0-10	20,8	13,1	4,1	2,5	2,3	0,2
AB	10-20	18,0	11,8	3,5	1,9	1,7	0,2
B <sub>g</sub>	20-50	13,6	7,5	3,2	1,7	1,5	0,17
BC <sub>g</sub>	50-70	10,4	5,5	3,3	0,8	0,6	0,15

Эколого-биологические свойства бурозема окрестностей пос. Никель, Адыгея (Путеводитель..., 2008)

Горизонт	Глубина, см	pH	Гумус, %	Каталаза, мл O <sub>2</sub> /г/мин	Инвертаза, мг глюкозы/г	Дегидрогеназа, мг ТФФ/10 г
A	0-10	5,4	8,1	2,5	31,9	8,3
AB	10-20	5,5	2,8	0,9	8,8	11,3
B <sub>g</sub>	20-50	5,7	1,3	0,9	4,9	10,6
BC <sub>g</sub>	50-70	6,0	0,6	3,9	4,7	18,8

### 1.4.3 Дерново-карбонатные почвы (карболитоземы рендзины)

Дерново-карбонатные почвы широко распространены в России и мире (Вальков и др., 2007б; Конюшков и др., 2019). На юге России формирование рендзин приурочено к горным и предгорным территориям под лесами с травянистым покровом на элювии известняков и мергелей. Географически это интразональный тип почвообразования, т.е. особая форма его проявления в пределах конкретной зоны (Вальков и др., 2007б).

Основные признаки диагностики: формирование на элювии известняков и мергелей при близком их залегании к поверхности, фульватно-гуматный темноокрашенный гумус с мощным профилем (рис. 5–7), высокая карбонатность нижних горизонтов, нейтральная и слабощелочная реакция среды с повышенной емкостью обмена (табл. 6) (Казеев и др., 2010). Для этих почв характерно присутствие, особенно в нижних горизонтах, значительных количеств CaCO<sub>3</sub>. В переходном горизонте и почвообразующем элювии известняков и мергелей количество CaCO<sub>3</sub> может изменяться в пределах 25–70 %. Однако в условиях промывного водного режима на Западном Кавказе, особенно в условиях среднегорий и высокогорий, широко распространены выщелоченные дерново-карбонатные почвы, которые могут переходить в остаточно-карбонатные буроземы (Вальков и др., 2007б).

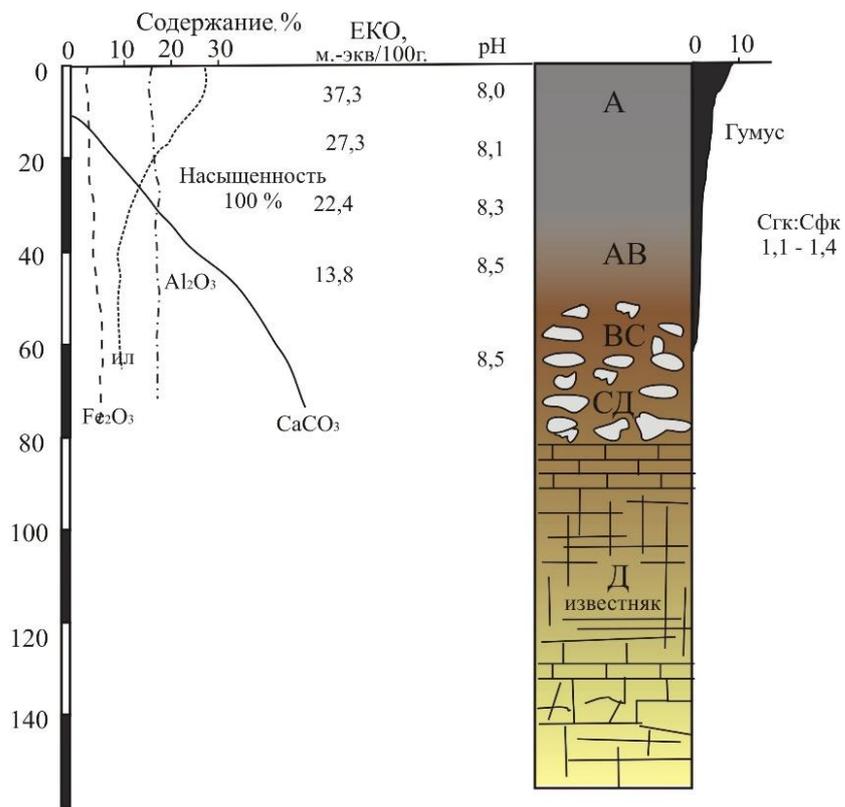


Рис. 5. Характеристика профиля рендзины (Казеев и др., 2010)



Рис. 6. Дерново-карбонатная выщелоченная маломощная на элювии известняка, Утриш, Краснодарский край (фото К.Ш. Казеева)



Рис. 7. Дерново-карбонатная выщелоченная мощная на элювии известняка, хребет Каменное море, Адыгея, 2020 г. (фото К.Ш. Казеева,)

Рендзины практически не имеют ограничивающих биологическую активность факторов (Вальков и др., 2007). Почвы богаты органическим веществом, оптимальны в физическом отношении, хорошо влагообеспечены (табл. 7). Они формируют хорошую среду для развития древесных и травянистых форм биоценозов.

По уровню плодородия рендзины могут быть приравнены к черноземам соответствующей мощности и соответствующего набора сельскохозяйственных растений (Вальков и др., 2008а). Ограничивающим фактором может быть мощность корнеобитаемой толщи, определяемая глубиной залегания каменистых пород, скелетность профиля при большом количестве в почвенной массе  $\text{CaCO}_3$ . Несомненной экологической преференцией является их высокое качество для виноградных растений и табака.

Таблица 6

Физико-химические свойства рендзины выщелоченной (Апшеронский лесхоз. Адыгея) (Путеводитель..., 2008)

Горизонт	Глубина, см	ЕКО мг-экв./100 г	Са мг-экв./100 г	Mg мг-экв./100 г	Обменная кислотность мг-экв./100 г	Al мг-экв./100 г	H мг-экв./100 г
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-5	33,3	24,0	7,4	0,05	-	
A	5-10	35,9	28,1	8,3	0,07	0,02	0,05
A	10-20	36,3	27,9	7,1	0,05	-	0,05
AB	20-30	32,1	25,2	7,6	0,01	-	0,01
B	30-40	31,2	24,8	6,9	-	-	-

Таблица 7

Эколого-биологические свойства рендзины выщелоченной (Апшеронский лесхоз. Адыгея) (Путеводитель..., 2008)

Горизонт	Глубина, см	pH	Гумус, %	Каталаза, мл O <sub>2</sub> /г/мин	Инвертаза, мг глюкозы/г	Дегидрогеназа, мг ТФФ/10 г
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-5	7,1	22,7	14,1	34,4	25,1
A	5-10	7,6	14,1	14,1	25,5	24,8
A	10-20	7,8	11,7	13,3	17,8	13,5
AB	20-30	7,8	9,7	12,9	18,9	15,5
B	30-40	7,9	7,0	15,3	10,1	11,0

### 1.4.4 Коричневые почвы

Коричневые почвы (Cambisols) – типично субтропические образования в регионах со средиземноморским типом климата (прохладная влажная зима и сухое жаркое лето), с коэффициентом увлажнения 0,50–0,85 (Казеев и др., 2010). Формируется под изреженными широколиственными лесами разного флористического состава с хорошо развитым травянистым покровом. В России встречаются только на Северном Кавказе. Это в основном Краснодарский край и Дагестан. Основными диагностическими признаками являются: коричневый цвет профиля при мощном гумусовом горизонте, но не имеющего черных гуминовых тонов в окраске, интенсивное текстурное оглинивание средней части профиля почвы, элювиально- и иллювиальный тип декарбонизации, близкая к нейтральной реакция среды, богатство почвы элементами минерального питания. Цвет почвы сильно зависит от влажности почвы, во влажном состоянии он интенсивно коричневый, в сухом состоянии сильно осветляется, вплоть до палевого (Казеев и др., 2015г). Гумусовый профиль состоит из горизонтов А+АВt с общей мощностью около 80 см. Карбонатный профиль заканчивается на глубине 120–200 см (рис. 8, 9).

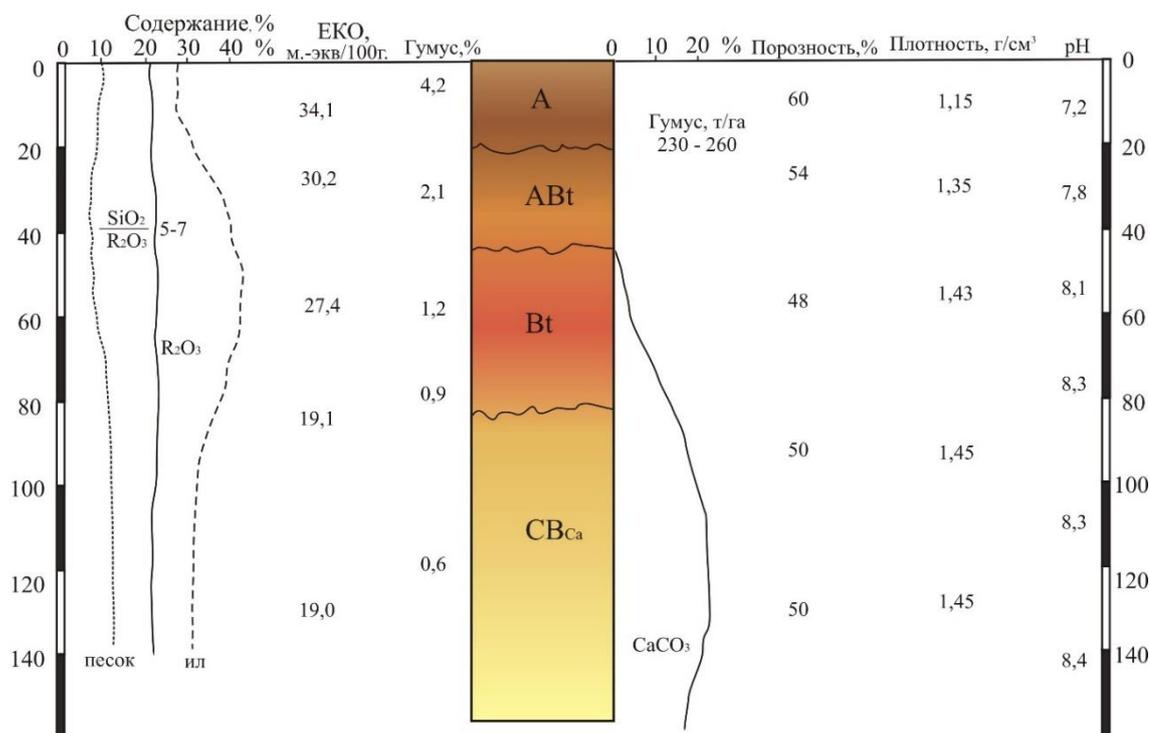


Рис. 8. Характеристика профиля коричневых почв (Казеев и др., 2010)



Рис. 9. Коричневая карбонатная почва, Абрауский полуостров, Краснодарский край (Казеев и др., 2010)

Преобладают разновидности тяжелосуглинистого и глинистого состава с хорошей зернисто-ореховатой оструктуренностью гумусового горизонта и рыхлым его строением (плотность  $1,15\text{--}1,35\text{ г/см}^3$  и порозность  $48\text{--}60\%$ ). В метаморфическом горизонте  $B_t$  отмечают повышенное содержание илстых частиц (Казеев и др., 2010). Физические свойства благоприятствуют развитию

корневых систем древесной и травянистой растительности, почва не имеет водоупорных слоев и характеризуется хорошей водопроницаемостью, поэтому даже временное переувлажнение исключается (Вальков и др., 2008; Казеев и др., 2010, 2015).

Коричневые почвы чаще всего средне- и малогумусны, с содержанием органического вещества в горизонте А около 4,0 % со среднемощным и мощным профилем, до 60–80 см, но всегда с преобладанием коричневых тонов при фульватно-гуматном типе гумуса ( $C_{гк}/C_{фк}$  около или более 1,0). В профиле почвы всегда присутствует  $CaCO_3$ . Вскипание от раствора соляной кислоты наблюдается на разной глубине, от поверхности (карбонатные почвы) до начала материнской породы (выщелоченные почвы). Полноразвитые коричневые почвы характеризуются присутствием горизонта карбонатных новообразований. Карбонатность профиля обуславливает слабощелочную и нейтральную реакцию среды, pH 7,2–8,4 (Казеев и др., 2010).

Коричневые почвы характеризуются высокой биологической активностью в верхнем горизонте с незначительным снижением в нижележащих горизонтах (Казеев и др., 2015г, 2016б). У них хорошие физические и водно-физические свойства. Почвы и близкие к ним горизонты коры выветривания успешно осваиваются корневыми системами как естественной, так и культурной растительности. Типично активное обитание землероющих животных.

Урожай зерновых культур на коричневых почвах примерно такие же, как на среднемощных и мощных черноземах (Вальков и др., 2008а). В равнинных и предгорных условиях коричневые почвы по плодородию сравнимы с черноземами. Хорошо растут на них зерновые и технические культуры, плодовые насаждения. Коричневые почвы являются одними из лучших для выращивания высококачественных сортов винограда, в том числе если в их профиле присутствует щебень и камни. Коричневые почвы типичного Средиземноморья благоприятны не только для винограда, но и для таких культур, как цитрусовые, маслины, инжир, что не наблюдается в российском Причерноморье в

более холодных субтропических условиях на границе с суббореальным климатом. Существенным ограничением плодородия коричневых почв на значительных пространствах Причерноморья является высокая скелетность и неполноразвитость их профиля при развитии в горных условиях на плотных каменистых породах (Вальков и др., 2008; Казеев и др., 2015).

### **1.5 МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА**

Нарушения почвы и высокая скорость эрозии после лесных пожаров в горных условиях требуют срочных мер по защите почвы от полной деградации, которая снижает устойчивость экосистемы и затрудняет или делает почти невозможным последующее восстановление (Vega et al., 2013a). Мульчирование, защита от эрозии, скарификация почвы, размещение скошенных растений на поверхности или посев трав могут использоваться при срочных неотложных мерах по стабилизации гарей для предотвращения или уменьшения катастрофических последствий пожаров (USDA Forest Service, 2012; Vega и др., 2013b; Ferreira et al., 2015). Эти срочные мероприятия необходимы для предотвращения эрозии и содействия накоплению органического вещества в почвах (Alanis-Rodríguez et al., 2015). Безотлагательные срочные мероприятия для борьбы с селями, осыпями, обвалами и эрозией проводят вне основных мероприятий по преодолению противозерозионных мероприятий (Souza-Alonso et al., 2022). Поэтому экстренные действия обычно не рассматриваются как часть восстановления, требующего спланированного долгосрочного видения. В связи с этим очень ограничены литературные источники, посвященные восстановлению экосистем при проведении подобных мероприятий.

Для снижения деградации почв необходимы мероприятия, направленные на восстановление почвенно-растительного покрова. В противном случае возможно длительное многолетнее самовосстановление почв, а в некоторых случаях негативные процессы могут усилиться и даже, привести к еще большей деградации. Особенно это касается горных территорий с расчлененным горным

рельефом и ливневым характером осадков, которые в результате оголения склонов могут вызвать интенсивную эрозию, наводнения, сели, оползни, осыпи, обвалы. Для предотвращения подобных явлений требуется в кратчайшее время восстановить растительный покров. Для ремедиации с целью устойчивого возобновления растительности можно применять методы сельскохозяйственной мелиорации. Ранее в предгорных районах Западного Кавказа были проведены успешные исследования повышения плодородия почв с применением минеральных и органических удобрений, а также таких мелиорантов, как глауконит, фосфогипс, серпентинит, цеолиты и другие (Глуховский, Шхапацев, 1998; Кудаев и др., 2000; Шеуджен и др., 2002, 2003; 2010; Вальков и др., 2004; Шхапацев, Кемечева, 2006). Эти приемы можно использовать для ускорения восстановления деградированных в результате рубок и пожаров послелесных почв гор Кавказа. В настоящее время такие мероприятия для лесовосстановления не используют. Еще одним способом быстрого повышения продуктивности может быть применение растворов гумусов и биопрепаратов, которые благодаря способности повышать биологическую активность в низких концентрациях могут стать эффективным и дешевым способом ремедиации. Для эффективного применения удобрений в различных условиях климата и почв необходимо учитывать многие факторы (Титов, 2012). Для постпирогенных почв уже есть примеры успешного применения препаратов на основе гуминовых кислот, а также микробиологических удобрений (Максимова, 2018; Нижельский и др., 2021; Вилкова и др., 2022б). Закономерности воздействия и механизмы стимулирования ремедиации биопрепаратами биологической активности почв изучены слабо.

Буроземы являются основными почвами для лесной зоны Северного Кавказа (Вальков и др., 2008б). Их использование в сельском хозяйстве для выращивания полевых культур весьма ограничено их низким плодородием, вследствие незначительной мощности гумусовых горизонтов, низких запасов гу-

муса, подвижных форм фосфора, азота, калия. Кислая реакция среды буроземов и высокая плотность нижних горизонтов также не способствуют сельскохозяйственному использованию. Их естественное плодородие для пшеницы, ячменя, сахарной свеклы, подсолнечника оценивается только в 43–53 баллов (Вальков и др., 2004, 2008б; Казеев и др., 2010, 2015). Однако лесные почвы Кавказа обладают неоспоримым превосходством даже над богатейшими черноземами в отношении их качества для выращивания таких растений, как эфиромасличные культуры (роза), табак, грецкий орех. Буроземы пригодны для выращивания картофеля и кукурузы, чая и субтропических плодовых (Вальков и др., 2008б). Основным мероприятием по повышению плодородия является создание мощного окультуренного пахотного слоя путем постепенного углубления в сочетании со систематическим применением органических и минеральных удобрений.

Как и большинство лесных почв буроземы нуждаются в интенсивном окультуривании из-за малого содержания питательных элементов при высокой кислотности (Вальков и др., 2004, 2008а). Об истощении минерального состава почв юга России свидетельствуют исследования разных авторов (Глуховский, Шхапацев, 1998; Цховребов, 2003, Шеуджен, 2003; Цховребов и др., 2017, 2019). Мелиоранты вносят также в загрязненные почвы с целью снижения подвижности тяжелых металлов и деградации нефти и пестицидов. Для этого применяют глауконит, мел, биочар и другие вещества (Минкина и др., 2004, 2006, 2007; Минникова и др., 2019, 2022). В последнее время большой интерес вызывают ремедианты на основе углерода (Minkina et al., 2022; Rajput et al., 2022; Sushkova et al., 2022). Для повышения плодородия кислых почв, в частности буроземов, применяют известь и другие кальцийсодержащие мелиоранты, а также цеолиты и удобрения (Кудаев и др., 2000; Шеуджен и др., 2003; 2010; Вальков и др., 2004; Шхапацев, Кемечева, 2006). Вследствие недостатка в сельскохозяйственных почвах микроэлементов рекомендуется их вне-

сение в форме микроудобрений из состава местных агроруд, например, глауконита, марганцевой руды и серпентенита (Глуховский, Шхапацев, 1998). Запасы серпентенита в Краснодарском крае, Адыгее и Карачаево-Черкесии оцениваются в миллионы тонн, они могут быть источником для получения удобрений с микроэлементами (Глуховский, Шхапацев, 1998).

Для улучшения агрохимических свойств кислых почв необходимо устранить их избыточную кислотность, понизив ее при помощи известкования до слабокислой реакции (Минеев и др., 2017; Окорков, 2022). На основе данного положения были рекомендованы полные или нормальные дозы извести, близкие к рассчитанным по гидролитической кислотности (Шильников, Лебедева, 1987; Минеев и др., 2017).

Природные цеолиты – это минералы класса алюмосиликатов, характеризуются устойчивостью к значительно выраженным колебаниям температуры и к агрессивным средам, механической прочностью, отсутствием токсических соединений, исключено заражение минерала микроорганизмами (Шадрин, 1998). За счет ионного обмена цеолиты снижают кислотность почв, увеличивают водоудерживающую способность. Созданные под влиянием цеолита благоприятные физико-химические свойства почвы способствуют усилению биологической активности почвы и росту численности почвенных микроорганизмов (Якимов, Булова, 2001).

Для стимулирования биологической активности растений и почв рекомендуется внесение гуминовых и других биологических препаратов (Чуков и др., 1995; Безуглова и др., 2015, 2016, 2018; Заварзина и др., 2021). Они повышают биологическую активность и плодородие почв (Наими и др., 2018; Bezuglova et al., 2019; Полиенко и др., 2020; Безуглова, Халецкая, 2022). Установлено благотворное влияние поликомпонентного удобрения Биоплант Флора с гуматами на коэффициент использования рисом фосфора из вносимых одноименных удобрений (Шеуджен и др., 2017). Кроме того, гуминовые препараты и биоудобрения могут быть использованы при реабилитации нарушенных

почв, например, постпирогенных (Максимова, 2018; Вилкова и др., 2021; Нижельский и др., 2022б) или загрязненных (Минникова и др., 2019, 2020).

Следует отметить, что модельные лабораторные опыты имеют целый ряд преимуществ по сравнению с полевыми исследованиями (Колесников и др., 2006). В первую очередь в лабораторных условиях появляется возможность поддерживать на относительно постоянном уровне внешние показатели (например, влажность окружающей среды), в то время как при полевых исследованиях результаты опыта сильно зависят от погодных условий. Также появляется возможность исследования отдельных характеристик фактора, например длительности и интенсивности, что далеко не всегда представляется возможным при полевых исследованиях (Казеев и др., 2003, 2016; Колесников и др., 2006).

## 2 ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В диссертации проведена сравнительная оценка устойчивости разных почв Западного Кавказа к сведению леса. Расположение исследуемых участков представлено на рисунках 10, 11.

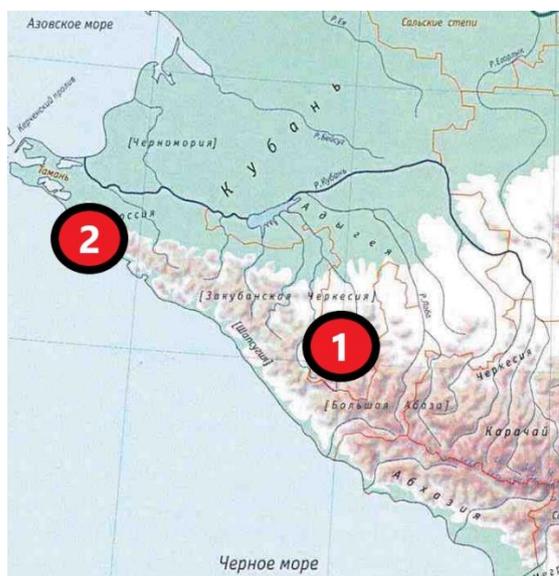


Рис. 10. Схема расположения исследуемых объектов:

- 1 – Вырубки и гари мезофитных лесов Кавказа;
- 2 – Вырубки и гари ксерофитных лесов Кавказа

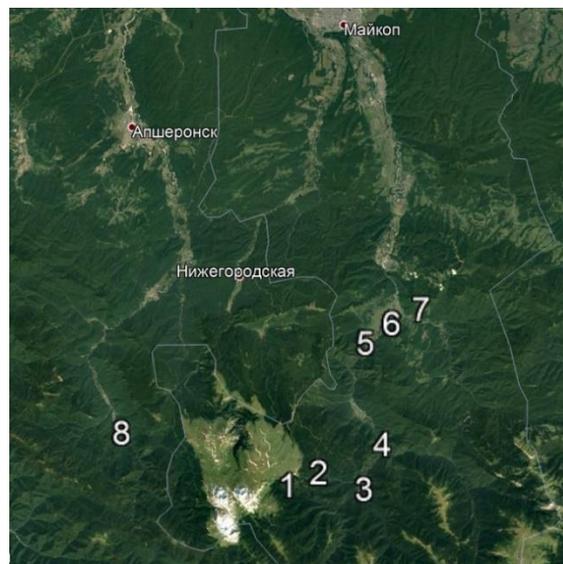


Рис. 11. Карта-схема расположения участков мезофитных лесов Западного Кавказа: 1 – Вырубка 12 лет, Яворова поляна; 2 – Вырубка 12 лет, за Гузериплем; участки леса и гарь, Кавказский заповедник пос. Гузерипль; 3 – поспирогенный участок, (устье р. Киша); 4 – вырубка 15 лет, пос. Никель; 5 – вырубка более 15 лет, ст-ца Даховская; 6-7 – участки лесовозобновления после рубок, ст-ца Даховская; 8 – Самозарастающие вырубки 40-110 лет, пос. Отдаленный

Среди исследуемых почв были (табл. 8):

- Дерново-карбонатные выщелоченные (Яворова поляна, Партизанская поляна).
- Буросемы (Кавказский заповедник, пос. Отдаленный).
- Серые лесостепные почвы (станция Даховская).
- Серые лесные (станция Даховская, терраса р. Сюк).
- Коричневые карбонатные и выщелоченные (заповедник «Утриш»).

Таблица 8

## Основные ключевые участки исследования почв

№	Почва	Местоположение	Вариант	Годы наблюдения	
1	Дерново-карбонатные	Яворова поляна, Адыгея	лес, пихтово-буковый	2010–2021	
2			вырубка, слабое нарушение		
3			вырубка, среднее нарушение		
4			вырубка, среднее нарушение		
5			вырубка, сильное нарушение		
6		Партизанская поляна, Адыгея	лес, пихтово-буковый	2012–2023	
7			вырубка, слабое нарушение		
8			вырубка, среднее нарушение		
9			вырубка, сильное нарушение		
10			Новая вырубка, Партизанская поляна	вырубка, сильное нарушение	2019–2023
11	Буроземы	пос. Отдаленный, Краснодарский край	вырубка 40–50 лет	2019	
12			вырубка 100–110 лет		
13		Кавказский государственный природный заповедник, пос. Гузерибль Адыгея	окно 4–6 лет	2019	
14			окно 3–4 года		
15			окно 2 года		
16			лес фон, пихтово-буковый		
17			лес фон, пихтово-буковый		
18			лес фон, пихтово-буковый		
19			гарь 2017 г.		
20			лес, пихтово-буковый		
21		устье р. Киша, Адыгея	гарь 1998 года	2019, 2022, 2023	
22			лес пихтово-буковый		
23			возраст		
24			пос. Никель, выше лагеря, Адыгея	лес, буково-грабовый	2007–2023
25			р. Жолобная, Адыгея	пихтово-буковый лес	2010
26				вырубка >20 лет	

Продолжение таблицы 8

№	Почва	Местоположение	Вариант	Годы наблюдения
27	Серая лесная	хребет Уна-Коз, Адыгея	лес дубово-грабовый	2019
28			вырубка 40 лет	
29			вырубка 25 лет	
30			вырубка 22 года	
31		гора Гуд, вырубка Адыгея	вырубка 10–12 лет	2010, 2019, 2021
32	устье Сюк, вырубка 2007 г., Адыгея	лес дубово-кленово-ясеневый		
33		вырубка 2007 г.		
34	Серая лесостепная	станция Даховская, Адыгея	лес дубово-грабовый	2007–2021
35			вырубка	
36			вырубка повторная	
37	Коричневые	Водопадная щель, ГПЗ "Утриш", Краснодарский край	можжевельное редколесье	2013–2021
38			гарь, 2009	
39		Сухой Лиман, ГПЗ "Утриш", Краснодарский край	лес фон, дубово-грабовый	2015, 2019
40			вырубка поляна	
41			вырубка подрост	
42		Базовая щель, ГПЗ "Утриш", Краснодарский край	можжевельное редколесье	2021, 2022
43			сосна пицундская	
44		гарь 2020, ГПЗ "Утриш", Краснодарский край	гарь сильная	2019–2022
45			гарь сильная	
46			гарь сильная	
47			гарь средняя	
48			гарь средняя	
49			гарь средняя	
50			гарь слабая	
51			гарь слабая	
52			гарь слабая	
53		Сухая щель, Абрауский п-в, Краснодарский край	можжевельное редколесье	2018
54			гарь 2013	
55		Широкая щель, ГПЗ "Утриш", Краснодарский край	можжевельное редколесье	2015, 2021
56	гарь 2020		2021	
57		БПиСП Лиманчик, Абрауский п-в, Краснодарский край	дубово-грабовый лес	2008–2023

Исследования буроземов проводили в верховьях р. Белой (Республика Адыгея, Кавказский государственный природный биосферный заповедник) и Апшеронского лесхоза Краснодарского края (табл. 9, 10).

Данная территория относится к Западной горной провинции Большого Кавказа. Среднегодовое количество осадков составляет 1200 мм. Среднегодовая температура – +10,3 °С. Высота над уровнем моря 650–700 м. Исследуемая территория занята старовозрастными пихто-буковыми (*Fagus orientalis* и *Abies nordmanniana*) мертвопокровными сообществами в терминальной стадии. Исследуемые участки окон находятся на ранней стадии восстановительной сукцессии (табл. 9). В почвенном покрове Кавказского биосферного заповедника отмечены буроземы кислые и глееватые или Cambisol Dystric на элювии глинистых сланцев. Подстилка маломощная, деструктивного типа.

Серые лесные и лесостепные почвы вырубок разных хронорядов исследованы в окрестностях станицы Даховской Майкопского района Республики Адыгея (табл. 11). Контрольный участок №1 расположен в дубово-грабовом лесу со слабовыраженным подростом на высоте 540 метров над уровнем моря. Участок разбит на две площадки: контроль (лес) и вырубка. Впоследствии в 2019 году на вырубке была произведена повторная рубка 10-летнего подроста деревьев. В результате этого территория вырубки была дифференцирована на две площадки: зарастающая вырубка и повторная вырубка. На площадке повторной рубки растительность представлена луговым высокотравьем. Почва этого участка серая лесостепная (Greyic Phaeozem Vertic), отличающаяся от серых лесных почв наличием плотного, иногда даже слитого, гумусового горизонта в нижней части профиля (Вальков и др., 1996, 2008б).

Таблица 9

Характеристика участков исследований в Кавказском биосферном заповеднике на буроземах, Северное лесничество, пос. Гузерипль

Участок	Растительность	Географические координаты	Высота, над уровнем моря, м	Почва
Контрольный лес №1	буково-пихтовый лес трехъярусный мертвопокровный	44°12.602' с.ш., 40°11.543' в.д.	700	Бурозем кислый слабокаменистый
«Окно» 4–6 лет, размер 20×8м	травянистая стадия сукцессии	43°59.689' с.ш., 40°08.499' в.д.	717	Бурозем кислый слабокаменистый
Контрольный лес №2	пихто-букняк трехъярусный мертвопокровный, 7Б 3П	43°59.531' с.ш., 40°08.160' в.д.	703	Бурозем турбированный
«Окно» 3–4 года, размер 20×10м	восстановительная сукцессия, подрост бука, граба, папоротник	43°59.533' с.ш., 40°08.175' в.д.	738	Бурозем глееватый турбированный
Контрольный лес №3	буко-пихтарник, 6П 4Б, мертвопокровный	44°00.000' с.ш., 40°08.544' в.д.	692	Бурозем кислый
«Окно» 2 года, размер 15×5м	травянисто-кустарниковая стадия зарастания	44°00.000' с.ш., 40°08.544' в.д.	690	Бурозем глееватый

Таблица 10

Характеристика старовозрастных вырубок на буроземах, пос. Отдаленный Краснодарского края

№	Возраст вырубки	Высота над уровнем моря, м	Географические координаты	Растительность	Почва
М1	Вырубка 40–50 лет	532	44°04.001" с.ш., 39°42.949" в.д.	осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес	Бурозем кислый
М2	Вырубка 40–50 лет	510	44°04.151" с.ш., 39°42.782" в.д.	осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес	Бурозем кислый
М3	Вырубка 40–50 лет	507	44°04.001" с.ш., 39°42.649" в.д.	осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес	Бурозем кислый
М4	Вырубка 90–110 лет	511	44°03.785" с.ш., 39°42.793" в.д.	буково-пихто-грабовый мелкотравный лес	Бурозем кислый
М5	Вырубка 90–110 лет	517	44°03.942" с.ш., 39°42.869" в.д.	буково-пихто-грабовый мелкотравный лес	Бурозем кислый
М6	Вырубка 90–110 лет	545	44°03.690" с.ш., 39°43.063" в.д.	буково-пихто-грабовый мелкотравный лес	Бурозем кислый слабокаменистый

Таблица 11

Характеристика участков в окрестностях станицы Даховской на серых лесных и лесостепных почвах

Местоположение и рельеф	Растительность	Возраст после рубки, лет	Почва
<b>Участок №1</b>			
Восточный склон 8-10° хребта Уна-Коз (средняя часть). Высота над уровнем моря – 675 м	Дубово-грабово-ясеневый лес. Возраст 250–300 лет 5Днч4Г1Яо	Контроль	Серая лесная на продуктах выветривания известняков
Восточный склон 6° хребта Уна-Коз (средняя часть). Высота над уровнем моря – 672 м	Грабовый лес 9Г1Гш+Ос+Дч	40	Серая лесная смытая на продуктах выветривания известняков
Южный склон 12–15° хребта Уна-Коз (нижняя часть). Высота над уровнем моря – 558 м	Грабинник после рубки 9Г1Днч+Гш+Яо	25	Серая лесная на продуктах выветривания известняков
Средняя нижняя часть южного склона 12–15° хребта Уна-Коз. Высота над уровнем моря – 552 м	Грабинник после рубки 7Г2Ос1Днч	22	Серая лесная на продуктах выветривания известняков
Нижняя часть северного склона 15–20° горы Гуд. Высота над уровнем моря – 508 м	Смешанный широколиственный лес 5Г3Клп1Днч1Чш	10–12	Серая лесная на продуктах выветривания известняков
<b>Участок №2</b>			
Терраса на нижней части склона 3–5° к реке Белая. Высота над уровнем моря – 502 м	Дубово-кленово-ясеневый лес	Контроль	Серая лесная на галечниковых отложениях
Терраса на нижней части склона 5–7° Высота над уровнем моря – 505 м.	Вырубка с посадкой лещины и подростом ясеня, клена, граба, вяза	12	Серая лесная смытая каменистая на галечниковых отложениях
<b>Участок №3</b>			
Выровненная терраса на нижней части склона к реке Белая. Высота над уровнем моря – 540 м	Дубово-грабовый лес. Возраст 120–130 лет 4Г3Дч2Гш1Бяк	Контроль	Серая лесостепная почва на галечниковых отложениях
Выровненная терраса на нижней части склона к реке Белая Высота над уровнем моря – 542 м	Дикоплодовые насаждения с травянистым пологом 5Бяк2Яб2Гш	10–12	Серая лесостепная почва на галечниковых отложениях
Выровненная терраса на нижней части склона к реке Белая. Высота над уровнем моря – 542 м	Высокотравная луговая растительность	10–12	Серая лесостепная почва на галечниковых отложениях
<b>Участок №4</b>			
Пологие склоны (3-5°) верхней части хребта. Высота над уровнем моря около 1600 м	Грабово-пихтово-кленовый лес с папоротниками и травянистым пологом	Контроль	Дерново-карбонатная выщелоченная на элювии известняков
Пологие склоны (3–5°) верхней части хребта в 50 м от контроля. Высота над уровнем моря 1635 м	Высокотравная луговая растительность с подростом из деревьев	10	Дерново-карбонатная нарушенная выщелоченная на элювии известняков

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. Контрольный дубово-грабовый лес с бонитетом 4 и составом 3дуб4граб1ясень имеет возраст 250–300 лет. Почвы здесь серые лесные остаточно-карбонатные (Greyic Phaeozem Eutric). Так как эти почвы сформированы на известняках, они в своем генезисе и свойствах близки к дерново-карбонатным почвам (Rendzic Leptosols), широко распространенным на карбонатных породах Северо-Западного Кавказа (Вальков и др., 2008б). В некоторых случаях эти почвы могут граничить друг с другом, образуя почвенные комбинации (Вальков и др., 2007; Казеев и др., 2021). На этом участке были изучены еще четыре площадки, образовавшиеся после сведения леса и находящиеся на разных этапах восстановления. Эти площадки отличаются друг от друга возрастом (10–40 лет) и спецификой лесовосстановительных работ. На площадке вырубке возрастом 22 года был высажен красный дуб (*Quercus rubra*), к настоящему времени практически заросший другими деревьями (преимущественно, грабом и осиной).

Третий участок расположен на выровненной террасе высотой около 500 метров над уровнем моря вблизи впадения реки Сюк в Белую. Контрольный участок представляет из себя дубово-кленово-ясеневый лес. 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 площадки трансформировалась в серую лесную смытую каменистую (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 метров 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 темногумусовым если их мощность не превышает 30 см (Классификация..., 2004). Если их мощность превышает 30 см, то они классифицированы как органо-аккумулятивные темногумусовые остаточно-карбонатные почвы. Дерново-карбонатные почвы имеют некоторые особенности относительно зональных почв (Вальков и др., 2007, 2008б). Их отличает высокое содержание гумуса в верхнем горизонте и карбонатов по всему профилю, слабощелочная реакция среды, тяжелосуглинистый гранулометрический состав, высокая поглотительная способность, хорошая оструктуренность. Эти почвы обладают значительными отличиями биологических параметров от зональных почв благодаря наличию карбонатов кальция в почвенном профиле (Казеев и др., 2012а). Ранее здесь были проведены исследования биологических свойств лесных и послелесных почв (Казеев и др., 2012б, 2013а, 2021; Тер-Мисакянц и др., 2013; Шхапацев и др., 2019; Солдатов и др., 2020а,б; Shkhatpatsev et al., 2023).

Исследовали несколько участков вырубок, находящихся в нескольких километрах друг от друга. Сплошная рубка леса на участках №1 и 2 проведена в 2010 году для строительства линий высоковольтных передач, поэтому их длина измеряется многими километрами при ширине 20–50 метров. При проведении работ по рубке и трелёвке леса на значительной территории был поврежден почвенно-растительный покров. В качестве мониторинговых площадок были выбраны несколько участков с разной степенью нарушения почвенного покрова. Их выявили по глубине скальпирования почвы, степени ее перемешивания и погребения в результате работы тяжелой техники. Уровень нарушения изменялся от леса до дороги, от самого слабого до самого сильного. В соответствии с антропогенной нагрузкой выделили участки со слабым, средним, и сильным уровнем нарушения почвы. В качестве контроля были ис-

следованы участки буково-пихтового леса с подлеском из папоротника и травянистых растений. На участке №3 рубка леса и сопутствующие работы завершены в 2019 году, его территория представляет собой однородную площадку 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. 12).

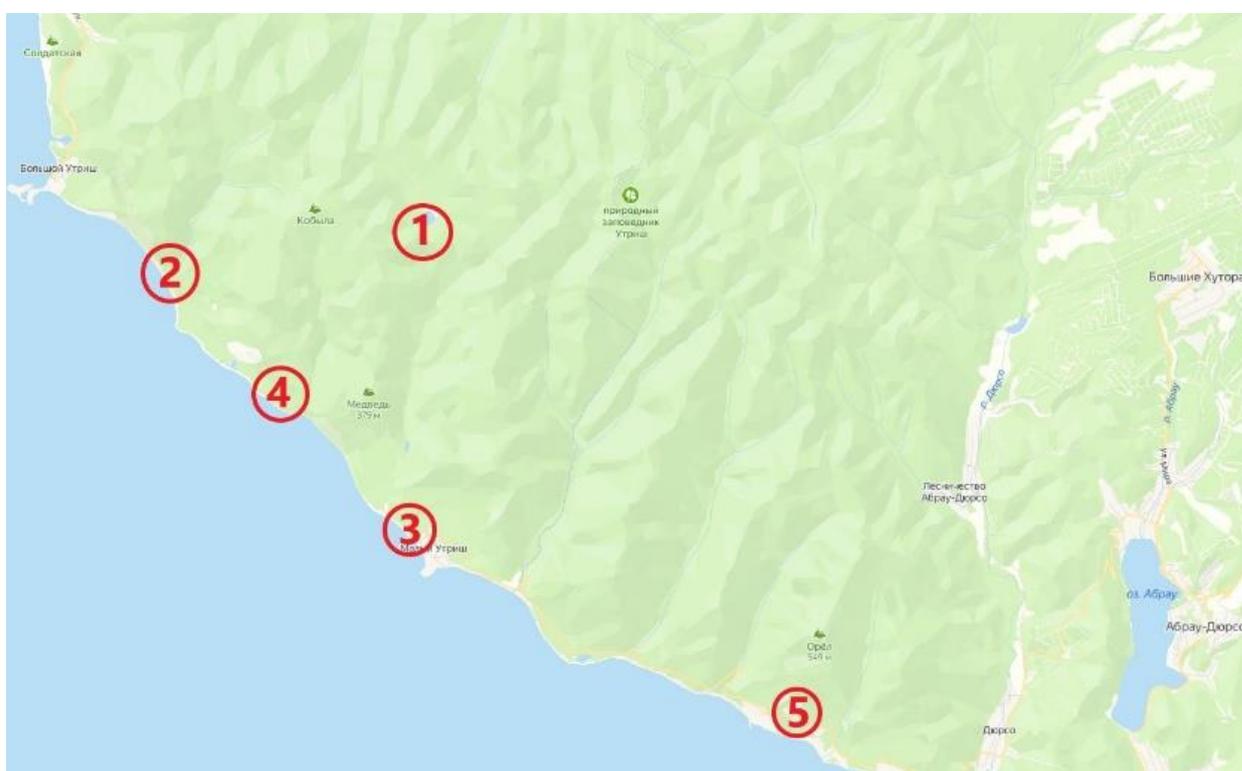


Рис.12. Нарушенные рубкой и пожарами ксерофитные леса и редколесья Абрауского полуострова: 1 – вырубка; 2 – гарь 2010 г., Водопадная щель; 3 – гарь 2018 г., пос. Малый Утриш; 4 – гарь 2020 г., Базовая щель; 5 – гарь 2015 г., Сухая щель

На российском черноморском побережье это один из последних участков естественных сухих средиземноморских субтропиков. Растительный покров утришско-туапсинского варианта характеризуется высокой видовой насыщенностью растительных сообществ, достигающей максимальных значений в приморском поясе фисташково-можжевеловых и пушистодубовых лесов и

редколесий. С ним связан оптимум произрастания видов со средиземноморским распространением. К таким видам относятся доминанты лесных и редколесных сообществ: фисташка туполистная (*Pistacia mutica*), можжевельник высокий (*Juniperus excelsa*), сосна крымская (*Pinus pallasiana*), сосна пицундская (*Pinus pityusa*), иглица колючая (*Ruscus aculeatus*) и др. Характерен высокий уровень эндемизма (Огуреева и др., 2020). Ранее проведенные исследования показали, что не только на территории полуострова Абрау, но и на территории заповедника «Утриш» распространены коричневые почвы (Казеев и др., 2015г). Коричневые почвы отличаются от других типов почв по следующим признакам: коричневый цвет профиля, интенсивное текстурное оглинение средней части профиля почвы, элювиально-иллювиальный тип декарбонизации, близкая к нейтральной реакция среды, богатство почвы элементами минерального питания. При этом большинство почв заповедника относят к неполноразвитым родам коричневых почв по причине их формирования на плотных породах разного состава. В связи с этим коричневые почвы отличаются высокой степенью скелетности, то есть содержат значительное количество обломков плотных пород в своем профиле (Опанасенко, Евтушенко, 2019).

В 2019–2020 годах были проведены исследования постпирогенных почв на нескольких участках Абрауского полуострова, отличающихся временем восстановления с момента пожаров (табл. 12).

Таблица 12

Описание исследуемых участков в заповеднике «Утриш»

Номер участка	Местоположение	Рельеф	Крутизна и экспозиция склонов	Высота н.у.м. БС, м	Время после пожара/рубки, лет
1	Базовая щель	Выровненная приморская терраса	20 ° ЮВ	77	0
2	Широкая щель	Выровненная приморская терраса	20-25 ° З	17-32	1
3	Водопадная щель	Верхняя часть покатого склона	20-25 ° ЮВ	105-117	11
4	Сухая щель	Средняя часть склона	10-15 ° ЮВ	57-60	5
5	Сухой Лиман	Выровненная часть склона	2-3 ° ЮЗ	312	>10

На участке № 1 в сентябре 2020 года были проведены полевые исследования сразу (через 20 суток) после пирогенного воздействия на нескольких площадках в районе приморской части Базовой щели. Уровень воздействия пожара на площадках был определен визуально согласно полевому руководству (Parson et al., 2010). Растительность исследуемой территории представлена сосной пицундской и можжевельником высоким, под пологом которых растет иглица понтийская. На поверхности почвы площадок с сильной степенью повреждения обнаружен слой золы 3–4 мм.

В 2019 году были проведены полевые исследования в окрестностях устья Широкой щели на мониторинговом участке № 2, который пострадал в результате пожара 2018 года. Площадки с разной степенью пирогенного воздействия находятся на территории смешанного леса, где произрастает сосна пицундская, граб, дуб, фисташка, а также иглица и держидерево. Согласно традиционной «Классификации и диагностике почв СССР» (1977), почвы диагностированы как коричневые (Cambisols) выщелоченные на элювии окарбонированного песчаника.

## 3 МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 3.1 МЕТОДЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Экспедиционные и лабораторно-аналитические исследования выполнены в 2005–2022 годах. Полевые исследования почв и почвенного покрова проведены в соответствии с рекомендациями (Гаврилюк, 1990; Полевые методы..., 2001; Казеев и др., 2003, 2016а; Мазиров и др., 2012). На ключевых участках были заложены почвенные разрезы на разных по условиям рельефа, растительности, почвообразующих пород площадках с учетом степени нарушения почвенно-растительного покрова (рис. 13).

Для выявления статистических закономерностей для почв разных участков и степени нарушения отбирали по несколько (3–6) индивидуальных почвенных образцов из поверхностного слоя почвы (0–10 см) рандомно на расстоянии нескольких метров друг от друга. Подстилка при этом не учитывалась, а в некоторых случаях отбиралась отдельно. В полевых условиях были исследованы морфологическое строение почв, растительность, численность и состав герпетобионтов, температура, влажность, плотность и сопротивление пенетрации почв. Интенсивность эмиссии почвами углекислого газа с поверхности почв – дыхание почв – исследована камерным методом в полевых условиях. Для этого использованы разные виды газоанализаторов (ПГА-7, Testo-535, EGM-5 PP System) с разными видами почвенных изолирующих камер. Определение этого динамичного параметра проводили в 3–10 кратной повторности в зависимости от степени варьирования значений (Казеев и др., 2016а).

Температуру почв исследовали послойно через 5 см электронным термометром HANNA CHEMTEMP. Дополнительно в 10-кратной повторности проводили определение температуры на поверхности почв с применением бесконтактного пирометра DT-810 «СЕМ». Для оценки влияния температурного фактора на биологическую активность почв определяли годовой ход температуры с периодичностью измерения каждые 3–6 часов в течение 2018–2020 годов.



Рис. 13. Полевые исследования на разных вырубках

Для этого применяли температурные датчиков «Термохрон DS1921», погруженные в почву на глубины 10, 20 и 30 см. В полевых условиях в 10-кратной повторности определяли влажность почвы с помощью влагомера Fieldscout TDR 100. Плотность сложения почвы определяли в трёхкратной повторности объемно-весовым методом с помощью стальных колец объемом 135 см<sup>3</sup>. Сопротивление пенетрации определяли в полевых условиях с помощью пенетromетра EIJKELKAMP на глубину 50 см с интервалом 5 см в 10-кратной

повторности. Структурно-агрегатный состав почв проводили методом сухого просеивания. Водопрочность агрегатов определяли по Адрианову.

Геоботанические описания пробных площадок проводились по общепринятым методикам в соответствии со стандартными подходами (Миркин, Наумова, 2012). Видовая принадлежность растений определялась по «Флоре Северо-Западного Кавказа» (Зернов, 2006) и «Определителю высших растений Северо-Западного Кавказа и Предкавказья» (Косенко, 1970). Названия видов приведены по работе «Сосудистые растения России и сопредельных государств» (Черепанов, 1995). Обилие видов оценивалось по шкале Ж. Браун-Бланке (Миркин и др., 2001). Обозначения ярусов и подъярусов: А1 – первый древесный подъярус, А2 – второй древесный подъярус, В – кустарниковый ярус, С – травяно-кустарничковый ярус. В случае неравномерности травяно-кустарничкового яруса выделены подъярусы: С1 – верхний; С2 – средний; С3 – нижний. Количественное участие видов дано по комбинированной шкале обилия-покрытия Ж. Браун-Бланке: «г» – единичные особи вида, большей частью только 1 экземпляр; «+» – особи вида разрежены или покрывают лишь часть площади; «1» – особи многочисленны и покрывают до 5 % или довольно разрежены, но с большей величиной покрытия; «2» – проективное покрытие 5–25 % или особи очень многочисленны, но покрытие ниже; «3» – проективное покрытие 26–50 %; «4» – проективное покрытие 51–75 %, «5» – проективное покрытие более 75 % (Braun-Blanquet, 1964).

Определение запаса надземной фитомассы травяных фитоценозов исследуемой территории проводили в 10-кратной повторности на учетных площадках площадью 1 м<sup>2</sup>. Учет сырой фитомассы проводили в полевых условиях, воздушно-сухую фитомассу определяли в лабораторных условиях.

### **3.2 МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**

В лабораторных условиях оценивали структурное состояние, валовой состав, реакцию среды, обменную и гидролитическую кислотность, обменные

основания, содержание общего органического и активного углерода, карбонатов, элементов питания растений, численность микроорганизмов и мезофауны, другие показатели (Воробьева и др., 2006; Казеев и др., 2003, 2016а; Comprehensive Assessment..., 2016; Даденко и др., 2021).

Ферментативную активность (каталаза, инвертаза, уреазы, фосфатаза и дегидрогеназы) определяли по скорости разложения субстрата: перекиси водорода, сахарозы, мочевины, нитрофенилфосфата, трифенилтетразолия хлористого (Хазиев, 2005; Казеев и др., 2016а; Даденко и др., 2021). Содержание общего гумуса определяли методом бихроматного окисления по И.В. Тюрину в модификации Никитина. Общая численность микроорганизмов определена люминесцентно-микроскопическим методом в 3–6-кратной повторности. Обилие азотфиксирующих бактерий рода *Azotobacter* определяли на безазотистой среде Эшби методом комочков обрастания почвы.

Для определения 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 и др., 2003, 2016а; Казеев, Колесников, 2012). Для расчета ИПБС за 100 % принимается максимальное значение каждого из показателей и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в остальных образцах:

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

где  $B_1$  – относительный балл показателя,  $B_x$  – фактическое значение показателя,  $B_{\max}$  – максимальное значение показателя

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

### 3.3 МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ПОЧВ МЕЛИОРАНТАМИ

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, 2003, 2017; Шхапацев, 2006; Шхапацев, Кемечева, 2006). Использование биопрепаратов и гуминовых кислот показали эффективность для восстановления постпирогенных почв (Максимова и др., 2018; Нижельский и др., 2021; Вилкова и др., 2022б).

Модельный опыт №1 выполняли в лабораторных условиях в пластиковых контейнерах объемом 1000 мл в трехкратной повторности. В контейнеры помещали по 300 г воздушно-сухой почвы, очищенной от растительных остатков и просеянных через сито 3 мм. Далее в почву добавляли мелиоранты (известь в дозе 5,5 г/кг почвы и природные цеолиты в дозе 20 г/кг почвы), перемешивали и увлажняли водой. В одном из вариантов были посеяны семена вико-овсяной смеси. Срок инкубации почвы при температуре 25-27 °С и оптимальной влажности (40 %) составил 30 суток. Объект данного исследования – бурозем кислый (Cambisol) Республики Адыгея. Географические координаты места отбора образцов и проведения полевых модельных исследований: 44 °10'39" с. ш. 40 °09'20" в. д. Поселок Никель расположен на правом берегу реки Белая, где впадает в нее правый приток – река Сюк, в 9 км к юго-западу от станции Даховской и в 55 км к югу от города Майкопа. Почву отобрали из горизонта А с глубины 10–20 см для имитации потери поверхностного слоя почв после пожара и эрозии.

Для изучения влияния мелиорантов на биологическую активность постпирогенного бурозема был проведен другой модельный опыт с воздействием высоких температур, имитирующих действие пожара, в сушильном

шкафу с последующим внесением цеолита, извести и гумата калия). Почву для экспериментов отобрали из горизонта А с глубины 10–20 см для имитации потери поверхностного слоя почв после пожара и эрозии. В фарфоровых стаканах почву массой 500 г, просеянную через сито с диаметром отверстий 5 мм, поместили в сушильный шкаф при температуре 300 °С на 30 мин. После остывания почву просеяли через сито с диаметром отверстий 1 мм и поместили в контейнеры объемом 500 мл. Затем внесли следующие мелиоранты: цеолит (2 % от массы почвы), известь (0,55 % от массы почвы), гумат калия (в виде 1 %-го раствора до 0,1 % от массы почвы).

Мелиоранты в сухом виде внесли сначала в 100 г почвы, затем постепенно добавляли почву по 50 г, постоянно перемешивая для равномерного распределения сухого мелиоранта по всему объему. Концентрат гумата калия разбавили водой и внесли в виде раствора. Схема модельного опыта представлена ниже.

#### Схема модельного опыта

1. Бурозем, контроль
2. Бурозем + цеолит
3. Бурозем + известь
4. Бурозем + гумат
5. Бурозем + огонь
6. Бурозем + огонь + цеолит
7. Бурозем + огонь + известь
8. Бурозем + огонь + гумат

Время инкубации всех 24 образцов составило 90 суток после начала опыта. Инкубацию проводили при оптимальных условиях влажности и температуры.

Так как в настоящее время вопрос о влиянии дыма от пожаров на биологическую активность почв недостаточно изучен, была проведена серия модельных опытов для оценки токсичности газообразных продуктов горения. В

опыте с поверхностным слоем бурозема (0–10 см) использовали дымогенератор Merkel Standard (Helicon, Россия). В него помещали сосновые опилки для сжигания и выделения газообразных веществ. В качестве своеобразной газовой камеры для почвы был выбран контейнер объемом 50 л. Образцы бурозема помещали в полипропиленовые контейнеры, объем которых составлял 200 мл. Масса почвы в каждом из образцов составляла 40 г. Для прокачивания дыма через дымогенератор с последующим поступлением его в газовую камеру использовали воздушный компрессор Hailea ACO 208 (Китай) с контролируемым регулированием потока воздуха 17,5 л/мин. Продолжительность фумигации составила 60 минут.

Полевой модельный опыт для оценки эффективности применения мелиорантов для улучшения экологического состояния нарушенных почв Западного Кавказа был заложен 9 августа 2022 года в буковом лесу выше по склону от поселка Никель (Майкопский район Республики Адыгея). Почва фонового участка леса – бурозем под буково-грабовым лесом. Эти почвы в разных классификациях называются по-разному: бурая лесная (бурозем) слабоненасыщенная почва (Классификация почв СССР, 1977; Вальков и др., 2002), бурозем темный (Классификация почв России, 2004), Cambisol Dystric (WRB, 2015).

Для проведения эксперимента механическим снятием верхнего десятисантиметрового слоя имитировали смывную эрозию почвы, в которую в дозах 10 т/га вносили мелиоранты: цеолит модифицированный (фракция 2–5 мм, Юшаньское месторождение Ульяновской области, ООО «БиоРесурс») и доломитовую муку (ОАО Буйский химический завод, Костромская область) с суммарным содержанием карбонатов кальция с магнием более 85 %.

#### Схема модельного опыта

1. Фон – бурозем под фоновым лесом
2. Контроль бурозем деградированный (снят верхний слой 0-10см)
3. Контроль + цеолит 10 т/га
4. Контроль + доломитовая мука 10 т/га

На фоновой территории буково-грабового леса было отобрано по три почвенных образца почв случайно на расстоянии нескольких метров друг от друга. На опытном участке с каждого варианта также отбирали по три почвенных образца на расстоянии около метра друг от друга. Глубина отбора образцов составляла 0–10 см. Исследования биологических свойств почв проводили через две недели после закладки опыта и еще раз через год.

Определение биологической активности проводили согласно методам биологической диагностики почв (Казеев и др., 2016а). Анализы почвенных образцов выполнены в лабораториях Южного федерального университета в трехкратной полевой повторности и в трехкратной аналитической повторности. 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.

Всего для написания диссертационного исследования были рассмотрены 57 ключевых участков, на некоторых из которых динамические исследования вели более 10 лет; было обобщены и проанализированы более 5000 полевых и более 20 000 лабораторно-аналитических определений разных параметров из более чем 1 500 почвенных образцов. Некоторые фактические данные за несколько лет выборочно представлены в приложениях. В тексте диссертации приведены обобщенные данные многолетних исследований в виде таблиц и рисунков.

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

Кавказский государственный природный биосферный заповедник является крупнейшим естественным резерватом природы на Западном Кавказе, практически не подверженный прямому антропогенному воздействию (Vibin et al., 2020; Lebedev et al., 2020). Леса покрывают 62 % территории заповедника. Лесной пояс северного макросклона представлен мезофитными широколиственными (буковыми, дубово-грабовыми) и темнохвойными (преимущественно буково-пихтовыми) лесами (рис. 14). На высоте в пределах 600–1900 метров над уровнем моря среди лесов преобладают пихтарники и буко-пихтарники, составляющие 44 % всей лесной площади заповедника (Акатов и др., 1990).

Естественные леса представляют собой сукцессионную мозаику элементов мозаично-ярусной структуры. Мозаика формируется в естественных лесах после нарушений, приводящих к образованию прорывов в сплошном пологе леса. «Окно» – небольшой по площади участок леса, образующийся в сомкнутом пологе деревьев (рис. 15–18). Размеры прорывов – «окон» – в пологе 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. Исследованиям влияния естественного изменения почв при образовании «окон» в лесах Кавказского государственного природного биосферного заповедника посвящена отдельная статья соискателя (Шхапацев и др., 2022).



Рис. 14. Контрольный лес буковый мертвопокровный, ГПБЗ «Кавказский»

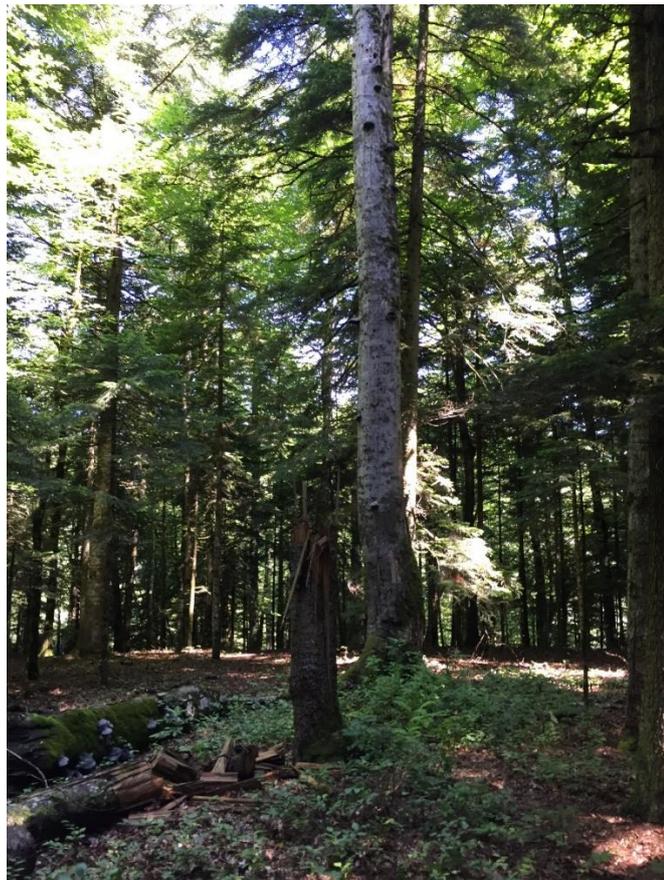


Рис. 15. «Окно» в буковом лесу ГПБЗ «Кавказский»

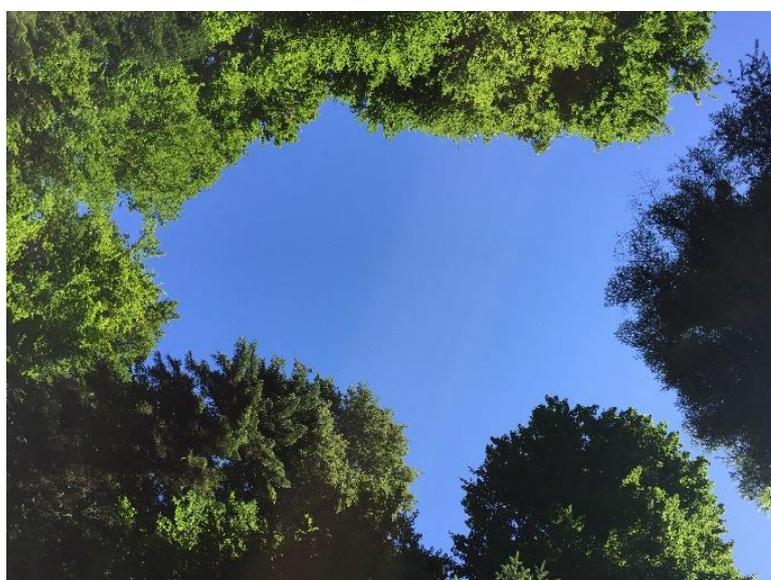


Рис. 16. «Окна» в кронах деревьев букового леса



Рис. 17. Инсоляция поверхности почвы в «окне»



Рис. 18. Формирование растительности через несколько лет после образования «окна»

Исследуемые «окна» возрастом 2–6 лет и площадью 75–200 м<sup>2</sup> характеризуются повышенной инсоляцией и особым микроклиматом, быстро зарастают 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. 19), потому что кроны деревьев не задерживают атмосферную влагу в дождливый период во время полевых исследований.

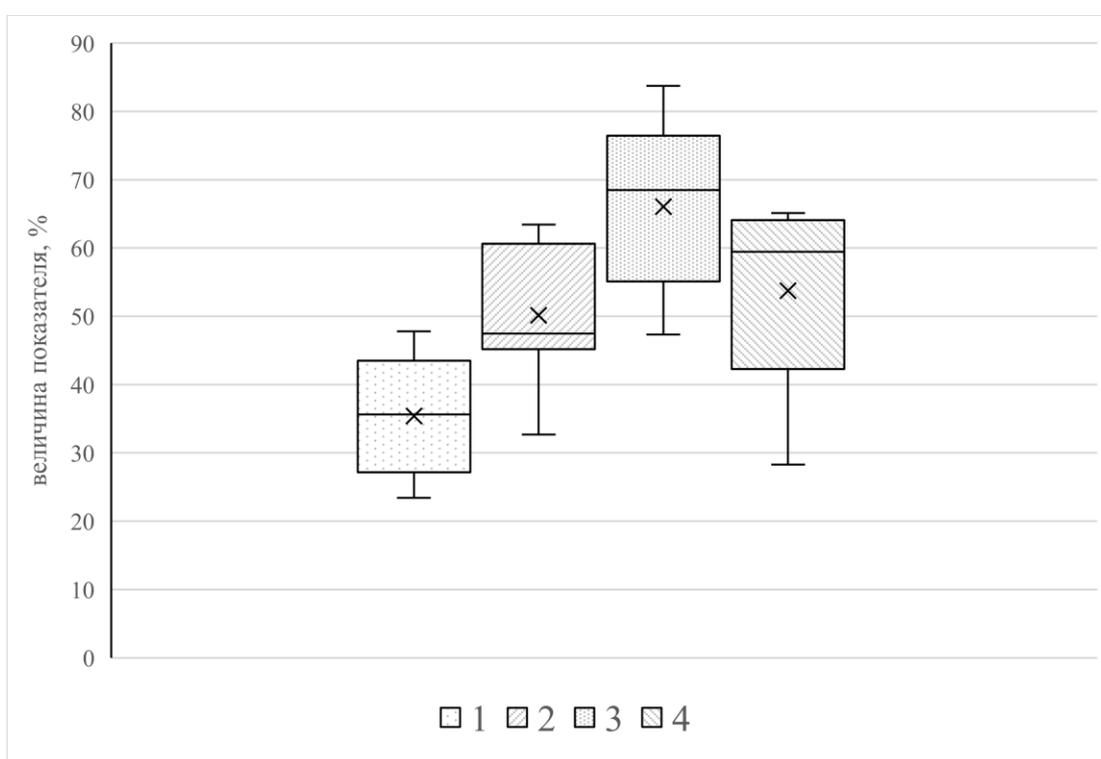


Рис. 19. Влажность и структурность буроземов, %: 1) влажность в лесу; 2) влажность в «окнах»; 3) структурность в лесу; 4) структурность в «окнах»

Температурных отличий в почвах разных мест наблюдения не выявлено. 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,  $pH_{КС1}$  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. 20).

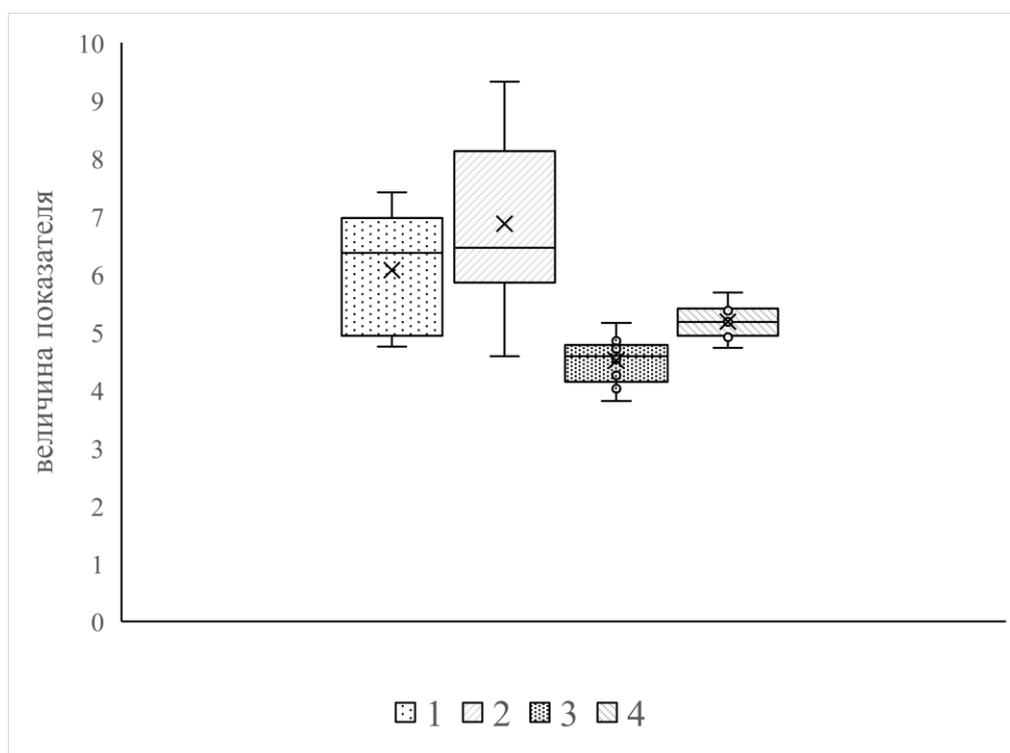


Рис. 20. Содержание гумуса (%) и численность бактерий (млрд) в буроземах:  
 1 – гумус в почвах леса; 2 – гумус в «окнах»; 3 – бактерии в лесу;  
 4 – бактерии в «окнах»

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., 2012б, 2013а; Солдатов и др., 2020; Shkharpatsev et al., 2023).

Изменение эдафических свойств приводит к изменению численности микроорганизмов и биологической активности буроземов. Общая численность бактерий в среднем на 15 %, а микробная биомасса на 71 % выше в поверхностном слое буроземов «окон».

Ферментативная активность исследуемых фоновых буроземов весьма значительна только в поверхностных горизонтах, обогащенных органическим веществом. Для профильного распределения активности ферментов в лесных почвах характерно типичное резко убывающее поведение (Казеев и др., 2004, 2012). Значения активности разных ферментов в большинстве случаев находятся на среднем уровне обогащенности. Выявлено высокое пространственное варьирование значений активности ферментов в исследуемых почвах, что существенно затрудняет установление достоверности различий (рис. 21). 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 %).

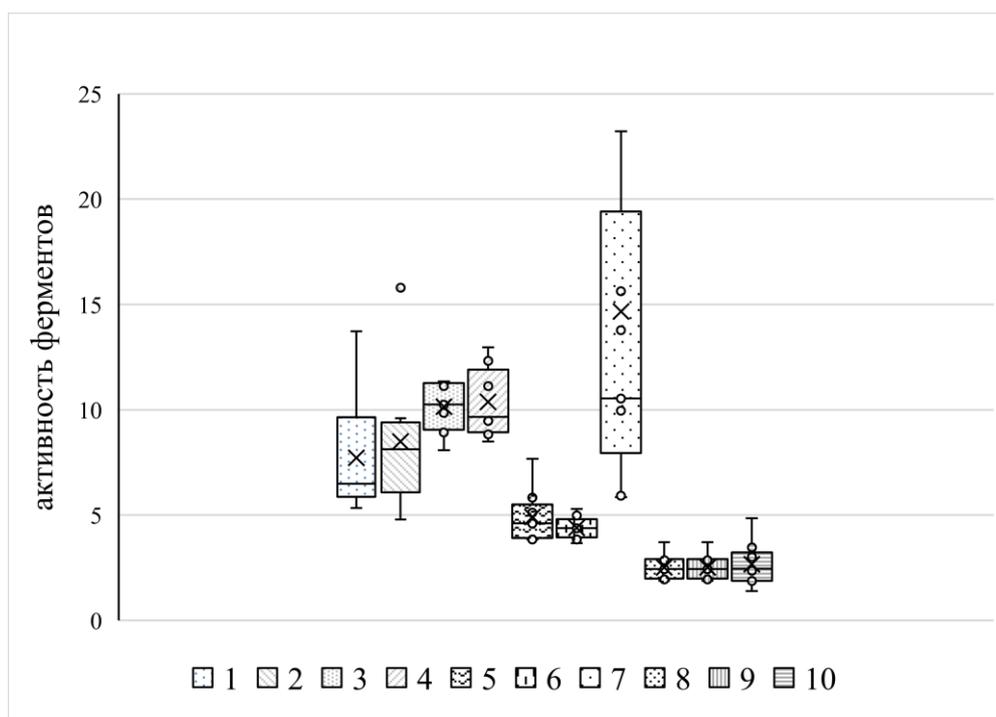


Рис. 21. Активность ферментов в буроземах:  
 1-2 – каталаза в почвах леса и «окон» мл  $O_2$ /г/мин;  
 3-4 – дегидрогеназы, мг ТФФ/10г/24ч;  
 5-6 – пероксидаза, мг бензохинона/г/30мин;  
 7-8 – уреазы, мг  $N-NH_4$ /10г/24ч;  
 9-10 – инвертазы, мг глюкозы/г/24ч

Интегрированная оценка биологической активности буроземов способна 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, 2015а,б; Kozun et al., 2022). Использование ИПБС, объединившего 10 разных показателей, показала близкие значения параметра при высоком варьировании показателя в целом (рис. 22). 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).

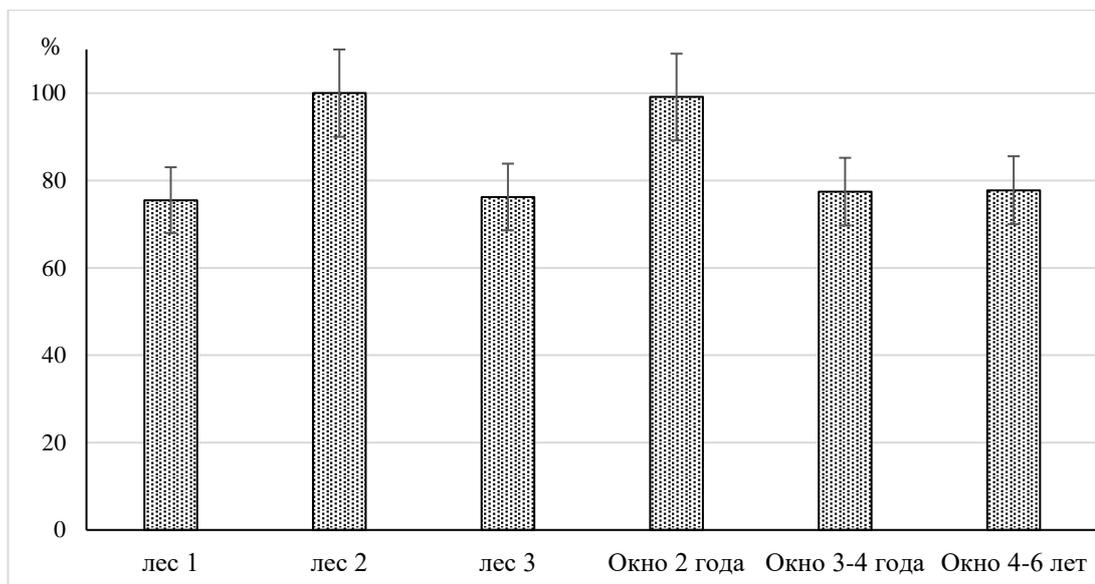


Рис. 22. ИПБС буроземов ГПБЗ «Кавказский»

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». В связи с этим изменяется локализация поступления органического вещества преимущественно на поверхность почвы, как в климаксных лесных экосистемах или с поступлением значительной доли в верхние слои почвы с корневым опадом растений начальных стадий сукцессий в «окнах». Большое влияние подстилка оказывает на эмиссию углекислого газа с поверхности почвы. Дыхание почв в окнах, в целом, меньше, чем у стволов деревьев (Сморкалов, Воробейчик, 2023).

## 5 ИЗМЕНЕНИЕ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ВЫРУБКАХ СРЕДНЕГОРИЙ АДЫГЕИ

Леса Северо-Западного Кавказа остаются одними из немногих экосистем на юге Европейской территории России с относительно невысокой степенью антропогенного воздействия. 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) (рис. 23).

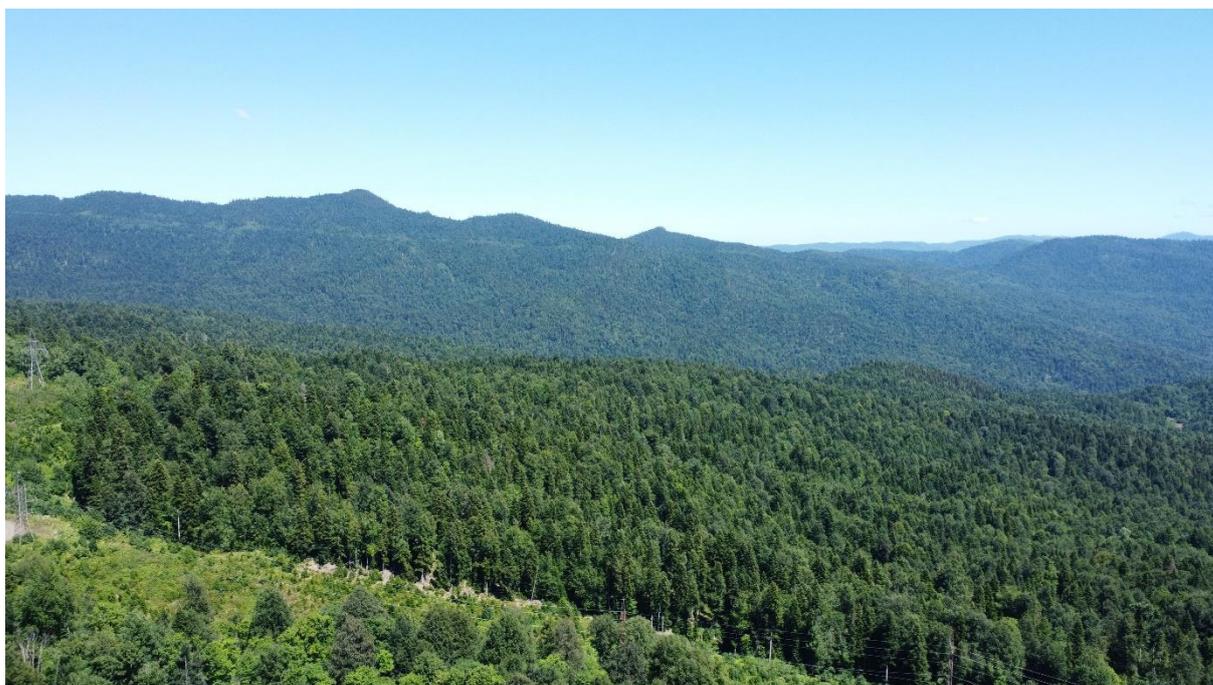


Рис. 23. Лес исследуемой территории, съёмка квадрокоптером

Деятельность человека в последние десятилетия в этом регионе возрастает и принимает угрожающие для природных экосистем масштабы. В связи с этим актуальны исследования, посвященные изучению как природных, так и антропогенно-преобразованных экосистем данного региона. 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), в результате которых дана комплексная оценка почвенно-растительного покрова вырубок наazonальных почвах Западного Кавказа – дерново-карбонатных почвах (Солдатов и др., 2020б; Казеев и др., 2021).

Исследования были проведены на самозарастающих сплошных вырубках возрастом 2 года и 10 лет, расположенных в условиях среднего горного пояса Западного Кавказа в 9 км от пос. Гузерипль, географические координаты центра территории вырубок 44 °01.135' с.ш. 40 °03.769' в.д. Исследуемый регион расположен в зоне широкого распространения карбонатных пород, которые оказывают существенное влияние на почвенный и растительный покровы. Различия на участках вырубок определялись по степени нарушения почвенно-растительного покрова тяжелой техникой во время рубки и трелевки леса. Почвы на участках вырубок представлены дерново-карбонатными выщелоченными тяжелосуглинистыми разновидностями разной степени мощности и каменистости. Пробные площадки были заложены в 2021 году в интервале высот от 1100 до 1300 метров над уровнем моря (рис. 24).

*Контрольный участок.* Растительность контрольного участка представлена ассоциацией *Sambuco nigrae–Fagetum orientalis* Frantsuzov 2006 (Французов, 2006). Эта ассоциация объединяет гигромезофитные разнотравно-папоротниковидные олигодоминатные буково-пихтовые леса с примесью клёна ложноплатанового *Acer pseudoplatanus* L. и клена остролистного, *A. platanoides* L. (рис. 25, 26). Леса с таким составом распространены на влажных теневых склонах северной и восточной экспозиций, а также на ровных участках в интервале высот от 800 до 1200 метров над уровнем моря (Французов, 2006).



Рис. 24. Общий план вырубki, съёмка квадрокоптером:  
1 – слабое нарушение; 2 – среднее нарушение; 3 – сильное нарушение



Рис. 25. Контрольный участок леса

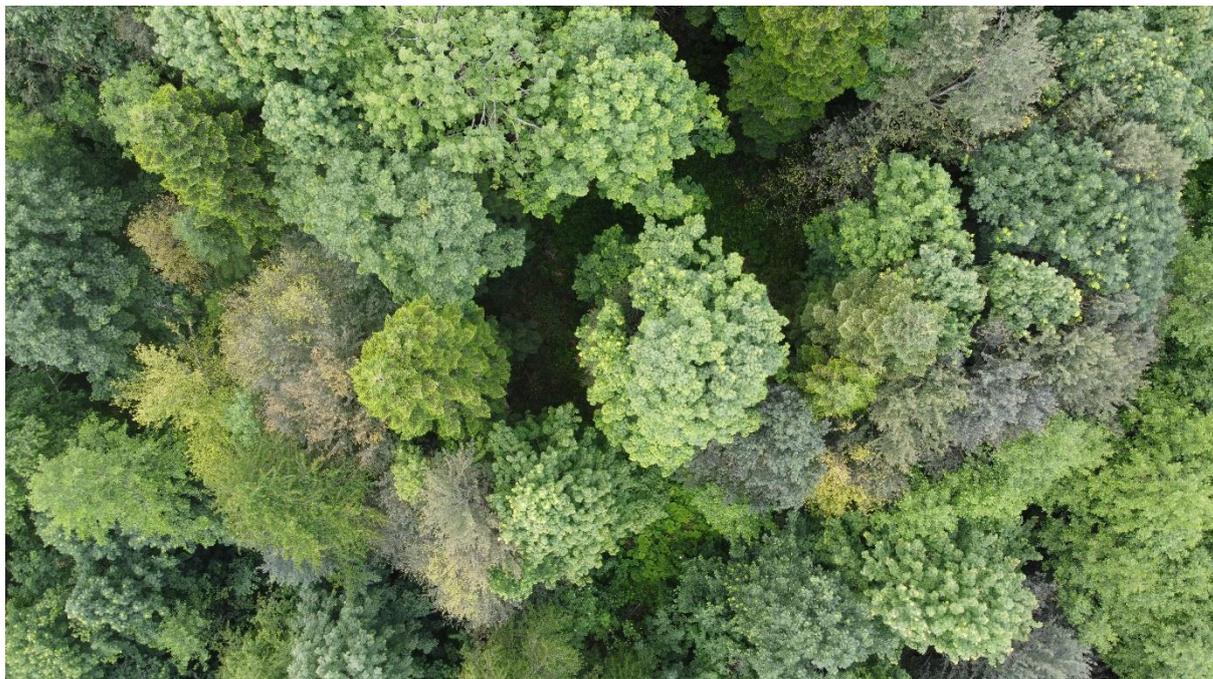


Рис. 26. Контрольный участок леса, вид сверху, съёмка квадрокоптером

Вертикальная структура сообщества сложная. Первый древесный подъярус (А1) образует пихта Нордманна *Abies nordmanniana* (Stev.) Spach со значительным участием бука восточного *Fagus orientalis* Lipsky и клёна остролистного *Acer platanoides*. Кроме этих деревьев в состав древесного яруса в незначительном количестве примешиваются вяз голый *Ulmus glabra* Huds. Высота древесного яруса в среднем составляет 25 м, сомкнутость крон – 0,5. Формула древесного яруса: 4Пх2Бк2К. Диаметр стволов бука восточного изменяется от 40 см до 106 см (в среднем 74,8 см), пихты кавказской – от 78 см до 233 см (в среднем 154,8 см). Второй древесный подъярус (А2) слагают те же виды деревьев: пихта Нордманна *Abies nordmanniana*, бук восточный *Fagus orientalis*, клен остролистный *Acer platanoides*, вяз голый *Ulmus glabra* с незначительным участием ольхи клейкой *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn и вишни птичьей *Cerasus avium* (L.) Moench. Высота подъяруса А2 составляет 5–15 м, сомкнутость крон – 0,2–0,4. Формула второго древесного подъяруса: 3Пх2Бк2К2Вя1О.

Кустарниковый ярус (В) выражен слабо и представлен отдельными группами растений из ежевики кавказской *Rubus caucasicus* Focke или бузины

черной *Sambucus nigra* L. Кроме того, в кустарниковом ярусе отмечены отдельные кусты лещины обыкновенной *Corylus avellana* L. и волжанки обыкновенной *Aruncus sylvestris* Kostel. ex Opiz. На нарушенных участках ежевика кавказская образует значительные заросли.

Разреженный древесный полог, а также хорошее увлажнение создают благоприятные условия для развития травяно-кустарничкового яруса (С), который имеет два подъяруса и проективное покрытие около 60 %. Средняя высота травостоя верхнего подъяруса составляет 58,7 (40–88) см, он образован папоротниками кочедыжником женским *Athyrium filix-femina* (L.) Roth. и щитовником мужским *Dryopteris filix-mas* (L.) Schott, а также такими видами растений, как герань лесная *Geranium sylvaticum* L., овсяница горная *Festuca drymeja* Mert. & W. D. J. Koch и др. Средняя высота нижнего подъяруса составляет 15,9 (10–19) см, он образован геранью Роберта *Geranium robertianum* L., земляникой лесной *Fragaria vesca* L. и др. Основу травяно-кустарничкового яруса образуют виды, имеющие проективное покрытие до 50 %: подмаренник душистый *Galium odoratum* (L.) Scop., овсяница горная *Festuca drymeja* и окопник крупноцветковый *Symphytum grandiflorum* DC. Константными видами являются щитовник мужской *Dryopteris filix-mas*, кочедыжник женский *Athyrium filix-femina*, зубянка клубненосная *Dentaria bulbifera* L., герань Роберта *Geranium robertianum*, толстостенка круглолистная *Pachyphragma macrophyllum* (Hoffm.) N. Busch., вороний глаз неполный *Paris incomplecta* Vieb., ожика волосистая *Luzula pilosa* (L.) Willd. В нижних частях склона проективное покрытие окопника крупноцветкового *Symphytum grandiflorum* и белокопытника гибридного *Petasites hybridus* (L.) Gaertn., В. Mey. & Scherb. возрастает до 60–80 %. Флористическая насыщенность сообщества составляет 48 видов сосудистых растений на площади 400 м<sup>2</sup>.

*Участок со слабым нарушением.* На участках десятилетней вырубки, имеющих слабую степень антропогенной нагрузки, описаны сообщества за-

растающих высокотравных полян (рис. 27). Они являются наиболее флористически богатыми сообществами в сравнении с остальными исследованными фитоценозами. Их видовой состав насчитывает 56 видов растений на площади 100 м<sup>2</sup>. Вертикальная структура сообщества трёхъярусная; древесный ярус (А) состоит из ольхи клейкой *Alnus glutinosa* и клёна остролистного *Acer platanoides*. Единично отмечены осина *Populus tremula* L. и вяз голый *Ulmus glabra*. Древесный ярус имеет неравномерную плотность (сомкнутость крон 0,5–0,3), его высота варьирует от 15 до 5 м.



Рис. 27. Участок вырубki со слабым нарушением почвенно-растительного покрова

Кустарниковый ярус (В) выражен хорошо. Его образует ежевика кавказская *Rubus caucasicus* и бузина черная *Sambucus nigra*, а также многочисленный подрост ольхи клейкой *Alnus glutinosa*. Установлено, что наибольшую степень проективного покрытия имеет ежевика кавказская *Rubus caucasicus*, покрывающая на отдельных участках до 50 % пробной площади. Травяно-кустарничковый ярус (С) выражен хорошо и имеет сложную структуру, его проективное покрытие составляет около 100 %. Верхний подъярус (С1) имеет среднюю высоту травостоя 138,4 (130–160) см. Он образован такими видами,

как цицербита пренантоидная *Cicerbita prenanthoides* (M. Bieb.) Beauverd, девясил прекрасный *Inula helenium* L., сныть обыкновенная *Aegopodium podagraria* L., бутень золотистый *Chaerophyllum aureum* L. и др. Средний подъярус (С2) имеет среднюю высоту травостоя 74,3 (58–93) см. В нём обычны такие виды, как мелколепестник канадский *Erigeron canadensis* L., желтушник золотистый *Erysimum aureum* M. Bieb., козлятник восточный *Galega orientalis* Lam., окопник жёсткий *Symphytum asperum* Lerech., крапива двудомная *Urtica dioica* L. и др. Нижний травяно-кустарничковый подъярус (С3) имеет среднюю высоту 29,0 (23–33) см и образован такими видами, как земляника лесная *Fragaria vesca* L., подмаренник душистый *Galium odoratum* (L.) Scop. и др.

Основу травяно-кустарничкового яруса составляют виды, имеющие проективное покрытие до 50 %: окопник жёсткий *Symphytum asperum*, белокопытник гибридный *Petasites hybridus*, козлятник восточный *Galega orientalis* и цицербита пренантоидная *Cicerbita prenanthoides*. Константными являются виды субальпийского высокотравья: ясколка даурская *Cerastium davuricum* Fisch. Ex Spreng., хлопущка многокасечённая *Oberna multifida* (Adams) Ikonn., телекия прекрасная *Telekia speciosa* (Schreb.) Baumg. и др., но их проективное покрытие ниже (20–25 %). Особенностью этих сообществ является полидоминантность с хорошо выраженным мозаичным распределением видов в границах фитоценоза.

*Участок со средним нарушением.* Сообщества, имеющие среднюю степень антропогенной нагрузки, расположены на относительно ровном участке, в окружении подроста ольхи клейкой *Alnus glutinosa* и видов высокотравья (рис. 28). Флора этих сообществ включает 39 видов и, по сути, они представляют собой сильно обеднённые субальпийские высокотравные поляны в начальной стадии восстановительной сукцессии.

Вертикальная структура сообществ трёхъярусная. Из деревьев единично встречаются клён ложноплатановый, или явор *Acer pseudoplatanus*, ольха

клеякая *Alnus glutinosa*, ива белая *Salix alba*, ива козья *Salix caprea* L. и яблоня восточная *Malus orientalis* Uglizk.



Рис. 28. Участок вырубki со средним нарушением

Из кустарников отмечена только ежевика кавказская *Rubus caucasicus*, которая на отдельных участках имеет проективное покрытие до 25 %. Проективное покрытие травянистого яруса составляет 60 %. Травянистый ярус имеет сложную структуру, в которой можно выделить три вертикальных подъяруса. Верхний травяной подъярус (С1) представлен видами субальпийского высокоотравья (например козлятник восточный *Galega orientalis*, гравилат городской *Geum urbanum* L., борщевик жёсткий *Heracleum asperum* (Hoffm.) M. Bieb., вечерница ночная фиалка *Hesperis matronalis* L.). Его высота варьирует от 73 см до 112 см (в среднем составляет 95,7 см). Высота растений в среднем травяном подъярусе (С2) варьирует от 37 см до 60 см (в среднем – 50,0 см). Он представлен луговыми видами (например, вербейник мутовчатый

*Lysimachia verticillaris* Biehler, лютик ползучий *Ranunculus repens* L., осока ви- сячая *Carex pendula* Huds. и др.). В нижнем травяном подъярусе (С3) высота травостоя варьирует от 10 см до 30 см (в среднем – 22,1 см), он сложен такими видами, как люцерна хмелевидная *Medicago lupulina* L., клевер сомнительный *Trifolium ambiguum* M. Bieb., мать-и-мачеха *Tussilago farfara* L. и др. Основу травостоя составляют донник лекарственный *Melilotus officinalis* (L.) Pall. (проективное покрытие до 75 %), осока ви- сячая *Carex pendula* Huds. (до 50 %), а также щучка дернистая *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., лютик каппадо- кийский *Ranunculus cappadocicus* Willd., местами отмечен белокопытник ги- бридный *Petasites hybridus* и др. Для сообществ средней степени нарушений обычными являются виды субальпийского высокоотравья, характерные для обедненных и деградированных вариантов субальпийских высокоотравных лу- гов, такие как козлятник восточный *Galega orientalis*, сныть обыкновенная *Aegopodium podagraria*, борщевик жесткий *Heracleum asperum*, мята длинно- листная *Mentha longifolia* (L.) Huds. и др.

*Участок с сильным нарушением.* Фитоценозы, имеющие сильную сте- пень антропогенной нагрузки, расположены в низине и большую часть вегета- ционного периода подтоплены временными водотоками (рис. 29). Эти сооб- щества характеризуются очень вариабельным флористическим составом, всего на площади 100 м<sup>2</sup> отмечено 38 видов сосудистых растений. Из деревьев единично встречаются ольха клейкая *Alnus glutinosa* и ивы белая *Salix alba* и козья *S. caprea*. Кустарниковый ярус не развит, но отдельными куртинами от- мечен подрост ольхи клейкой *Alnus glutinosa* и ивы белой *Salix alba*. Травяни- стый покров неоднородный, состоит из двух подъярусов. Высота верхнего тра- вянистого подъяруса (С1) варьирует от 82 см до 126 см (в среднем – 99,2 см). Он состоит из таких видов как щучка извилистая *Deschampsia cespitosa*, пырей ползучий *Elytrigia repens* (L.) Nevski, хвощ полевой *Equisetum arvense* L. и др. Высота нижнего подъяруса (С3) варьирует от 15 см до 33 см (в среднем – 21,8 см). Его составляют такие виды, как люцерна хмелевидная *Medicago lupulina*

L., клевер сомнительный *Trifolium ambiguum* M. Bieb., мать-и-мачеха *Tussilago farfara* L.



Рис. 29. Участок вырубki с сильным нарушением

Проективное покрытие сообществ изменяется от 40 % до 60 %. Доминирующих видов нет. Обычными видами для этих сообществ являются щучка извилистая *Deschampsia cespitosa* (L.) P. Beauv., лютик ползучий *Ranunculus repens* L., пырей ползучий *Elytrigia repens*, хвощ полевой *Equisetum arvense* и др. Снижение роли видов настоящего субальпийского высокотравья свидетельствует о сильной деградации сообществ вследствие высокой антропогенной нагрузки.

В период 2016–2021 годов 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 м<sup>2</sup>.

Некоторые характеристики растительности, по которым можно судить о различиях площадок на вырубке и в контроле, приведены в таблице 13.

*Участок двухлетней вырубке с сильным нарушением.* Вырубка возрастом 2 года расположена на расстоянии 300 м от десятилетней вырубке. Она представляет собой поляну, зарастающую с краев (рис. 30, 31). Мезорельеф участка характеризуется общим уклоном 3–5 °. На участке отмечен выраженный микрорельеф с неровностями, промоинами, буграми и понижениями. На поверхности почвы отмечено большое количество порубочных растительных остатков и каменистых обломков. В момент описания (конец июня 2021 г.) участок вырубке был окружен высокотравными сообществами.

Таблица 13

Сравнительная характеристика фитоценозов десятилетней вырубке и контрольного участка

Исследуемые участки	Контроль, лес	Слабое нарушение	Среднее нарушение	Сильное нарушение
Тип фитоценоза	лесной	опушечно-лесной	опушечно-лесной	луговой
Ярусность	древесный (А1; А2) кустарниковый (В) травянистый (С)	древесный (А) кустарниковый (В) травянистый (С1–С3)	травянистый (С1 – С3)	травянистый (С1; С3)
Древесный ярус (А)	<i>Abies nordmanniana</i> <i>Fagus orientalis</i> <i>Acer platanoides</i>	<i>Alnus glutinosa</i> <i>Acer platanoides</i>	<i>Acer pseudoplatanus</i> (единично) <i>Salix alba</i> (единично) <i>Alnus glutinosa</i> (подрост)	<i>Alnus glutinosa</i> (подрост) <i>Salix alba</i> (подрост) <i>Salix caprea</i> (подрост)
Кустарниковый ярус (В)	<i>Rubus caucasicus</i> <i>Sambucus nigra</i>	<i>Rubus caucasicus</i> <i>Sambucus nigra</i>	<i>Rubus caucasicus</i>	–
Травянистый ярус (С)	<i>Galium odoratum</i> <i>Festuca regeliana</i> <i>Dryopteris filix-mas</i> <i>Symphytum officinale</i>	<i>Symphytum asperum</i> <i>Petasites hybridus</i> <i>Galega orientalis</i> <i>Cerastium davuricum</i> <i>Oberna multifida</i>	<i>Poa longifolia</i> <i>Symphytum asperum</i> <i>Petasites hybridus</i> и др.	<i>Deschampsia cespitosa</i> <i>Ranunculus repens</i> <i>Scirpus sylvaticus</i>
Высота травостоя, см	10–88	23–160	10–112	15–126
Проективное покрытие травянистого яруса, %	60	100	до 60	40–60
Количество видов, шт.	48	56	39	38



Рис. 30. Участок новой вырубki возрастом 2 года



Рис. 31. Участок новой вырубki, вид сверху, съёмка квадрокоптером

Растительный покров участка характеризуется гетерогенным флористическим составом, на площади 100 м<sup>2</sup> было отмечено 33 вида сосудистых растений. Деревья и кустарники на участке отсутствуют. Травянистый покров таксономически неоднороден, его вертикальная структура двухъярусная. Высота верхнего подъяруса (С1) варьирует от 60 см до 90 см (в среднем – 78,3 см). Он состоит из мелколепестника канадского *Erigeron canadensis*, козлятника восточного *Galega orientalis*, ситника тонкого *Juncus tenuis* Willd. и др. Высота нижнего подъяруса (С3) варьирует от 15 см до 26 см (в среднем – 19,1 см). Его составляют люцерна хмелевидная *Medicago lupulina*, клевер сомнительный *Trifolium ambiguum*, мать-и-мачеха *Tussilago farfara*.

Проективное покрытие травянистого яруса не превышает 25 %. Доминирующих видов нет. Обычными видами для этого сообщества являются лисохвост мышехвостиковый *Alopecurus myosuroides* Huds., мелколепестник канадский *Erigeron canadensis*, клевер сомнительный *Trifolium ambiguum* M. Bieb. и др.

В понижениях, занятых временным водотоком, проективное покрытие травянистого яруса возрастает до 60 %. Там образуются временные сообщества с доминированием влаголюбивых луговых видов: бескильницы гигантской *Puccinellia gigantea* (Grossh.) Grossh., клевера сомнительного *Trifolium ambiguum*, ситника тонкого *Juncus tenuis*.

Таким образом, 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 вырубок. Эти работы продолжаются в течение 15 последних лет (Солдатов и др., 2020а,б; Шхапацев и др., 2019, 2023; Shkharatsev et al., 2023). В задачи исследований входило: оценка экологических условий исследуемых участков, определение биологических параметров почв вырубок в зависимости от возраста и степени антропогенного нарушения при рубках и выявление устойчивости почв разного генезиса к рубке леса. О растительности и почвах исследуемых вырубок можно судить по рисункам 32–53.



Рис. 32. Участок вырубки №1 вблизи Яворовой поляны, фото с БПЛА, август 2021 г.:

B1 - сильное нарушение; B2 - среднее нарушение; B3 - слабое нарушение; B5 – контроль (фото Солдатова В.П.)



Рис. 33. Вырубка №1 около Яворовой поляны, август 2010 г.  
(фото Казеева К.Ш.)

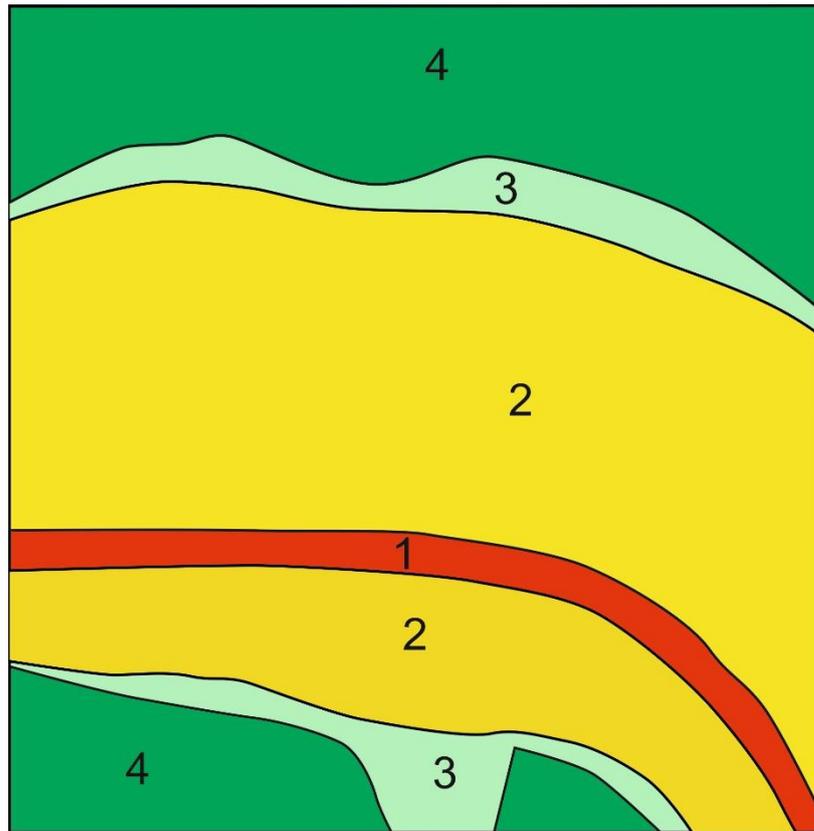


Рис. 34. Схема участка вырубки №1 около Яворовой поляны:  
1 – сильное нарушение, 2 – среднее нарушение, 3 – слабое нарушение,  
4 – контрольный лес (по Тер-Мисакянцу и В.П. Солдатову)



**2010**



**2011**



**2013**



**2015**



**2019**



**2020**

Рис. 35. Восстановительная сукцессия на вырубке №1 (фото Казеева К.Ш. и Шхапацева А.К.)



Рис. 36. Участок вырубki №2 вблизи пос. Гузерибль, фото с БПЛА, август 2021г.: B6 – сильное нарушение; B7 – среднее нарушение; B8 – слабое нарушение (фото В.П. Солдатова)



Рис. 37. Участок вырубki №3 вблизи ст-цы Даховской на высоте 541м, фото с БПЛА, июнь 2021 г.: 1 – повторная вырубка; 2 – вырубка; 3 – контроль, лес (фото В.П. Солдатова)



Рис. 38. Контрольный участок вырубki №1



Рис. 39. Контрольный участок вырубki №2

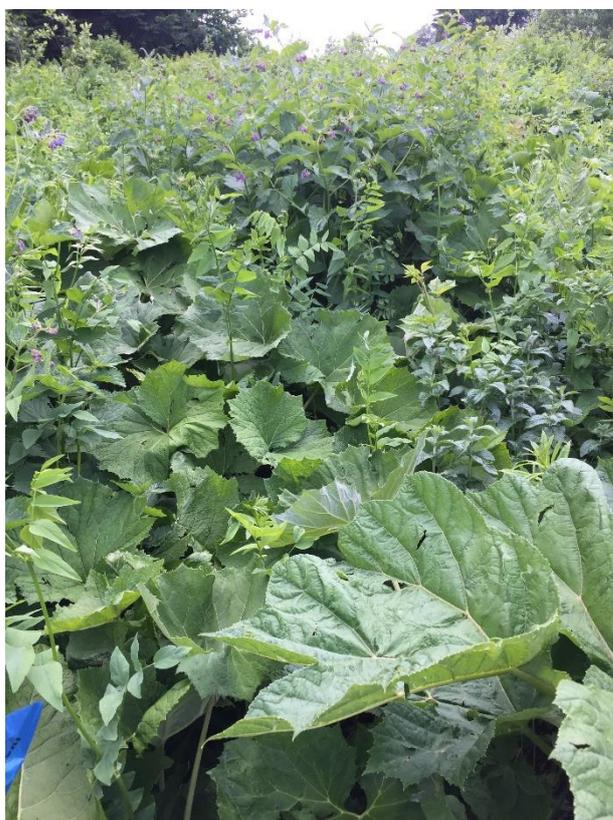


Рис. 40. Участок слабого нарушения вырубki №1



Рис. 41. Участок слабого нарушения вырубki №2



Рис. 42. Участок среднего нарушения вырубki №1



Рис. 43. Участок среднего нарушения вырубki №2



Рис. 44. Участок сильного нарушения вырубki №1



Рис. 45. Участок сильного нарушения вырубki №2

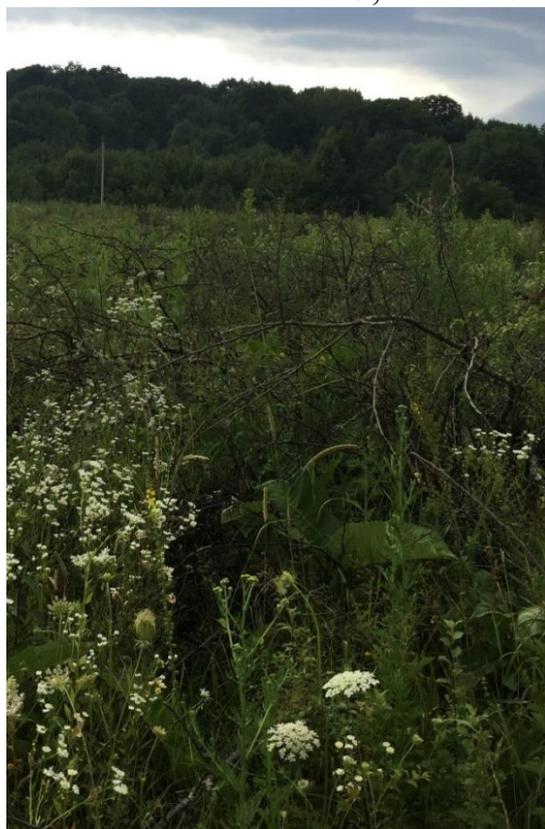


А



В

Рис. 46. Контрольный участок леса (А) и почва под ним (В) рядом с вырубкой №3, июнь 2020 г. (фото К.Ш. Казеева)



А

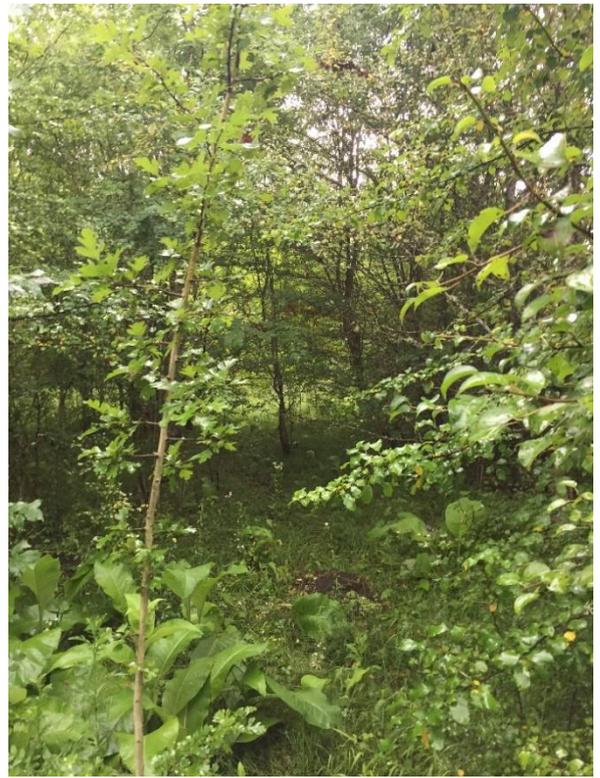


В

Рис. 47. Участок вырубki №3 с повторным сведением подроста деревьев (А) и почва под ним (В), июнь 2020 г. (фото К.Ш. Казеева)



А



В

Рис. 48. Вырубка №3 с подростом деревьев (А) и напочвенным покровом трав (В), июнь 2020 г.

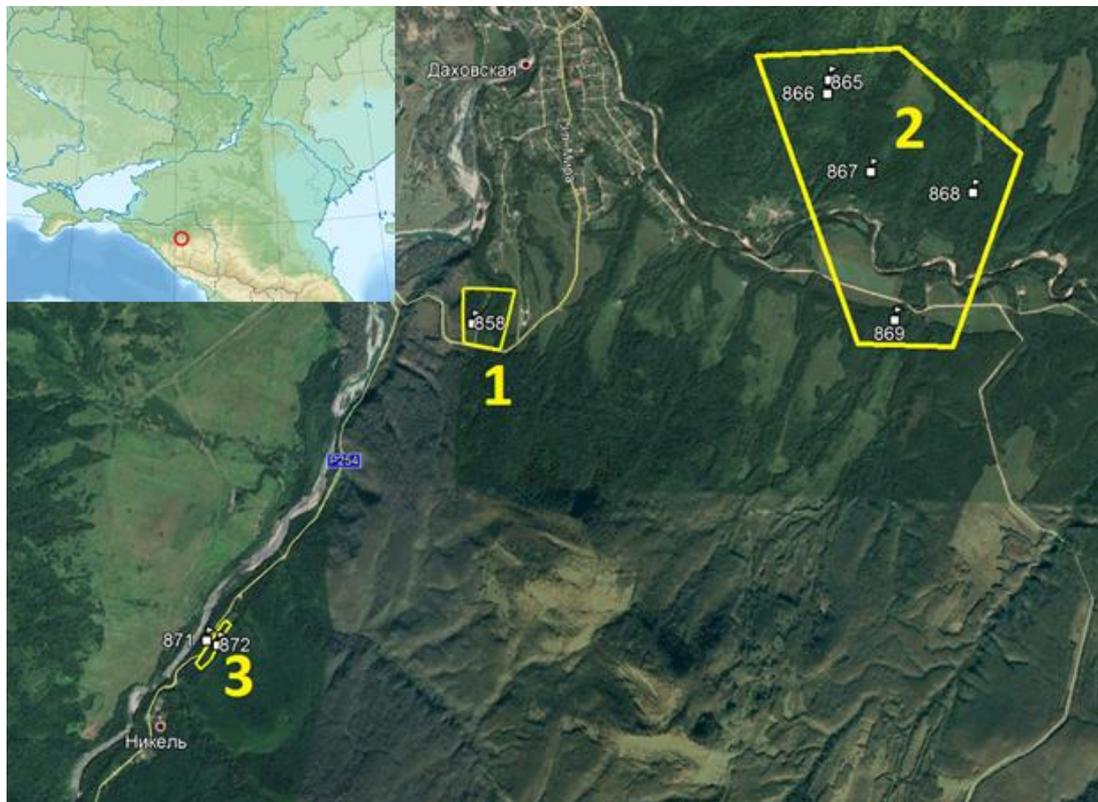


Рис. 49. Картограмма территории с серыми лесными почвами с номерами участков



Рис. 50. Участок Д1. Контрольный лес



Рис. 51. Участок вырубki Д2, возраст 40 лет



Рис. 53. Участок вырубки Д3, возраст 25 лет



Рис. 54. Участок вырубки Д4, возраст 22 годаД4



Рис. 55. Участок вырубki Д5, возраст 10 лет



Рис. 56. Контрольный лес вырубki №2, река Сук



Рис. 57. Вырубка, река Сюк

Сравнительные исследования температурного режима показали значительное различие исследуемых участков в зависимости от климата, определяемого высотой местности над уровнем моря. Горные условия определяют прохладные условия среднегорий в отличие от предгорной равнины с очень жарким летом. Высота местности определяет температурный градиент, который отражается в почвах исследуемых участков (рис. 58). Температура почв в среднегорных условиях на высотах 1200–1650 метров над уровнем моря существенно различна даже для почв одного типа. Низкогорные территории на высоте 540 метров над уровнем моря характеризуются более оптимальными для живых организмов условиями. Поэтому в течение вегетационного сезона верхний слой почвы может прогреваться выше 20 °С. В зимние месяцы не было отмечено длительного промораживания почв на всех исследуемых участках. Однако биологическая активность ограничена низкими температурами на протяжении значительной части года, даже в течение летних месяцев. Это приводит к ограничению биологического разложения и оторфовыванию растительных остатков в подстилке на поверхности почвы образуется лесная подстилка.

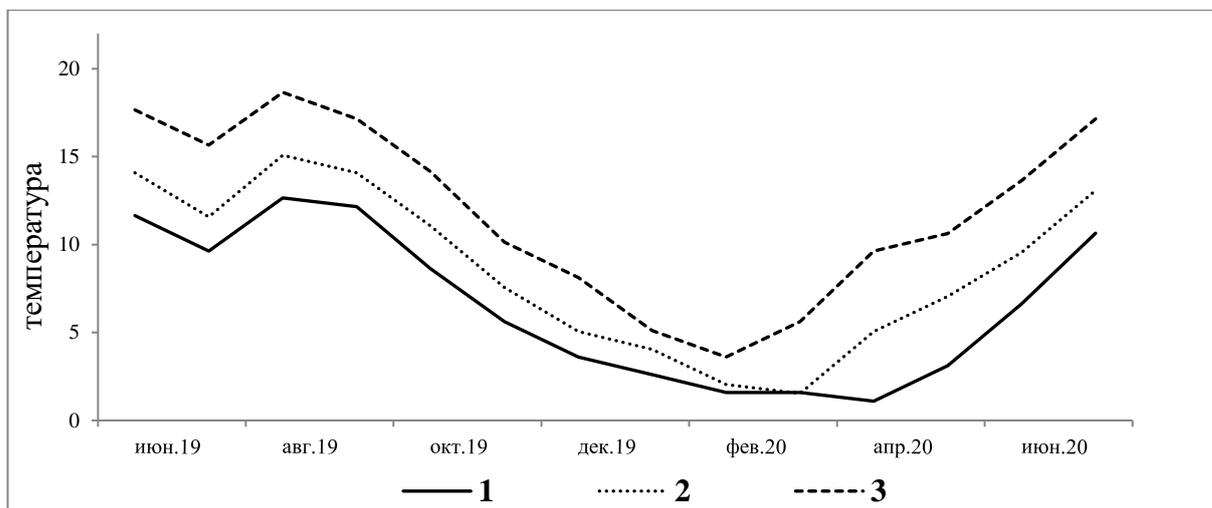


Рис. 58. Сезонное изменение температуры почв Адыгеи на глубине 10 см в зависимости от высоты местности над уровнем моря (2019–2020 гг.):  
1 – 1635 м; 2 – 1200 м; 3 – 541 м

На вырубках может формироваться значительный объем ветоши из остатков высокотравной луговой растительности. Однако подстилка не достигает значительной мощности, как в бореальных лесах, и в середине-конце вегетационного периода практически исчезает в результате биологического разложения и гумификации. Температура почвы на высоте 1635 метров над уровнем моря на разных глубинах значительно меняется в зимние и летние месяцы. В переходные месяцы различия в температуре почвы менее существенны. Большую роль в горах играет снег, который толстым слоем на длительное время укрывает почву, не давая ей промерзнуть надолго, однако служит аккумулятором холода в весенние месяцы, замедляя биологические процессы (Солдатов и др., 2020б; Казеев и др., 2021).

При многолетних исследованиях нескольких ключевых участков на разных по типу почвах и времени, прошедшему после рубок, получено огромное количество фактического материала. Небольшая часть данных нескольких участков, полученных за один год, приведена ниже в таблицах 14–16. Некоторая часть данных приведена в приложениях.

Таблица 14. Некоторые свойства исследуемых почв вырубок (усредненные результаты), июнь 2019 г.

Шифр	Участок/степень нарушения	Влажность, %	Плотность, г/см <sup>3</sup>	Доля ценных агрегатов 10–0,25 мм	Коэффициент структурности	Водопрочность агрегатов, %	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	Содержание карбонатов %	Поглощенные основания	Гидролитическая кислотность	Степень насыщенности, основаниями, %
Вырубка №1, Яворова поляна, дерново-карбонатная выщелоченная почва												
B1	сильное	10	1,2	58	2,3	37	7,0	6,0	2,2	37,6	3,2	92
B2	среднее	27	0,7	59	1,6	89	6,9	6,8	7,4	46,9	2,2	96
B3	слабое	51	0,5	81	6,3	100	6,7	6,6	3,8	43,4	3,1	93
B5	лес, контроль	40	0,5	58	1,6	98	6,9	6,8	2,3	41,8	3,1	93
Вырубка №2, Партизанская поляна, дерново-карбонатная выщелоченная почва												
B6	сильное	15	1,7	34	0,6	41	7,7	7,2	4,9	46,2	1,1	98
B7	среднее	17	1,3	34	0,6	94	7,5	7,1	2,3	32,6	1,5	95
B8	слабое	24	0,7	49	1,8	100	6,5	6,4	4,1	36,1	7,9	82
B9	лес, контроль	20	0,8	68	2,3	100	6,4	6,1	3,7	27,1	3,7	88
Новая вырубка, Партизанская поляна, дерново-карбонатная выщелоченная почва												
B10	свежая вырубка, сильное	8	1,5	19	0,2	48	6,6	6,4	2,7	21,3	2,5	89
Вырубка около станицы Даховской, серая лесостепная почва												
B11	лес, контроль	13	0,9	77	3,6	99	6,2	5,9	1,7	31,6	6,6	83
B12	вырубка повторная	24	0,9	35	0,6	89	6,9	6,4	3,2	40,2	1,2	97
B13	вырубка заросшая	16	0,9	24	0,3	97	6,5	6,0	4,0	28,6	6,6	81

Таблица 15. Биологические свойства почв вырубок (усредненные результаты), июнь 2019 г.

Шифр	Участок/степень нарушения	Содержание гумуса, %	Содержание активного углерода, мг/кг	Активность каталазы, мл O <sub>2</sub> /г/мин	Активность дегидрогеназ, мг ТФФ/10г/24ч	Активность инвертазы мг глюкозы/г/24ч	Активность уреазы, мг NH <sub>3</sub> /10г/24ч	Активность фосфатазы, мг ФФ/10г/ч	Пероксидаза, мг бензохинона/г/30мин	Углерод микробомассы, Смг/г	Численность бактерий, млрд/г
Вырубка №1, Яворова поляна, дерново-карбонатная выщелоченная почва											
B1	сильное	2,9	181	5,9	10,8	0,9	2,3	2,0	7,9	1,1	2,5
B2	среднее	12,2	917	12,4	42,8	4,2	27,3	3,5	10,1	3,6	2,8
B3	слабое	16,9	965	28,0	46,8	7,1	38,3	4,0	5,9	4,7	3,8
B5	лес, контроль	14,5	957	15,4	55,4	7,1	34,6	4,5	3,2	7,0	4,3
Вырубка №2, Партизанская поляна, дерново-карбонатная выщелоченная почва											
B6	сильное	2,8	234	17,5	8,3	0,8	5,3	2,9	23,2	0,7	2,6
B7	среднее	5,3	423	13,2	13,1	3,5	10,2	2,5	11,6	3,1	2,9
B8	слабое	12,5	1039	10,3	16,5	7,4	29,2	4,4	7,0	3,5	3,2
B9	лес, контроль	10,1	1049	9,5	10,1	5,0	21,6	3,2	4,6	4,1	3,6
Новая вырубка, Партизанская поляна, дерново-карбонатная выщелоченная почва											
B10	свежая вырубка, сильное	4,6	411	12,8	3,7	1,7	2,5	2,9	7,1	0,5	2,3
Вырубка около станицы Даховской, серая лесостепная почва											
B11	лес, контроль	11,0	903	7,7	14,6	12,4	36,1	4,5	7,7	3,7	3,6
B12	вырубка повторная	10,5	801	8,7	17,1	10,8	32,6	5,0	4,1	5,1	3,0
B13	вырубка заросшая	8,5	649	10,9	7,8	10,1	9,0	4,0	4,4	3,0	3,3

Таблица 16. Корреляционная матрица исследуемых показателей в почвах вырубок, 2019 г.

показатели	Температура 5 см	Влажность	Плотность	Доля ценных агрегатов	Водопрочность,	pH водный	Электропроводность	Содержание карбонатов	Поглощенные основания	Гидролитическая кислотность	Содержание гумуса	Активный углерод	Каталаза	Дегидрогеназы	Инвертаза	Уреаза	Фосфатаза	Пероксидаза	Углерод микробомассы, Смг/г	Численность бактерий	
Температура 5 см																					
Влажность	-0,79																				
Плотность	0,82	-0,80																			
Доля ценных агрегатов	-0,64	0,71	-0,79																		
Водопрочность	-0,91	0,68	-0,81	0,52																	
pH водный	0,27	-0,26	0,64	-0,40	-0,41																
Электропроводность	-0,82	0,56	-0,68	0,68	0,64	-0,25															
Содержание карбонатов	-0,34	0,14	-0,19	0,19	0,13	0,01	0,76														
Поглощенные основания	-0,40	0,52	-0,26	0,42	0,08	0,42	0,54	0,54													
Гидролитическая кисл-ть	-0,34	0,16	-0,51	0,25	0,40	-0,65	0,26	-0,05	-0,16												
Содержание гумуса	-0,87	0,91	-0,95	0,71	0,83	-0,56	0,69	0,25	0,32	0,42											
Активный углерод	-0,88	0,69	-0,91	0,62	0,88	-0,68	0,75	0,31	0,10	0,55	0,91										
Каталаза	-0,38	0,73	-0,23	0,29	0,27	0,09	0,23	0,13	0,41	-0,25	0,49	0,22									
Дегидрогеназы	-0,68	0,89	-0,77	0,61	0,56	-0,17	0,51	0,24	0,62	0,00	0,82	0,59	0,52								
Инвертаза	-0,88	0,81	-0,90	0,58	0,90	-0,54	0,57	0,05	0,16	0,60	0,93	0,91	0,35	0,66							
Уреаза	-0,92	0,92	-0,94	0,72	0,84	-0,46	0,73	0,28	0,41	0,42	0,99	0,91	0,48	0,83	0,94						
Фосфатаза	-0,78	0,76	-0,77	0,39	0,69	-0,46	0,54	0,22	0,30	0,55	0,87	0,83	0,42	0,68	0,89	0,88					
Пероксидаза	0,31	-0,39	0,72	-0,46	-0,53	0,83	-0,07	0,36	0,38	-0,48	-0,59	-0,61	0,11	-0,38	-0,62	-0,51	-0,40				
Углерод микробомассы	-0,86	0,81	-0,87	0,63	0,85	-0,33	0,52	-0,02	0,28	0,26	0,86	0,80	0,30	0,81	0,87	0,88	0,75	-0,59			
Численность бактерий	-0,83	0,84	-0,80	0,66	0,76	-0,32	0,45	-0,14	0,25	0,28	0,82	0,75	0,41	0,72	0,85	0,85	0,75	-0,53	0,95		
ИПБС	-0,86	0,60	-0,51	0,32	0,73	-0,05	0,72	0,42	0,40	0,37	0,65	0,69	0,47	0,39	0,72	0,72	0,74	0,07	0,56	0,58	
Дыхание	0,34	-0,68	0,41	-0,18	0,04	0,44	-0,63	-0,70	-0,36	-0,78	-0,54	-0,43	0,16	-0,41	-0,48	-0,60	-0,92	0,06	0,04	-0,10	

Достоверные значения при  $p < 0,05$  выделены цветом (n=12)

В результате обобщения полученных в 2019 г. данных (табл. 14, 15, приложения) 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  $-0,92$ . Исключением являются активность двух оксидаз (каталазы и пероксидазы), а также интенсивность дыхания почв. 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. В результате этого профильное распределение содержания гумуса и бактерий и ферментативной активности практически не изменяется, что значительно отличает эти почвы от типично лесного резко убывающего вниз по профилю распределения значений этих показателей (Вальков и др., 1996; Казеев и др., 1998, 2002, 2004). Фоновая почва контрольной площадки здесь обладает высоким уровнем активности почвенных ферментов (каталазы, фосфатазы и инвертазы). При нарушении почвенно-растительного покрова в результате рубки и трелевки леса отмечено резкое уменьшение биологической активности этих почв. Таковую же закономерность отметили и на

участке №2. Здесь содержание гумуса снижается с 9,0 % в контрольной почве до 4,7 % в смытой почве вырубки. Кроме того, на участке №2 снижаются степень насыщенности почвы основаниями и значения рН. 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.

Значения ИПБС в почвах участков №1 и №2 максимальны на контрольных площадках (рис. 59). Сведение леса привело к уменьшению значений интегрального показателя. На участке №1 выявлено постепенное увеличение значений ИПБС по мере повышения возраста с момента сведения леса. Меньшая разница ИПБС отмечена для почвы с 40-летним возрастом, максимальное расхождение выявлено для почвы территории с 10–12-летним возрастом. На участке №3 произошло почти двукратное снижение значений ИПБС в почве вырубки по сравнению с контрольным участком леса.

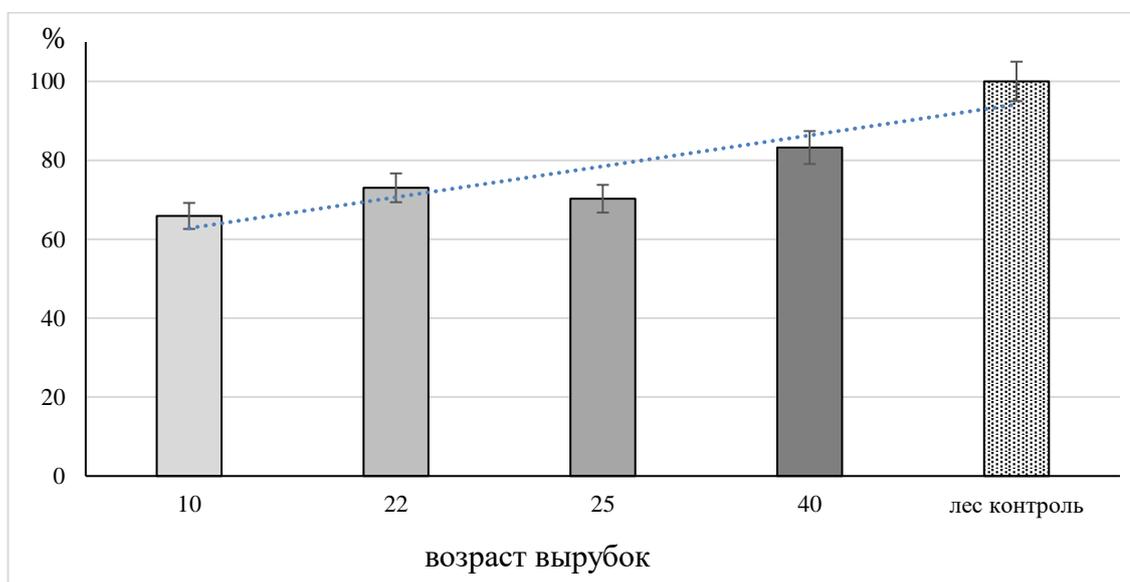


Рис. 59. Интегральный показатель биологической активности низкогорных послелесных почв на участках №1 и №2 (подписи столбцов соответствуют возрасту вырубок)

На участке №3 контрольная серая лесостепная почва обладает типичными для почв этого типа значениями содержания гумуса (7,3 %) и нейтральными значениями рН (7,3). Физические свойства (плотность, структурное состояние, сопротивление пенетрации) и реакция среды практически неотличимы на этом участке. Необходимо отметить, что слитые почвы обладают своеобразными физическими свойствами (Умарова и др., . Интегрированная оценка показала относительно незначительные различия серых лесостепных почв разной степени повреждения по сравнению с дерново-карбонатными почвами (Казеев и др., 2021). В 2019 г. наибольшее отклонение от контрольных значений выявлено для почв заросшей древесно-кустарниковой растительностью вырубki. Здесь ИПБС на 23 % меньше, чем в почве контрольного участка леса (см. рис. 4). Повторное сведение подростa на участке этой вырубki привело к выравниванию значений интегрального показателя с ИПБС контрольной почвы. Причиной такого результата является увеличение количества солнечной радиации, поступающей в условиях отсутствия древесной растительности на участке вырубki. Это способствует повышению освещенности, температуры поверхности, интенсивному развитию дернового процесса после развития напочвенного покрова из луговой злаково-разнотравной растительности. Эти процессы отражаются и на почвенных свойствах, которые также трансформируются в сторону повышения содержания свободных карбонатов, увеличения рН почвенного раствора, плотности и влажности почв. Биологические свойства серых лесостепных почв на вырубках изменяются разнонаправленно. Так согласно исследованиям В.П. Солдатова с соавторами (2020) содержание общего и активного углерода (общего гумуса и лабильного гумуса) 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 (Шхапацев и др., 2023).

В 2020 году почвы вырубок еще больше выравниваются по интегральному показателю с почвой контрольного участка леса. Почва на участке повторной рубки имеет значения ИПБС выше контрольных значений (рис. 60). Еще через год в 2021 году увеличение контрольных значений ИПБС составило 44 % на участке повторной рубки и 14 % – на участке заросшей фруктарником вырубки. Причины изменения биологической активности почв, как уже упоминали выше, связаны с повышенной продуктивностью травянистой растительности восстановительной сукцессии на участках, лишенных фоновых мертвопокровных лесов с сомкнутыми кронами.

Биологическая активность дерново-карбонатных почв среднегорий Адыгеи на участке №4 (высота 1635 м) была значительно снижена на нарушенных сплошной рубкой участках даже через 10 лет после сведения леса.

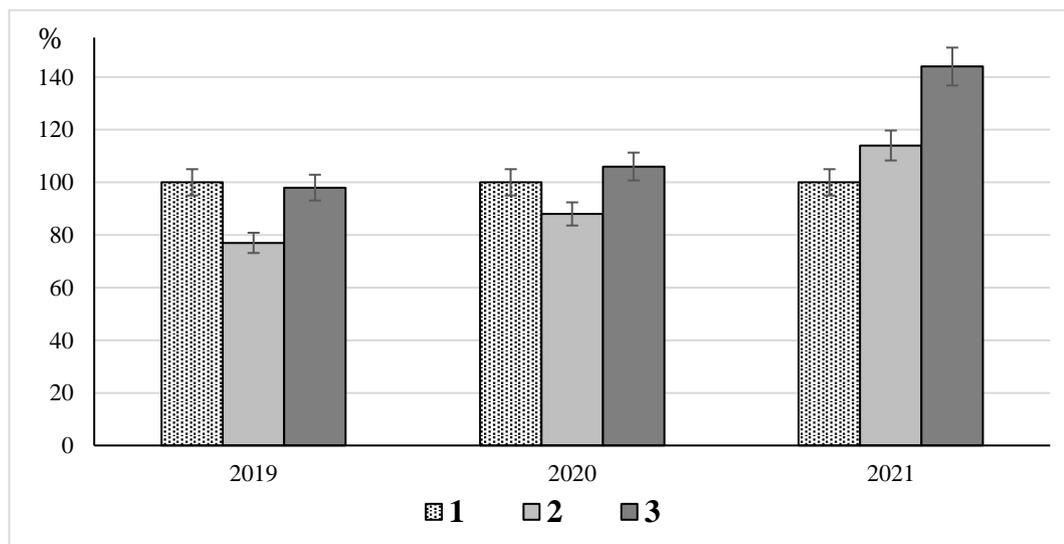


Рис. 60. Интегральный показатель биологической активности серых лесостепных почв на участке №3, 2019–2021 гг.: 1 – контрольный лес; 2 – вырубка; 3 – вырубка с повторным сведением подроста

Сразу после антропогенного воздействия в 2010 году 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 (Поляков и др., 2010). Деградация биологической активности была связана с механическим нарушением поверхности почвы при работе

бульдозеров, погрузчиков и другой тяжелой техники при рубке, трелевке 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 (рис. 61).

На участках со средней и сильной степенью нарушения произошло значительное снижение интегрального показателя. На участках со слабым нарушением почвы с опущенным 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 %.

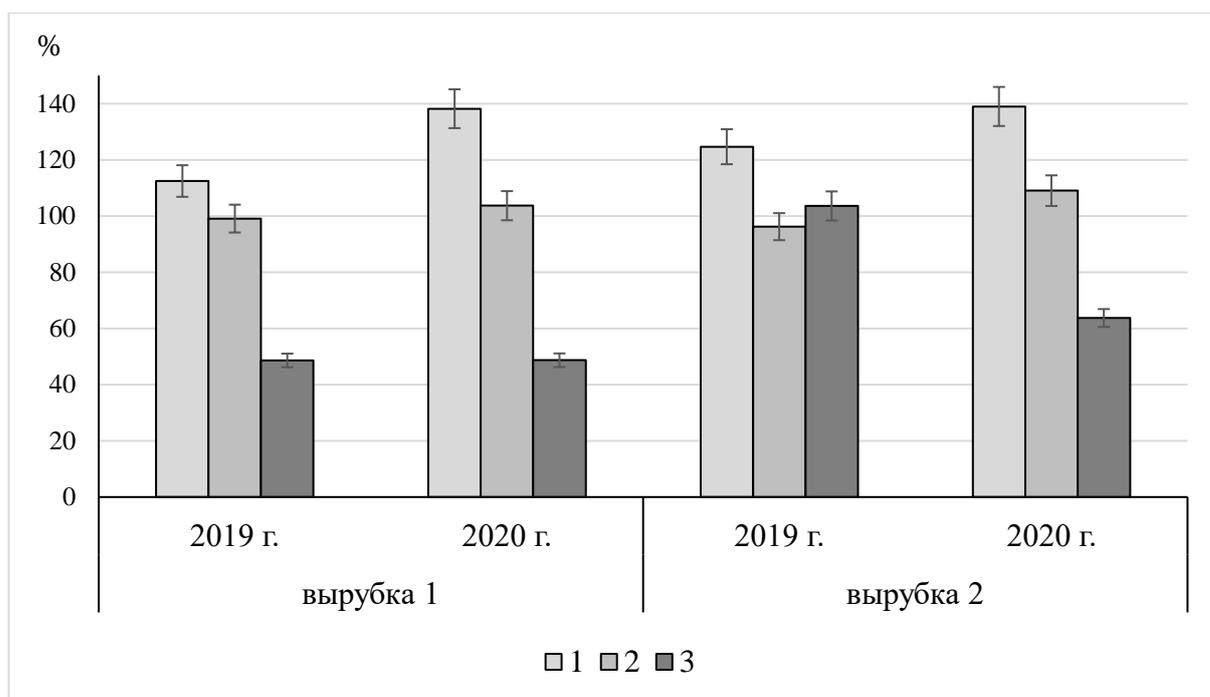


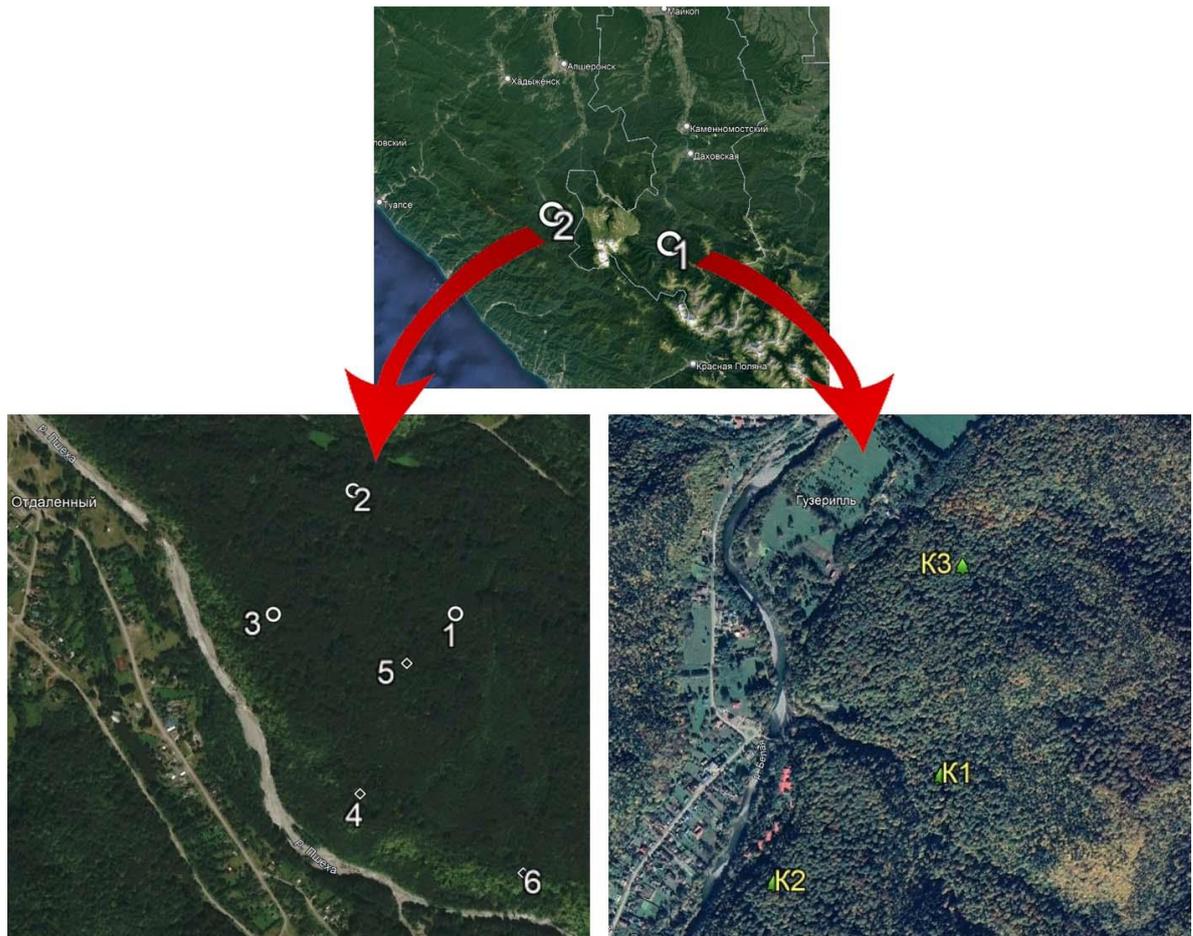
Рис. 61. ИПБС дерново-карбонатных почв среднегорий Адыгеи разной степени нарушения: 1 – слабое; 2 – среднее; 3 – сильное

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

Старовозрастные самозарастающие вырубки были исследованы в Апшеронском районе Краснодарского края. В настоящую работу вошли результаты исследований, проведенных в 2019–2021 годах. (Шхапацев и др., 2023). Данная территория относится к Западной горной провинции Большого Кавказа. Среднегодовое количество осадков составляет 1200 мм, а среднегодовая температура +10,3 С. Высота над уровнем моря 500–700 метров. Контрольные участки леса расположены в Кавказском биосферном заповеднике около впадения реки Молчепа в реку Белая (пос. Гузерибль, Республика Адыгея). Здесь распространены старовозрастные пихто-буковые (*Fagus orientalis* и *Abies nordmanniana*) мертвопокровные леса в терминальной стадии (см. рис. 14). Вырубки возрастом 40–50 и 90–110 лет расположены в 35 км от контрольных участков леса в сходных условиях климата, рельефа, высоты местности и почвообразующих пород около пос. Отдаленный (Апшеронский район Краснодарского края) в нижней части склона р. Пшеха (левый приток р. Белая) (рис. 62). Различия между участками состоят, прежде всего, в характере растительности. На старовозрастных вырубках отмечены поздние стадии восстановительных сукцессий после сплошных рубок леса (см. табл. 10). Мезорельеф всех исследуемых участков характеризуется нижними частями пологих склонов (от 1–2 до 6–8 °). В почвенном покрове исследуемой территории доминируют зональные почвы среднегорий Кавказа – буроземы на элювии глинистых сланцев. Буроземы горных территорий Кавказа и Крыма подробно описаны в ряде работ (Зонн, 1950; Вальков и др., 2008б; Костенко, 2014).

На фоновой территории (контроль) и каждой вырубке было исследовано по три участка на расстоянии 200–500 м друг от друга на которых отобрано по три почвенных образца почв случайно на расстоянии нескольких метров друг от друга (рис. 63, 64). Глубина отбора образцов составляла 0–10 см, в нескольких случаях отбор проводили по всему почвенному профилю.



Участки вырубок, пос. Отдаленный,  
Краснодарский край:  
№1–3 возраст 40–50 лет;  
№4–6 возраст 90–110 лет

Контрольные участки Кавказского  
биосферного заповедника,  
пос. Гузерибль, Адыгея

Рис. 62. Исследуемые участки старовозрастных вырубок



Рис. 63. Осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес, 40–50 лет после рубки



Рис. 64. Буково-пихтово-грабовый лес, 90–110 лет после рубки

Исследуемые буроземы обладали практически идентичным рН в контрольном лесу Кавказского заповедника и старовозрастных вырубках Апшеронского района Краснодарского края (водный 5,6–5,7; солевой 4,1–4,3). Влажность буроземов разных территорий была на одном высоком уровне 28–33 % вследствие дождливого периода в летние месяцы во время исследований. Температурные характеристики в верхнем слое почвы +16–20 °С также благоприятны для протекания биологических процессов. 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., 2016а,б). 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 CO<sub>2</sub> из почв на 28 % ниже, чем на участках более старого возраста (рис. 65).

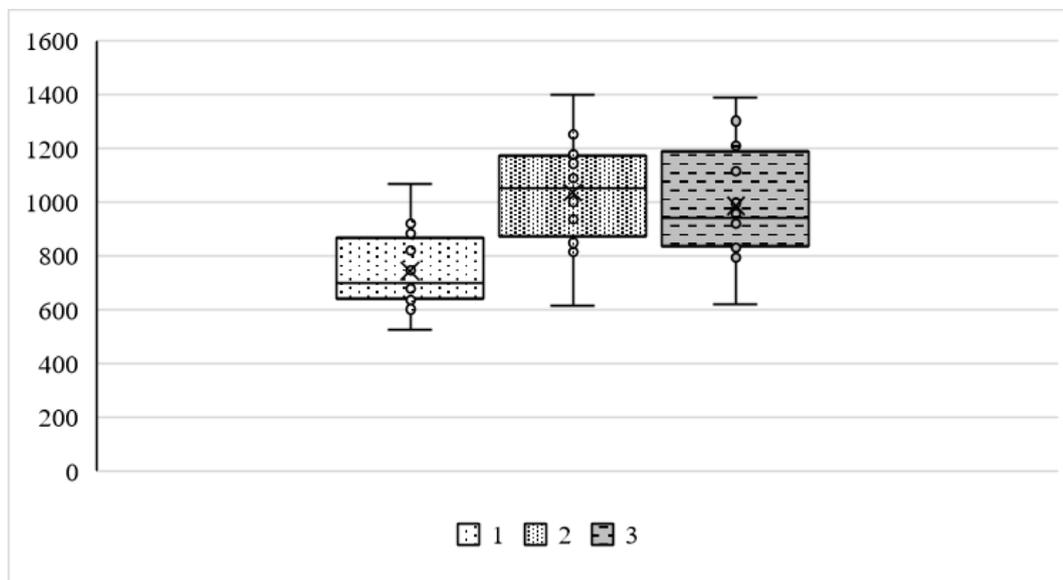


Рис. 65. Интенсивность эмиссии углекислого газа буроземами, мг CO<sub>2</sub>:  
1 – вырубка 40–50 лет; 2 – вырубка 90–110 лет; 3 – лес контрольный

Эмиссия углекислого газа из почв контрольного участка леса практически равна таковой на участке вырубке возрастом 90–110 лет. Содержание гумуса в поверхностном слое исследуемых буроземов по оценочной шкале (Орлов и др., 2004) среднее, что характерно для этих почв (Вальков и др., 2008б). Этот горизонт, обогащенный гумусом, очень маломощный. Характер профильного распределения содержания гумуса резко убывающий, типичный для большинства лесных почв (рис. 66А). Уже на глубине 25 см содержание гумуса снижается от поверхности с 7,4 до 2,0 %. Это связано с характером поступления органических остатков с опадом на поверхность почвы. На вырубке возрастом 40–50 лет показатели гумусного состояния практически одинаковы с почвой контрольного участка (рис. 66, 67). 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%.

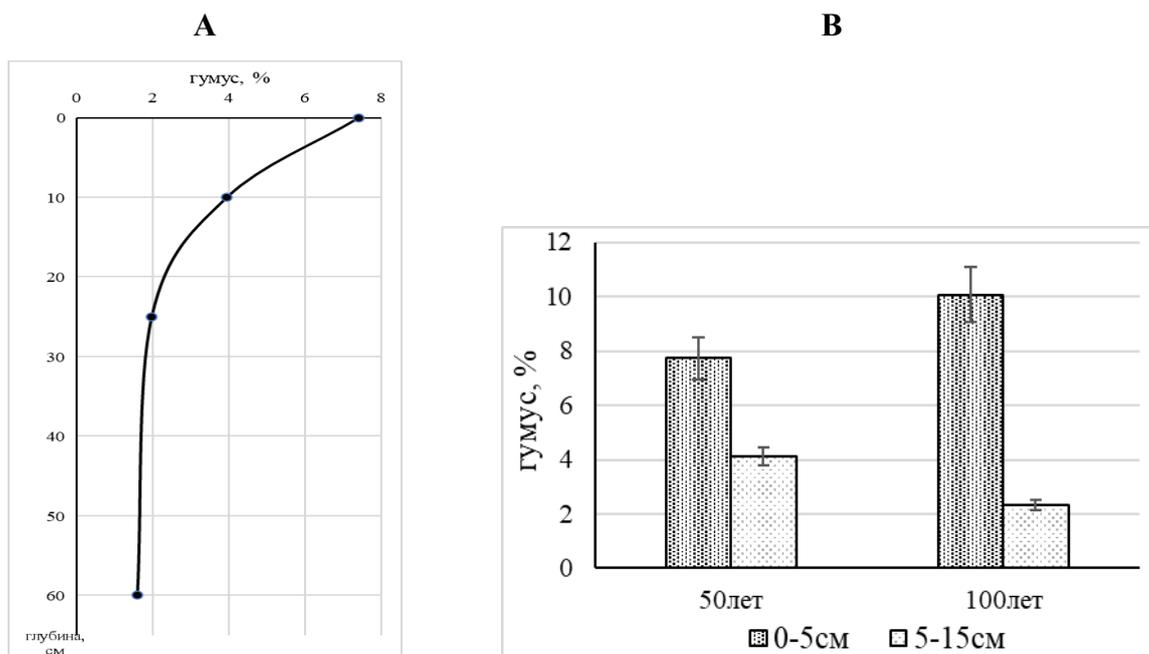


Рис. 66. Профильное распределение содержания гумуса в буроземе с глубиной в контрольном лесу (А) и снижение содержания гумуса в буроземах вырубках с глубиной (В)

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 вырубки, 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, состоящего из лабильной части органического вещества почв (рис. 67).

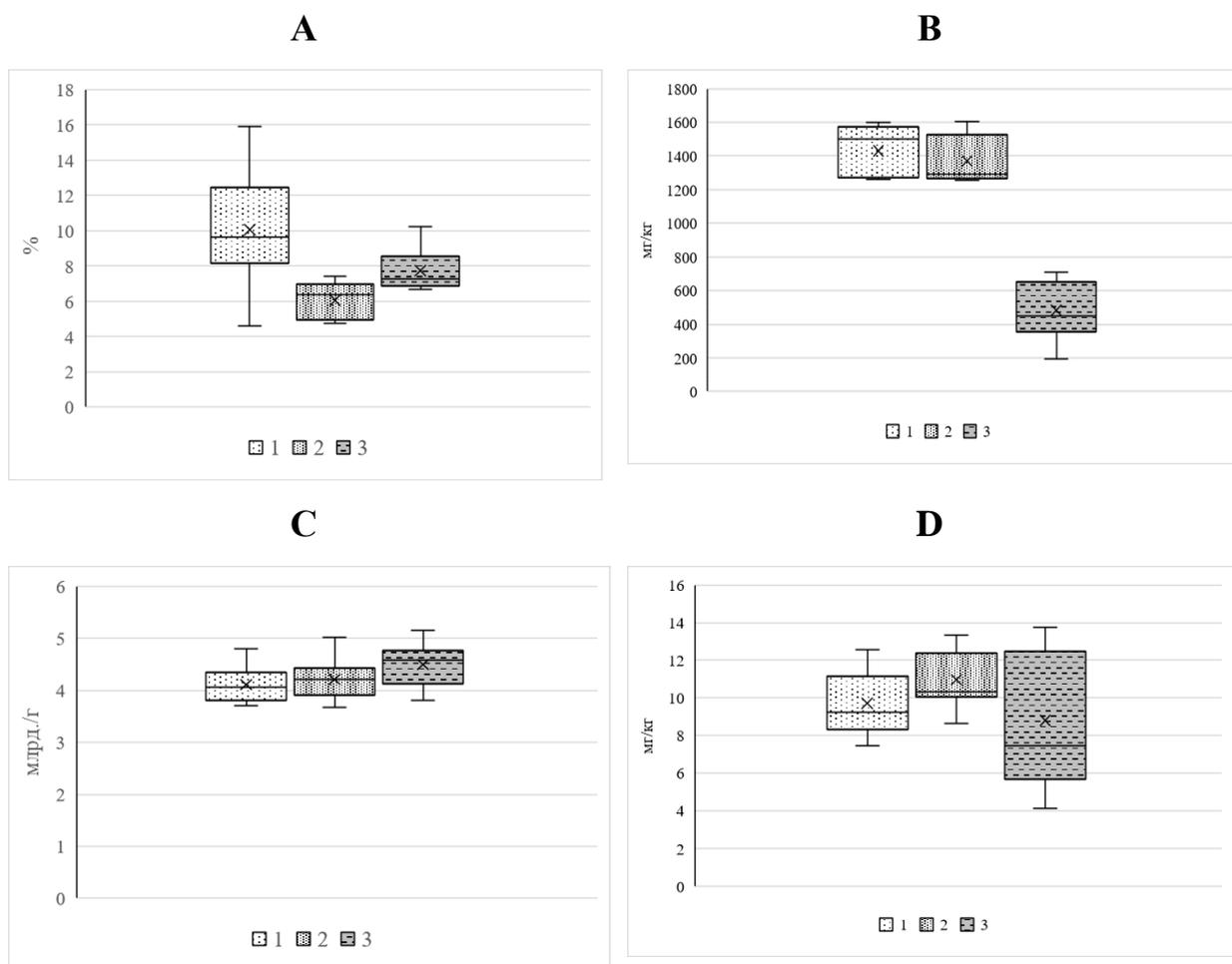


Рис. 67. Содержание гумуса –А, активного углерода – В, бактерий – С и микробной биомассы, D – в буроземах; обозначение почв как на рис. 61

Следует отметить, что в работе исследованы минеральные горизонты почв без горизонта лесной подстилки, которая в исследуемых почвах хоть 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.

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. 67 С). 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 характера 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. 67 D).

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. 68).

Так активность каталазы в почвах старовозрастных вырубок 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.

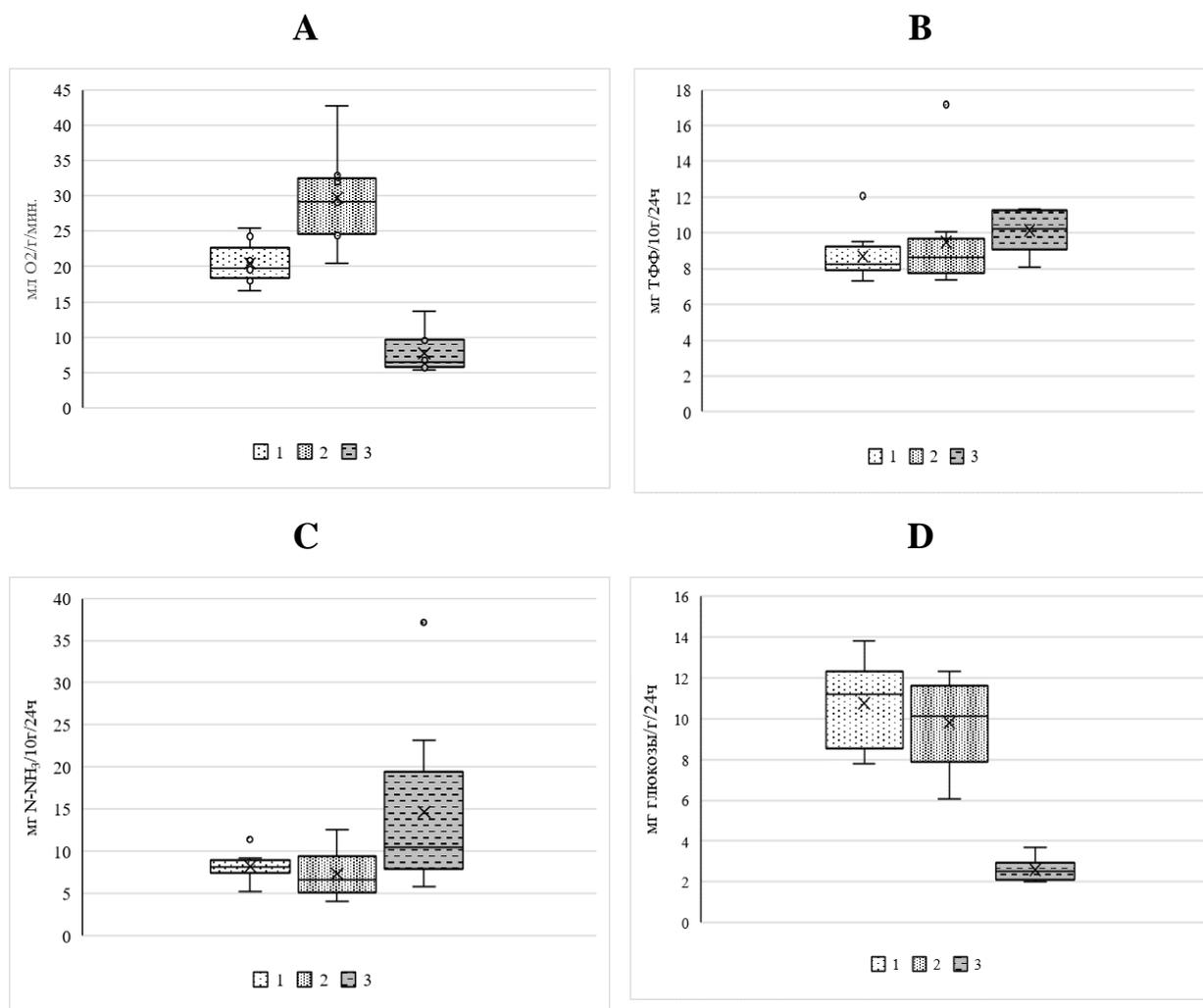


Рис. 68. Ферментативная активность буроземов вырубок, обозначение почв как на рис. 61:

А – каталаза; В – дегидрогеназы; С – уреаза; Д – инвертаза

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., 2004а; Даденко и др., 2014; Азаренко и др., 2020), однако показывает высокую чувствительность при оценке степени деградации лесных почв (Казеев и др., 2012б, 2021; Солдатов и др., 2020а). 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 % – на 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 так же максимальна была в контрольном лесу и значительно (почти в 2 раза) превышала значения этого фермента на вырубках. Инвертаза, напротив, в контрольном лесу обладала почти в 4 раза меньшей активностью, чем на вырубках. Активность фосфатазы также почти в 2 раза меньше в контрольном лесу по сравнению со старовозрастными вырубками. 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  $R=0,39$ . Удивляет отсутствие связи содержания гумуса с содержанием активного углерода ( $R=0,22$ ) и активностью инвертазы ( $R=0,17$ ). Эти два показателя обычно тесно связаны с содержанием гумуса в почве (Казеев и др., 2004а, 2016, 2020б; 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 ( $R=0,56$ ). 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 ( $R=0,60$ ) 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 содержанием обменного аммония и вовсе 0,08. Об отсутствии связи и даже о возможном подавлении активности ферментов вследствие 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 9 индивидуальных точек отбора по 9 показателям (численность бактерий, микробная биомасса, каталаза, дегидрогеназы, инвертаза, уреазы, фосфатаза, содержание гумуса и активного углерода), несмотря на значительные отклонения отдельных параметров (рис. 69), показала более высокую биологическую активность почв на старовозрастных вырубках по сравнению с фоновыми участками леса. Различия в значениях ИПБС почв вырубков разного возраста практически отсутствуют, в то время как контрольные почвы по сравнению с ними на 23 % менее активны (рис. 70). 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 вырубков уже в первые годы после сведения леса (Казеев и др., 2012б, 2021; Солдатов и др., 2020а,б).

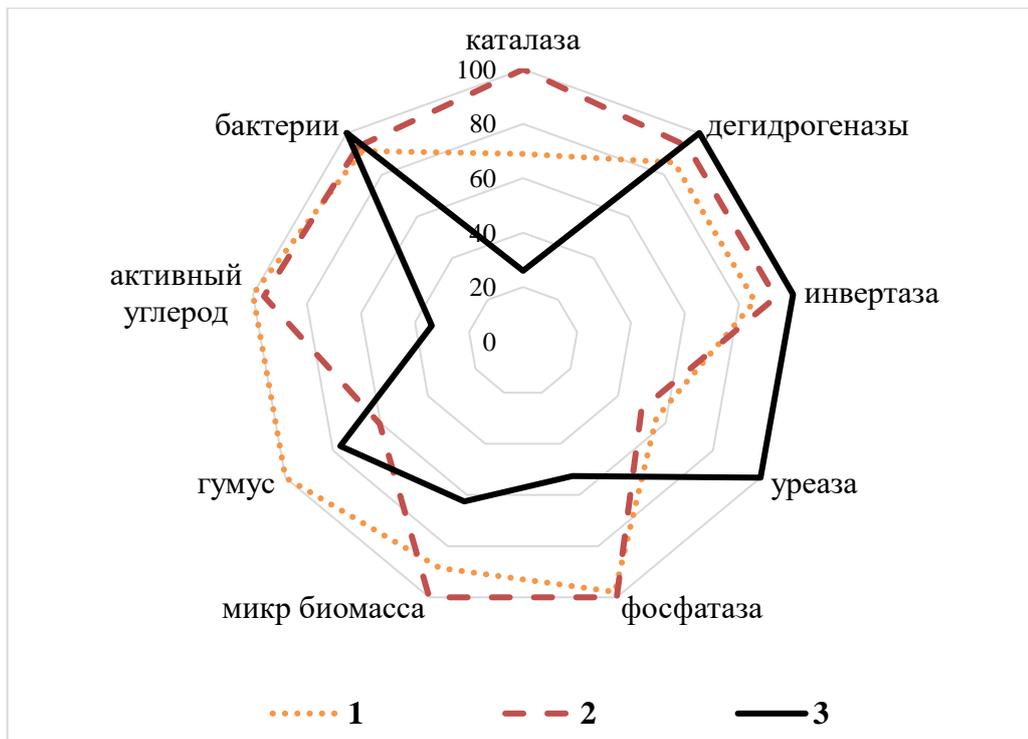


Рис. 69. Биологическая активность в буроземах; обозначения в легенде как на рис. 61

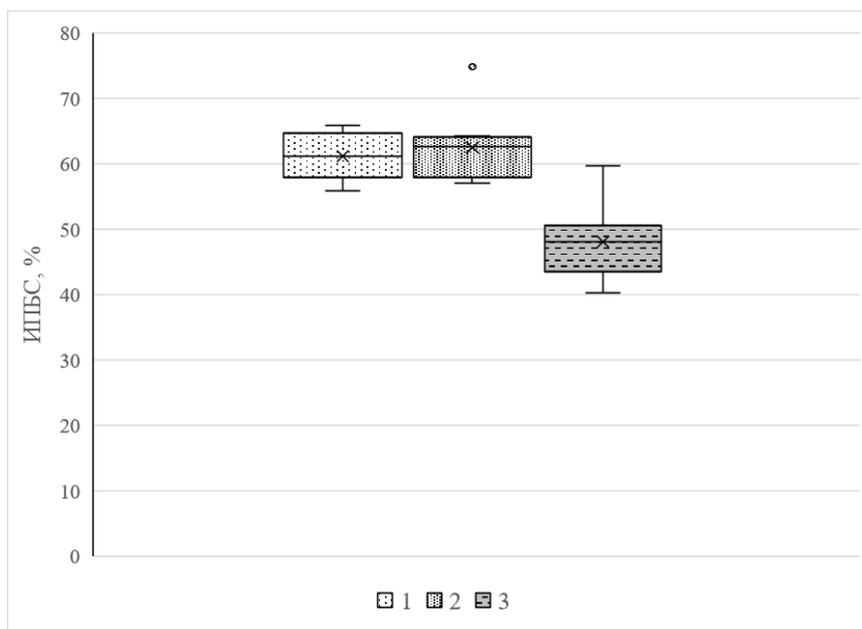


Рис. 70. ИПБС буроземов

## 8 ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ КОРИЧНЕВЫХ ПОСЛЕЛЕСНЫХ ПОЧВ СУХИХ СУБТРОПИКОВ

Ксерофитные леса и редколесья локально распространены на Черноморском побережье Крыма и Кавказа (рис. 71). Распространенные здесь коричневые почвы являются редкими для России почвами сухих субтропиков (рис. 72).

Исследования экологического состояния почв вырубки в заповеднике «Утриш» необходимы для оценки последствий сведения леса в условиях сухих субтропиков. Они могут быть полезными для определения скорости восстановления биоты и биологической активности на нарушенной сплошной рубкой территории ксерофитных грабинников и дубово-грабовых лесов. Рубка леса в 70-е годы прошлого столетия затронула значительную часть заповедника (Государственный природный заповедник «Утриш», 2013). Проводимые исследования нарушенных послелесных экосистем и почвенного покрова позволят оценить устойчивость коричневых почв к рубкам, пожарам, рекреационному повреждению и другим деградиционным воздействиям. Определение направлений и закономерностей влияния сукцессионных изменений на почвенно-растительный покров позволит разработать мероприятия по ускоренному восстановлению деградированных почв Черноморского побережья Кавказа и Крыма. Всё это было основными задачами мониторинговых наблюдений на вырубке, расположенной в непосредственной близости от Сухого Лимана. Мониторинговая площадка здесь была заложена в 2015 году. Объектом исследования являются три участка горных склонов над урочищем Сухой Лиман заповедника «Утриш», с высотой 310–316 метров над уровнем моря. Рубка леса несколько десятилетий назад была повсеместной на всей территории заповедника (Атлас..., 2013). Выбранные участки были выделены по степени нарушения растительного покрова (рис. 73). Первый участок представляет собой поляну с травянистой растительностью высотой 0,5 м. В качестве второго участка была выбрана зарастающая после вырубки территория 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 (рис. 73, 74).



Рис. 71. Ксерофитные леса и редколесья заповедника «Утриш»



контрольный лес



вырубка

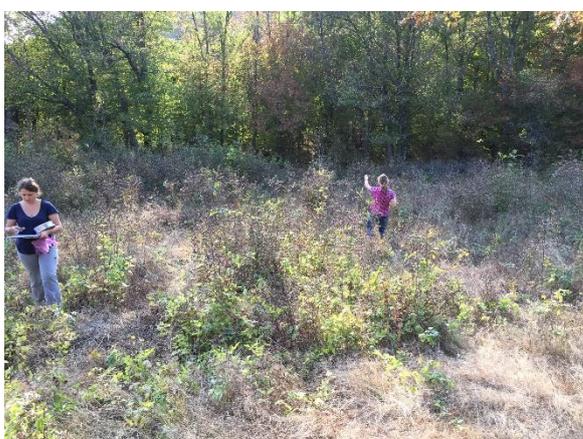
Рис. 72. Коричневые почвы исследуемых участков в заповеднике «Утриш»



Контроль, 2015



Контроль, 2019



Вырубка, поляна, 2015



Вырубка, поляна, 2019



Вырубка с подростом деревьев, 2015



Вырубка с подростом деревьев,  
2019

Рис. 73. Самозарастающая вырубка в ксерофитном лесу заповедника «Утриш»



Рис. 74. Картограмма мониторинговой площадки №2. М = 1 : 250

Легенда почвенной карты (Казеев и др., 2015):

1. Сочетание коричневой выщелоченной слабокаменистой среднесуглинистой (75 %) и коричневой выщелоченной каменистой маломощной легкосуглинистой (25 %).
2. Коричневая выщелоченная маломощная среднесуглинистая.
3. Коричневая дерновая выщелоченная каменистая среднесуглинистая.

Динамика температуры в поверхностном слое (на глубине 10 см) коричневой почвы исследуемого участка в 2015–2016 годах, определенная с помощью температурных логгеров, отражает господство положительных температур (рис. 75). Относительно низкие температуры (ниже +5 °С) отмечаются с ноября по март. Отрицательные температуры отмечены в зимние месяцы с локальными потеплениями до +2–5 °С в декабре и феврале. В середине апреля температура почвы достигает значений, необходимых для интенсивного протекания биологических процессов. С мая по октябрь температура почвы не опускается ниже +20 °С. Аналогичные результаты отмечены и в другие годы на территории заповедника «Утриш» (Казеев и др., 2015г, 2016в). Среднегодовая температура поверхностного слоя коричневой почвы составляет около 11 °С, промерзания почвы не отмечено. Это свидетельствует о возможной высокой интенсивности протекания биологических процессов на протяжении большей части года. Однако летом и осенью бывают длительные сухие периоды, которые тормозят биологические процессы в почве.

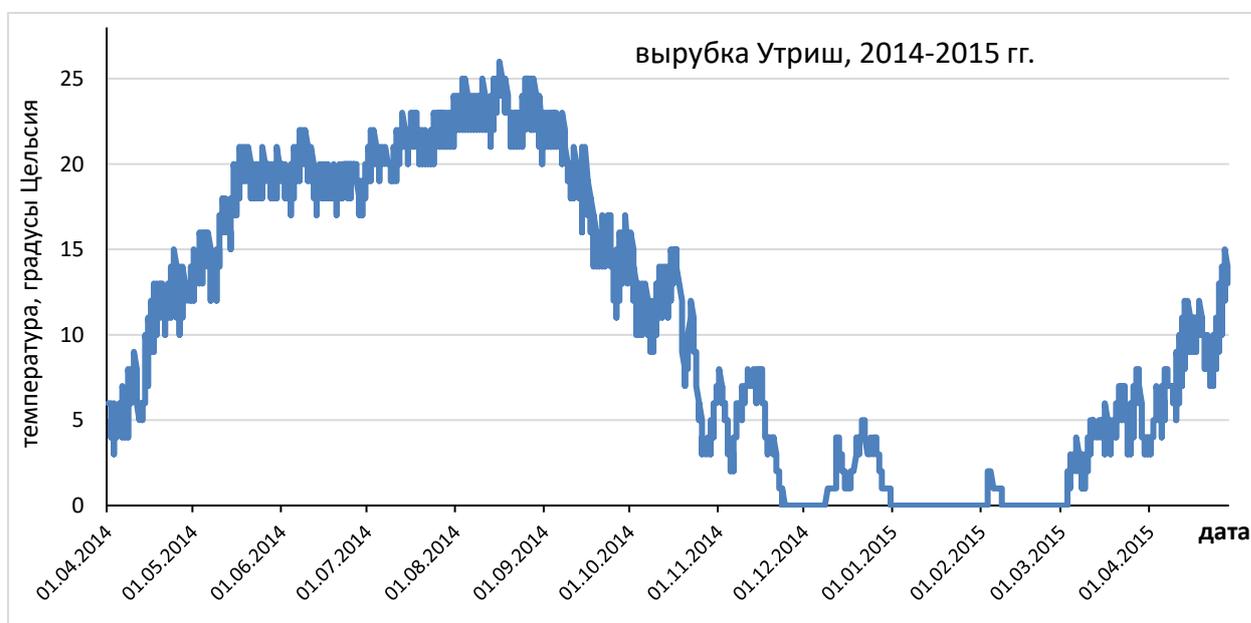


Рис. 75. Динамика температуры коричневой почвы вырубki на глубине 10 см

Почва на фоновой территории леса диагностирована как коричневая выщелоченная слабокаменистая суглинистая. Эколого-биологические пара-

метры почв ключевого участка приведены ниже в таблицах и рисунках. Реакция почвенной среды в поверхностных горизонтах близка к нейтральным значениям (табл. 17), что характерно для коричневых почв и отличает их от буроземов.

Таблица 17

Свойства почв на вырубке у Сухого Лимана, 2015 г.  
(данные по Казеев и др., 2016б)

№ разреза	Растительность	Почва	Глубина, см	pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>KCl</sub>	Гранулометрический состав
241	Грабово-ясеневый лес	Коричневая выщелоченная каменистая	0-10	7,1	6,3	среднесуглинистый
			15-25	7,1	5,9	тяжелосуглинистый
242		Коричневая выщелоченная каменистая	0-10	6,8	6,1	среднесуглинистый
243		Коричневая выщелоченная каменистая	0-10	7,0	6,1	среднесуглинистый
244	Кустарник	Коричневая выщелоченная маломощная	0-10	7,2	5,4	среднесуглинистый
245	Грабово-ясеневый лес	Коричневая выщелоченная каменистая	0-10	6,9	6,2	среднесуглинистый
			15-25	6,5	6,1	среднесуглинистый
246	Грабово-ясеневый лес	Коричневая выщелоченная каменистая маломощная	0-10	7,0	6,2	легкосуглинистый
247	Травянистая растительность	Коричневая выщелоченная каменистая	0-10	6,8	5,8	среднесуглинистый
248	Кустарник	Коричневая выщелоченная каменистая	0-10	6,8	5,9	среднесуглинистый
249	Кустарник, подрост ясеня	Коричневая выщелоченная слабокаменистая	0-10	6,6	5,6	тяжелосуглинистый
			15-25	6,6	5,5	среднесуглинистый
250	Травянистая растительность	Коричневая выщелоченная слабокаменистая	0-10	7,0	6,0	среднесуглинистый
			15-25	7,0	5,9	тяжелосуглинистый

Различия в значениях pH в разных разрезах и прикопках несущественны. Поглотительная способность в почвах в основном высокая или выше средней для поверхностных горизонтов. Емкость катионного обмена имеет более высокие значения в верхних горизонтах и максимальна в лесу – 43 ммоль/кг (Ка-

зеев и др., 2015г). Коричневые почвы относятся к сиаллитным и обладают однородным валовым химическим составом на всей территории заповедника «Утриш» (Казеев и др., 2015г, 2016б). Основными химическими элементами, имеющими наибольшую концентрацию в коричневой почве, являются кремний, алюминий и железо (табл. 18, 19).

Таблица 18

Валовой состав коричневых почв Сухого Лимана, 2015г.  
(по Казееву и др., 2016б)

Участок	SiO <sub>2</sub> , %		Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %		Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , %		CaO, %		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %		MnO, мг/кг	
	М	м	М	м	М	м	М	м	М	м	М	м
Грабово-ясеневый лес	73,7	1,0	6,5	0,3	4,0	0,15	1,2	0,07	0,19	0,01	1727,4	132,5
Вырубка, подрост ясеня	79,8	0,9	6,6	0,2	3,4	0,17	0,4	0,11	0,11	0,01	964,0	163,0
Вырубка, поляна	78,6	0,1	6,8	0,5	3,5	0,13	1,2	0,07	0,10	0,04	1217,1	228,0

Таблица 19

Валовой состав коричневых почв вырубки Сухого Лимана, 2019г.

Участок	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	MnO	Zn	Ni	Cu	Pb
	%					мг/кг				
Грабово-ясеневый лес	75,3	7,0	4,0	0,94	0,18	1641,9	86,6	49,0	40,4	20,2
Вырубка, подрост ясеня	79,2	6,4	3,3	0,58	0,13	1123,9	63,0	29,8	22,9	15,5
Вырубка, поляна	78,1	6,5	3,2	0,59	0,13	949,2	58,1	30,2	23,1	13,0

В профиле почв нет значительной профильной дифференциации основных элементов. Отмечено незначительное увеличение содержания кремнезема в нижней части профиля. Содержание алюминия больше, чем железа во всех изученных образцах. Содержание соединений кальция в коричневых почвах относительно невысоко. Ранее было установлено значительное варьирование карбонатов кальция в почвах вследствие пестроты почвообразующих пород, среди которых слоями чередуются более мощные слои песчаников и аргиллитов и меньшие по мощности слои известняка (Казеев и др., 2012а, 2015г). Содержание тяжелых металлов в коричневых почвах исследуемой территории не превышает допустимые уровни (табл. 19).

Фоновые коричневые почвы исследуемого участка характеризуются высоким содержанием гумуса в поверхностном горизонте на уровне 7–10 % с более плавным, чем в буроземах, снижением вниз по профилю. Такие характеристики гумусного состояния соответствуют литературным данным (Вальков и др., 2008б; Казеев и др., 2012а, 2015г). На вырубке содержание гумуса колеблется в пределах 3,5–6,2 % (табл. 20, рис. 76).

Таблица 20. Биологическая активность почв на вырубке у Сухого Лимана, 2015 г. (по Казееву и др., 2016б)

№ разреза	Растительность	Глубина, см	Содержание гумуса, %	Активность каталазы, мЛ О <sub>2</sub> /г/мин	Активность де-гидрогеназ, мг ТФФ/10г/24ч	Активность инвертазы, мг глюкозы/г/24ч
241	Грабово-ясеневый лес	0-10	8,0	15,3	50,8	72,1
		15-25	4,4	11,4	18,1	49,2
242	Грабово-ясеневый лес	0-10	6,8	14,3	23,1	51,2
243		0-10	10,3	15,4	33,8	39,2
244	Кустарник	0-10	3,5	5,9	13,5	46,7
245	Грабово-ясеневый лес	0-10	7,6	12,1	20,6	71,0
	Грабово-ясеневый лес	15-25	5,2	10,7	31,2	49,8
246	Грабово-ясеневый лес	0-10	8,0	14,8	40,8	74,0
247	Травянистая растительность	0-10	4,9	6,6	33,7	65,3
248	Кустарник	0-10	4,0	6,1	17,5	65,5
249	Кустарник, подрост ясеня	0-10	6,2	7,8	17,2	74,9
		15-25	3,5	6,2	13,9	69,9
250	Травянистая растительность	0-10	5,8	7,8	46,2	63,7
		15-25	3,2	6,9	22,2	55,6

Это свидетельствует об ослаблении гумусообразования на вырубке, что не компенсируется дерновым процессом при смене растительности с древесной на кустарниковую. Это отличает коричневые почвы вырубки от лесных почв мезофитных лесов: буроземов, дерново-карбонатных и серых лесных

почв. По всей видимости, это связано с гидротермическими условиями, которые не позволяют активно расти травам в течение продолжительного сухого периода лета. Вследствие этого дерновый процесс на вырубке ослаблен.

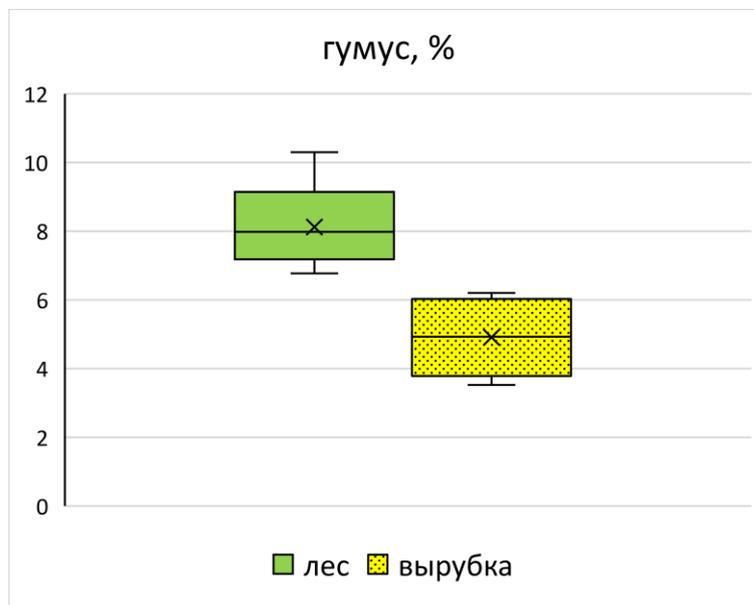


Рис. 76. Содержание гумуса в коричневых почвах вырубки и леса, 2015 г. (по данным Казеева и др., 2016б)

Ферментативная активность коричневых почв на разных участках вырубки существенно изменяется в зависимости от типа растительности, глубины образца и вида фермента (табл. 20, 21).

Таблица 21

Сравнительные особенности свойств почв на вырубке у Сухого Лимана, 2015 г. (по Казееву и др., 2016б)

Участок	рН		Гумус, %		Каталаза, мл О <sub>2</sub> /г/мин		Инвертаза, мг глюкозы/г/24ч		Дегидрогеназы, мг ТФФ/10г/24ч	
	М	m	М	m	М	m	М	m	М	m
Лес, фон	6,87	0,09	7,6	0,8	13,8	0,9	59,6	6,6	33,4	5,0
Вырубка, подрост ясеня	6,86	0,21	4,6	1,0	6,6	0,8	62,4	10,2	16,0	7,4
Вырубка, травы	6,89	0,16	5,4	0,7	7,2	0,9	64,5	1,1	39,9	10,4

В результате проведенных исследований минимальная биологическая активность выявлена в коричневой почве с коротким почвенным профилем.

Неполноразвитость профиля здесь определяется большим количеством обломков плотной породы. Этот факт сказывается на биологической активности больше, чем экотонное расположение этой почвы с кустарниковой растительностью на границе вырубки с лесом. В таких переходных граничных условиях на Западном Кавказе формируются почвы с большим разнообразием и биологической активностью, как это было показано в предыдущих разделах.

Активность каталазы в верхнем горизонте почв фонового леса характеризуется очень высоким уровнем обогащения и незначительным снижением вниз по профилю. Активность инвертазы и дегидрогеназ также отражает высокий уровень обогащения поверхностного слоя, но с кратным снижением активности уже на глубине 15–25 см. Для биологической диагностики лучше себя проявила активность каталазы, которая значительно снижена в почвах вырубки (табл. 21, рис. 77). Активность инвертазы достоверно не изменяется в почвах разных участков, а активность дегидрогеназ снижена на участке с подростом ясеня и незначительно увеличена под травянистой растительностью на вырубке. Оба фермента характеризуются высоким уровнем варьирования (табл. 21, рис. 78, 79).

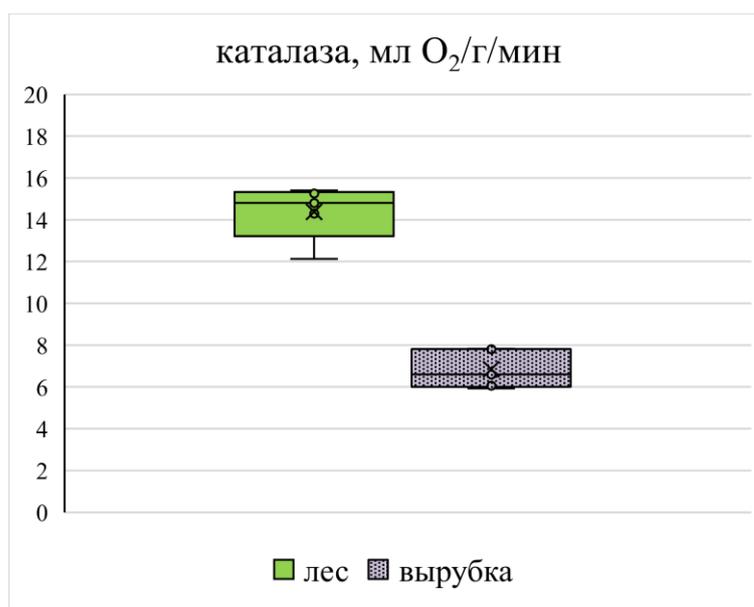


Рис. 77. Активность каталазы в коричневых почвах вырубки и леса, 2015 г. (по данным Казеева и др., 2016б)

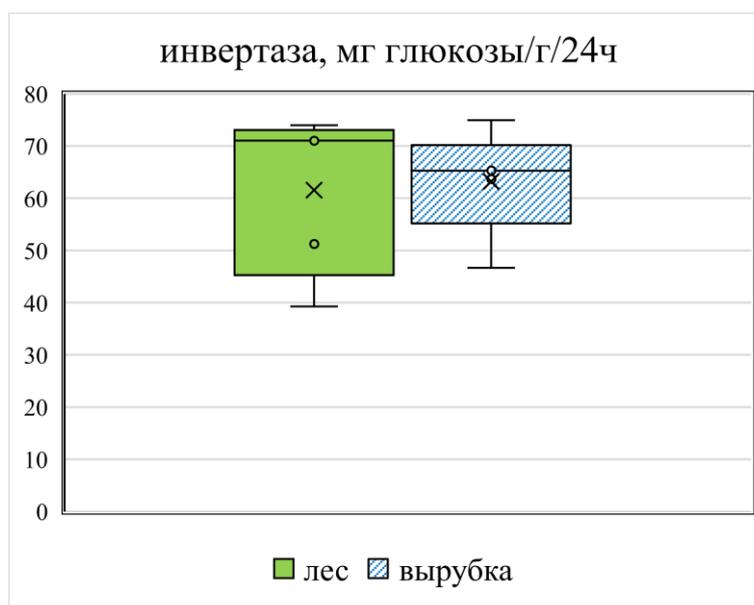


Рис. 78. Активность инвертазы в коричневых почвах вырубки и леса, 2015 г. (по данным Казеева и др., 2016б)

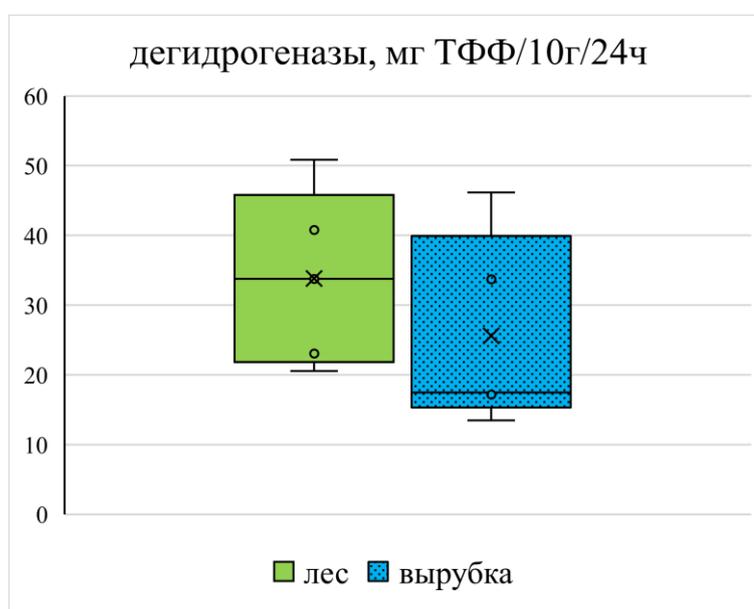


Рис. 79. Активность дегидрогеназ в коричневых почвах вырубки и леса, 2015 г. (по данным Казеева и др., 2016б)

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 году ИПБС почв на вырубке значительно ниже контрольных значений – на 18–37 % (рис. 80, 81).

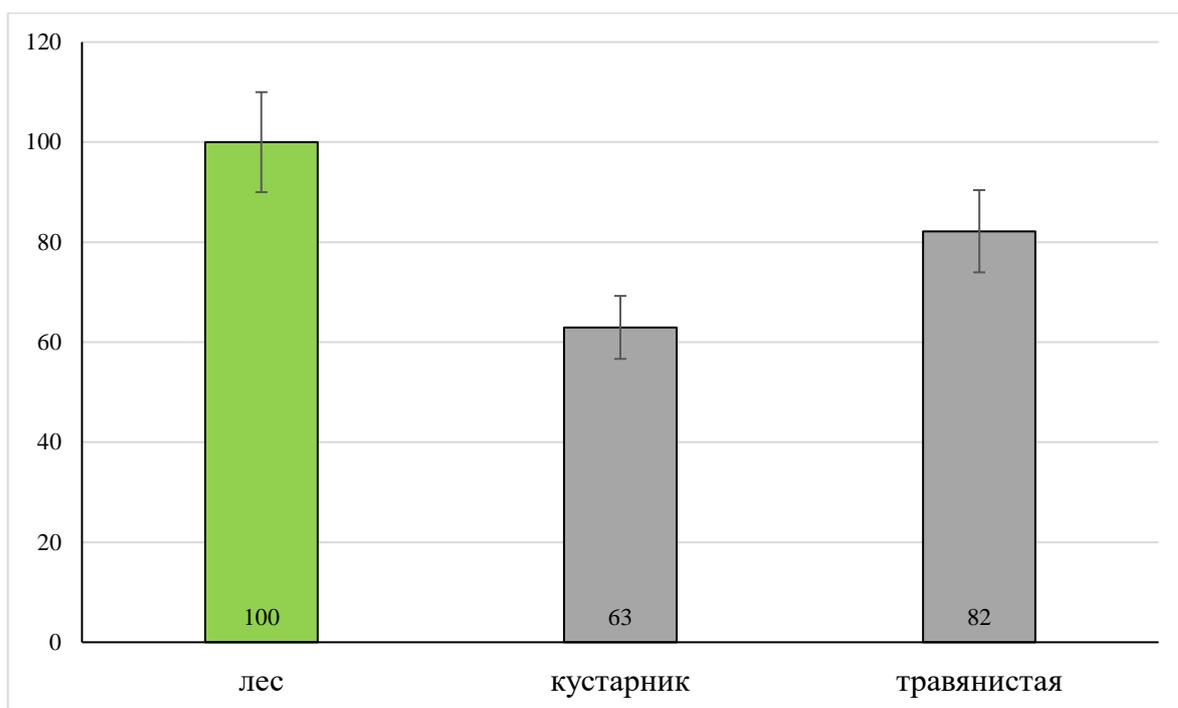


Рис. 80. ИПБС коричневых почв вырубki у Сухого Лимана, 2015 г.  
(по данным Казеева и др., 2016б)

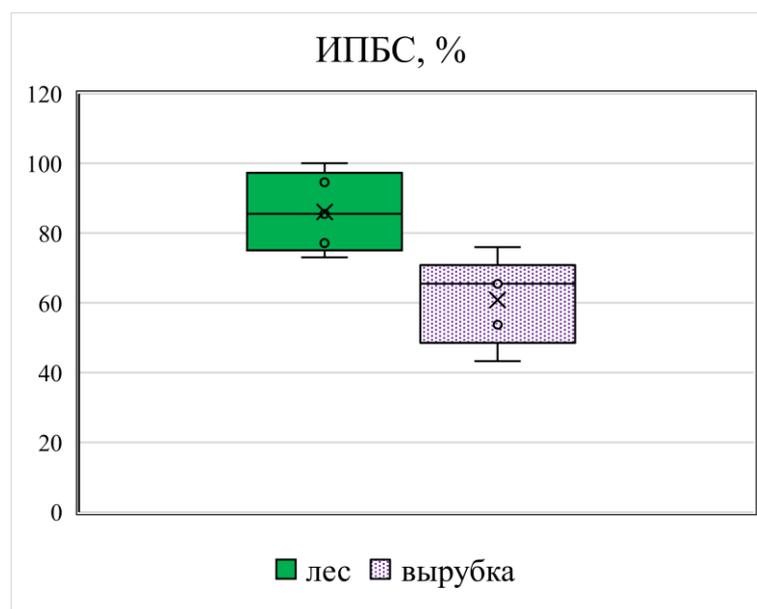


Рис. 81. Сравнение ИПБС коричневых почв вырубki и леса, 2015 г.  
(по данным Казеева и др., 2016б)

Повторные исследования на территории вырубki у Сухого Лимана были проведены через 4 года в 2019 году. С тех пор подрост ясеня на вырубке поднялся до 34 м. Почва фонового участка леса сохранила свои значения рН, содержания гумуса и активности каталазы (табл. 22). Содержание гумуса и ак-

тивность каталазы незначительно увеличивали свои значения по мере восстановления древесной растительности после сведения леса. Но на контроле уровень обогащенности каталазой все еще более чем в 2 раза превышает обезлесенный участок на поляне. Активность инвертазы, как и в 2015 году, практически не зависела от участка наблюдения. Между значениями активности инвертазы в почве участка с подростом ясеня и контроля не было выявлено различий, в то время как на участке с травянистой растительностью значение было на 30 % ниже контрольного участка леса, что согласуется с ранее полученными результатами (Казеев и др., 2016б,г). Изменение активности уреазы было сходным с изменениями активности каталазы. Для всех 3 участков было обнаружено слабое варьирование пероксидазной активности.

Таблица 22

Сравнительные особенности свойств почв на вырубке у Сухого Лимана, 2019 г.

Участок	рН		Гумус, %		Каталаза, мл О <sub>2</sub> /г/мин		Инвертаза, мг глюкозы/г/24 ч		Уреазы мг NH <sub>3</sub> /10г/24ч		Пероксидаза, мг бензохинона/г/30мин	
	М	м	М	м	М	м	М	м	М	м	М	м
Лес, фон	6,8	0,12	8,1	0,2	14,3	0,7	7,0	0,7	79,8	13,8	23,4	2,6
Вырубка, подрост ясеня	7,1	0,04	5,5	0,1	8,7	0,2	7,1	0,8	45,9	4,3	26,7	4,1
Вырубка, травы	6,7	0,07	5,5	0,3	6,9	0,4	5,1	0,7	28,0	5,0	21,3	3,3

Интегральная оценка показала существенные расхождения значений ИПБС на всех исследуемых участках. Усиленный рост подроста деревьев на вырубке привел к увеличению значений ИПБС по сравнению с поляной, где произрастала травянистая растительность (рис. 82). Однако почвы вырубки не достигли контрольных значений биологической активности почвы фонового леса. Различия составили те же 21–37 %, что и в 2015 году (Казеев и др., 2016б).

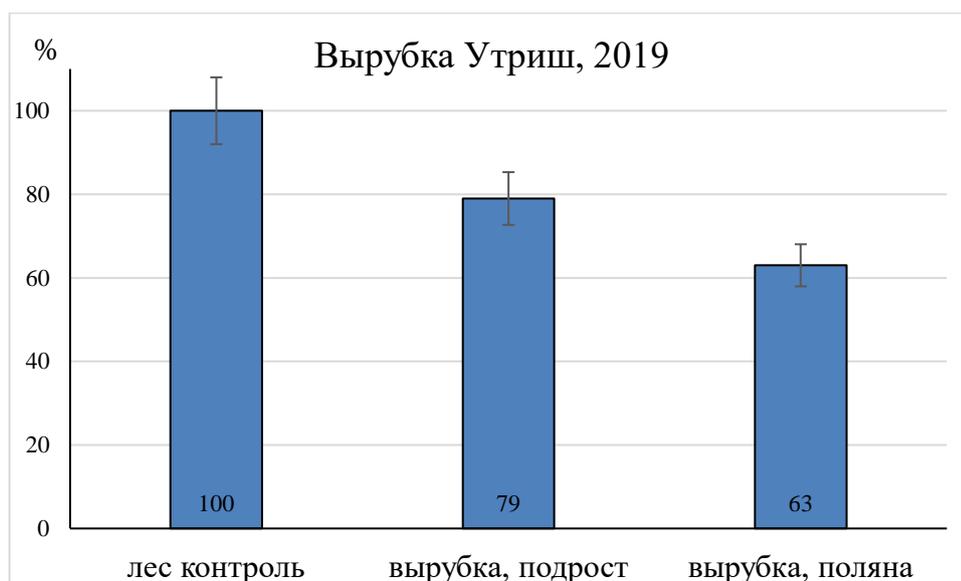


Рис. 82. ИПБС коричневых почв вырубки у Сухого Лимана, 2019 г.

В результате проведенного анализа данных, полученных ранее в 2015 г. (Казеев и др., 2016б,г) с результатами исследований 2019 г., было выявлено пролонгированное отрицательное воздействие рубки на экологическое состояние коричневых почв субтропической части Западного Кавказа. Динамика трансформации таких биологических параметров, как содержания гумуса и активности исследуемых ферментов, определяется восстановительными сукцессиями на месте нарушенных участков леса. По мере зарастания вырубки подростом деревьев ферментативная активность увеличивается. Сохранение различий в значениях ИПБС свидетельствует о пролонгированном характере негативных изменений после сведения леса.

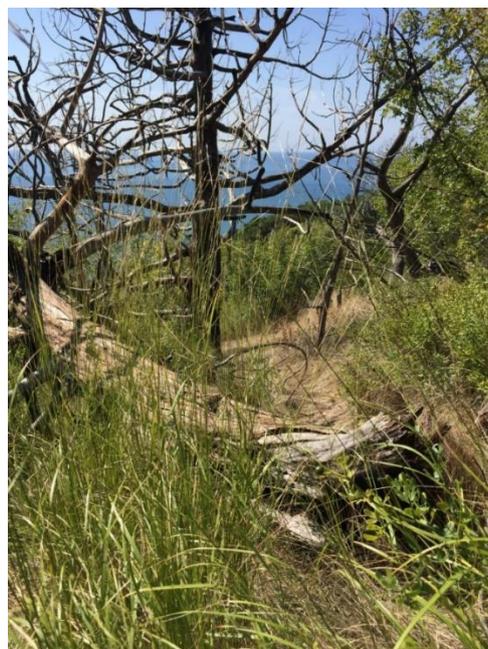
## 9 ПОСТПИРОГЕННОЕ ИЗМЕНЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ ЗАПОВЕДНИКА «УТРИШ»

Уникальные экосистемы Абрауского полуострова Черноморского побережья Кавказа, сохранившиеся в заповеднике «Утриш», представлены сухими восточно-средиземноморскими субтропиками с большим числом эндемиков и реликтов, сохранившихся с третичного периода. Это одно из немногих в России мест произрастания можжевельново-фисташковых редколесий. В 2016–2021 годах 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 можжевельнового редколесья на высоте 110–140 метров над уровнем моря на южных отрогах хребта Навагир (рис. 83–85).

Пожар в окрестностях Водопадной щели случился в 2009 году. Дополнительно в апреле 2018 года был исследован участок пожарища 2013 года в непосредственной близости от Сухой щели. Площадь пожарищ с нарушением наземной растительности и изменением экологического состояния почв составляет несколько гектаров. На большей части Абрауского полуострова, включая природный заповедник «Утриш», распространены редкие для России коричневые почвы (Казеев и др., 2015г). Главными признаками коричневых почв являются: коричневый цвет профиля, интенсивное текстурное оглинивание средней части профиля почвы, элювиально-иллювиальный тип декарбонизации, близкая к нейтральной реакция среды, богатство почвы элементами минерального питания. Особенности исследованных почв заповедника «Утриш», обусловленные низкогорным рассеченным рельефом территории, это более короткий почвенный профиль, высокая скелетность, отсутствие карбонатных новообразований, фрагментарность и маломощность лесной подстилки. Установлено значительное влияние пожаров на биологические свойства коричневых почв (рис. 86, 87).



октябрь 2016 г.



сентябрь 2018 г.

Рис. 83, 84. Постпирогенный участок Водопадной щели (фото К.Ш. Казеева)



Рис. 85. Контрольный участок можжевелового редколесья,  
сентябрь 2018 г. (фото К.Ш. Казеева)

Спустя 5–10 лет после пожара многие биологические свойства постпирогенных почв значительно различаются по сравнению со свойствами контрольных участков можжевелового редколесья. Содержание гумуса и биологическая активность постпирогенных почв в целом снижены по сравнению с

почвами контрольных участков можжевельного редколесья. При этом было отмечено высокое варьирование биологических показателей почв на разных участках одного пожарища. 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 пожарища более чем в 2 раза ниже по сравнению с контрольными значениями. Постпирогенная почва участка Сухой щели спустя 5 лет после пожара содержит почти вдвое меньшее содержание гумуса в поверхностном пятисантиметровом слое по сравнению с почвой контрольного участка можжевельного редколесья (рис. 87).

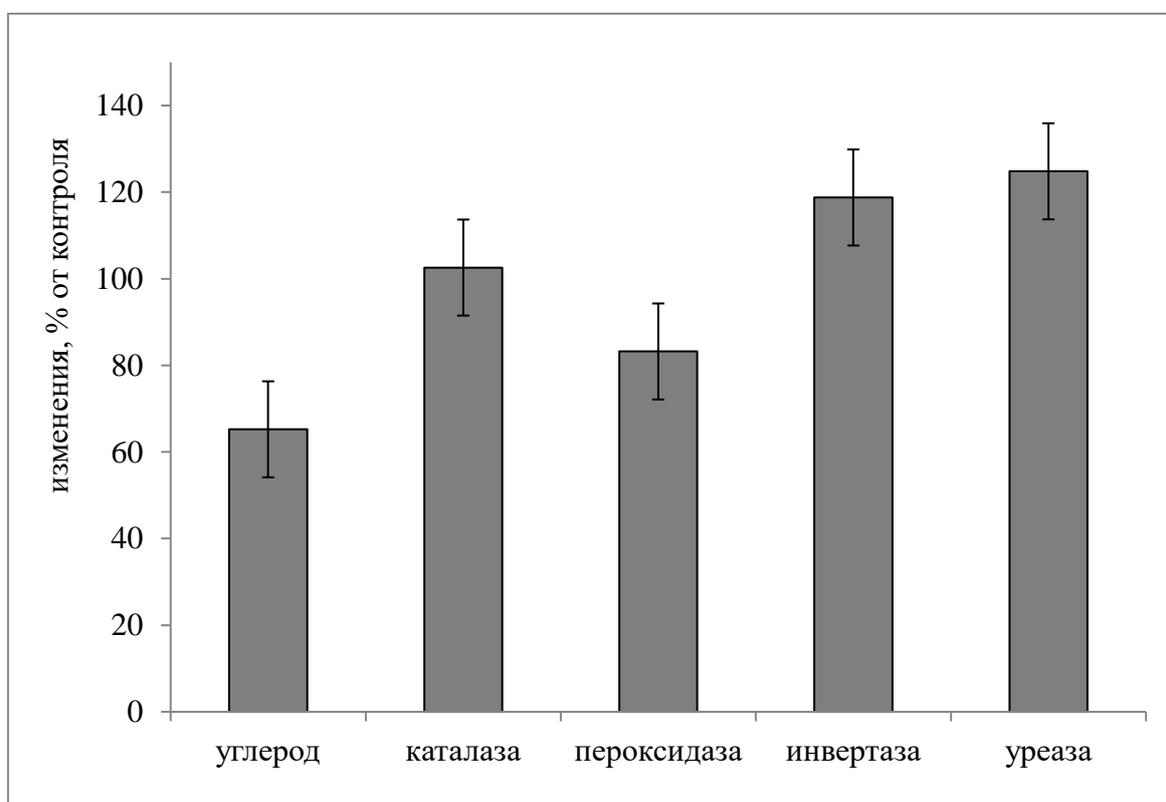


Рис. 86. Изменение биологической активности верхнего слоя почв Водопадной щели через 9 лет после пожара

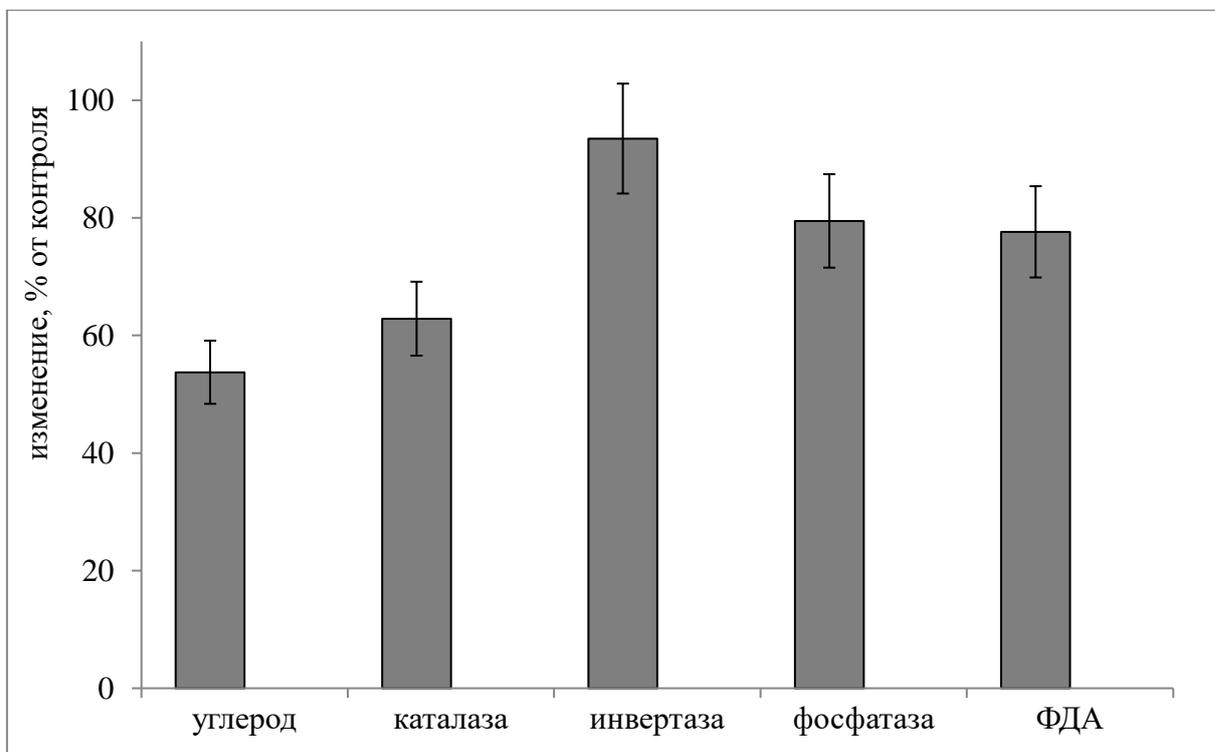


Рис. 87. Изменение биологической активности верхнего слоя почв Сухой щели через 5 лет после пожара

На глубине 15–25 см различия 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 постпирогенных коричневых почв в почвах постпирогенного участка через 9 лет после пожара был все еще снижен на 17 % относительно значений в почвах на контрольных участках (Kazeev et al., 2019).

В 2021 году 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. 88). 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 пироженное воздействие приводит к существенным изменениям растительности, микробного сообщества и биологической активности (Donato et al., 2009; Дымов и др., 2018; Краснощеков и др., 2018б, 2019, 2022; Perez-Valera et al., 2019; Казеев и др., 2020а; Кошовский и др., 2022; Черненко и др., 2022). Снижение ферментативной активности напрямую связано с пироженным воздействием – увеличением температуры на поверхности почвы, при котором белковые структуры ферментов разрушаются.

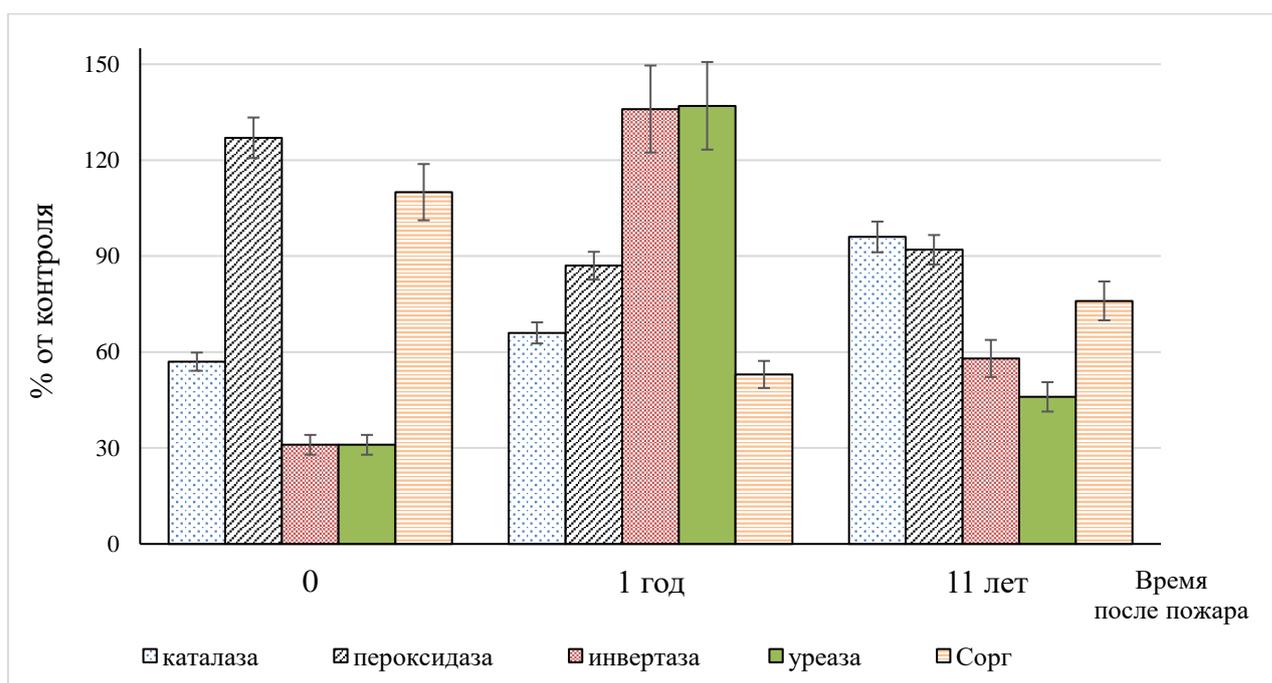


Рис. 88. Динамика активности каталазы, инвертазы, уреазы и пероксидазы постпироженных почв в процентах от контроля

По сравнению с контрольными почвами содержание общего органического углерода на участке № 1 сразу после пожара выше на 10 %, а для двух других участках пожарищ содержание общего органического углерода снижено на 47 % через год после пожара и на 24 % – через 11 лет (рис. 89). Приближение содержания органического углерода к контрольным значениям через 11 лет после пожара связано с тенденцией 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; Дымов и др., 2018).

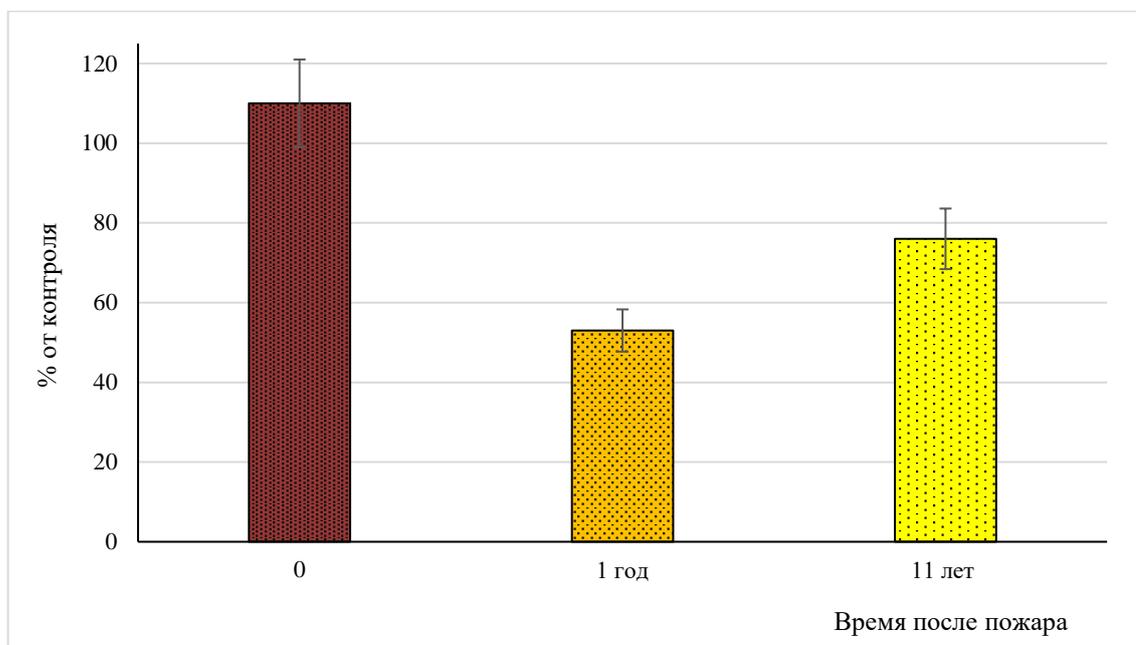


Рис. 89. Содержание органического углерода в постпирогенных почвах, в процентах от содержания в почве контрольного участка леса

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

Экологические последствия рубок и пожаров связывает, прежде всего, ликвидация 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).

По степени участия человека сукцессии подразделяют на антропогенные, вызванные влиянием человека, и природные, происходящие по естественным причинам (Миркин, Наумова, 1998). В.Ю. Нештаев (2017) установил, что в таежной зоне наибольшее распространение имеют антропогенные сукцессии, связанные с рубками, пожарами и осушением. Сукцессии после пожаров чаще являются гетеротрофными, но могут быть и автотрофными, в зависимости от типа и интенсивности пожара (Нештаев, 2017).

Почвы вырубок значительно изменены при работах лесозаготовительной техники. А.А. Дымовым (2017) предложено рассматривать изменения лесных почв в ходе восстановления растительности на вырубках с позиции аллогенных послерубочных почвенных сукцессий. Им было обосновано выделение турбоземов детритных на механически нарушенных участках лесосек. Изменения физических свойств почв зависят от интенсивности работы тяжелой техники при рубке и трелевке леса (Побединский, 1982; Ростовский, 2001; Amroorter et al., 2010; Mohieddine et al., 2019) в частности, от количества проходов форвардера, а также последующего выравнивания волоков для сглаживания колеи (Дымов и др., 2022).

Периодичность лесных пожаров на территории Европейской части России в настоящее время составляет от 30–50 до 500 и более лет (Горшков, Ставрова, 2005). В горных лесах Прибайкалья пирогенная деструкция лесных экосистем неизбежно ведет к деградации горных почв, на восстановление которых после низовых пожаров уходят многие десятилетия (Краснощеков, 2022). Пирогенные признаки сохраняются в почвах лиственничников Средней Сибири более 100 лет после прохождения пожара (Старцев и др., 2017).

Биологическая диагностика почв успешно применяется для оценки экологического состояния почв, в зарубежной литературе называемого здоровьем почв (Казеев и др., 2003, 2004; Raiesi, Kabiri, 2016; Kozun et al., 2022; Filho et al., 2023; Hermans et al., 2023). Входящие в состав показатели разнообразны: мезо- и микрофауна, микроорганизмы и их метаболиты, почвенные ферменты, дыхание почв, активный и микробный углерод и азот, скорость разложения разных органических веществ и др. (Казеев и др., 2002, 2003; 2006; Raiesi, Beheshti, 2015; Thiele-Bruhn et al., 2022). Биологические параметры, наряду с другими показателями, применимы и к оценке влияния рубок и пожаров на почвы (Дымов и др., 2014; Иванов и др., 2018, 2022; 2020; Kazeev et al., 2019; Казеев и др., 2020а; Вилкова и др., 2021, 2022а, 2023; Кошовский и др., 2022; Приходько и др., 2023; Shkhatpatsev et al., 2023). Метаанализ 80 участков по всему миру показал значительное повышение разнообразия почвенных грибов и активности ферментов после облесения и лесовосстановления, но разнообразие почвенных бактерий существенно не изменилось (Huang et al., 2022). В почвах ельников Республики Коми и Красноярского края не обнаружено достоверной разницы в накоплении микробной биомассы и скорости микробного дыхания (Гродницкая и др., 2023). При определении реакции микробного сообщества почвы на тепловой стресс информативность изменяется в ряду: активность уреазы > активность кислой фосфатазы > активность  $\beta$ -глюкозидазы  $\gg$  бактериальной активности (Lombao et al., 2021). Эти и другие исследования показывают, что из широкого набора показателей более информативны и удобны методы определения ферментативной активности почв (Sinsabaugh et al., 2008;

Trasar-Cepeda et al., 2008; Hugh, 2012; Burns et al., 2013; Даденко и др., 2009, 2013). Они применяются и в исследуемом регионе в горах Крыма и Кавказа (Казеев и др., 2014; Горобцова и др., 2015, 2021; Гедгафова и др., 2023; Костенко и др., 2023).

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., 2008; 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 срываются выполняемые ею экосистемные функции (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). Под устойчивостью почвы к антропогенным воздействиям должна пониматься, прежде всего, устойчивость именно целостных биогеоценотических функций, таких как аккумуляция и трансфор-

мация веществ и энергии в биогеоценозе, санитарная функция, функция буферного и защитного биогеоценозического 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).

На территории Западного Кавказа были исследованы зональные и азональные почвы, составляющие основу почвенного покрова низкогорий и среднегорий (таксономия согласно классификациям 1977, 2004 и WRB): дерново-карбонатные выщелоченные (Rendzic Leptosols); серые лесные и лесостепные (Phaeozems); буроземы типичные, кислые и глеевые; коричневые карбонатные и выщелоченные (Cambisols).

По климатическим условиям и видовому составу растений исследуемые леса можно разделить на мезофитные и ксерофитные (рис. 90).

Растительность этой территории представлена широколиственными, хвойными и хвойно-широколиственными лесами (Литвинская, Муртазалиев, 2013; Акатов, 2014, 2018; Демина и др., 2015; Литвинская, 2020).

Исследования буроземов проводили в верховьях р. Белой (Республика Адыгея, Кавказский государственный природный биосферный заповедник) и Апшеронского лесхоза Краснодарского края. Данная территория относится к Западной горной провинции Большого Кавказа. Среднегодовое количество осадков составляет 1200 мм. Среднегодовая температура – +10,3 °С. Высота над уровнем моря 650–700 метров.

Исследуемая территория занята старовозрастными пихто-буковыми (*Fagus orientalis* и *Abies nordmanniana*) мертвопокровными сообществами в терминальной стадии.



А. Государственный природный заповедник «Утриш»



В. Кавказский государственный природный биосферный заповедник

Рис. 90. А – ксерофитные –и В – мезофитные леса Западного Кавказа

Исследуемые участки окон находятся на ранней стадии восстановительной сукцессии. В почвенном покрове Кавказского биосферного заповедника отмечены буроземы кислые и глееватые (Cambisols Dystric) на элювии глинистых сланцев. Подстилка маломощная, деструктивного типа. Буроземы характеризуются кислой реакцией среды, разной степенью оглеения, низким плодородием для полевых культур (Вальков и др., 2008б; Казеев и др., 2010). Для

них характерны высокая обогащенность гумусом и биологическая активность в коротком поверхностном слое, вниз по профилю их значения резко снижаются.

Серые лесные и лесостепные почвы вырубок разных хронорядов исследованы в окрестностях станицы Даховской Майкопского района Республики Адыгея. Эти почвы различаются наличием у лесостепных почв второго гумусового горизонта в нижней части профиля, о происхождении которого в литературе есть разные точки зрения (Вальков и др., 2008б). В отличие от черноземов слитых (*Vertisols*) Республики Адыгея серые лесостепные почвы имеют хорошую оструктуренность не только в верхнем горизонте. Со слитыми почвами их сближает наличие слитого гумусового горизонта в нижней части профиля, в то время как в слитоземах отмечается высокое содержание физической глины (более 60 %) – с практически полным отсутствием дифференцированности во всем профиле почв (Умарова и др., 2021). Мощность гумусовых горизонтов в серых лесных, и особенно в лесостепных, почвах более значительная, чем в буроземах. Профильное распределение в этих почвах лесного типа – с сильным уменьшением содержания гумуса по профилю. Серые лесные и лесостепные почвы обладают средним плодородием для полевых культур, но хороши для садов (Вальков и др., 2007а).

Фоновый участок дубово-грабового леса является эталоном для рассмотрения устойчивости к рубкам серых лесостепных почв. Подробное описание этого участка приведено выше. Этот мониторинговый участок на высоте 540 метров над уровнем моря исследуется с 2007 года, когда оценивали экологическое состояние вырубки и контроля в фоновом лесу. Позже в 2019 году на участке самозарастающей вырубки с высоким подростом деревьев и кустарников была произведена еще одна рубка подроста. После этого изучали уже три площадки с разной растительностью: луговой злаково-разнотравной на повторном участке вырубки, многолетний подрост деревьев и фоновый участок леса. Серая лесостепная почва (*Greyic Phaeozem Vertic*) этого участка под лесом была представлена демонстрационным разрезом в полевом туре V съезда

Докучаевского общества почвоведов и была подробно описана (Путеводитель..., 2008).

Дерново-карбонатные почвы хроноряда 0–12 лет исследованы в окрестностях Яворовой и Партизанской полян в нескольких километрах от поселка Гузерипль (Адыгея) на высоте 1200–1600 метров 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 темногумусовым, если их мощность не превышает 30 см (Классификация..., 2004). Эти почвы являются азональными вследствие развития на карбонатных породах, поэтому значительно отличаются от окружающих зональных почв буроземов (Вальков и др., 2008б, 2007б). Значительное влияние карбонатности, даже остаточной, на биологические свойства почв исследуемого региона было установлено ранее (Кутровский, 2006; Вальков и др., 2007б; Кутровский и др., 2008; Казеев и др., 2012а).

Тип климата района заповедника «Утриш» определяется как переходный между морским средиземноморским и умеренно-континентальным (Ткаченко, Денисов, 2013). Лето длится около пяти месяцев, зима – около трех. Зима редко бывает устойчивой. Среди зимы почти ежегодно бывают оттепели, температура воздуха повышается до 10–15 °С. Средняя годовая температура воздуха в районе заповедника колеблется в пределах 9–11 °С. Длительность безморозного периода составляет на восточном побережье 7–8 месяцев. Осенью до ноября сохраняется высокая температура воздуха (14–16°С). Количество осадков в районе заповедника составляет 550–810 мм, с пиком в ноябре-январе – 180–210 мм (Ткаченко, Денисов, 2013).

Коричневые почвы исследованы в западной части Северо-Черноморской провинции Большого Кавказа на Абрауском полуострове в государственном природном заповеднике «Утриш». При этом большинство почв заповедника относят к неполноразвитым родам коричневых почв по причине их формирования на плотных породах разного состава. В связи с этим коричневые почвы

отличаются высокой степенью скелетности, то есть содержат значительное количество обломков плотных пород в своем профиле (Казеев и др., 2015г; Опанасенко, 2014; Опанасенко, Евтушенко, 2019). Коричневые почвы отличаются от других типов почв по следующим признакам: коричневый цвет профиля, интенсивное текстурное оглинивание средней части профиля почвы, элювиально-иллювиальный тип декарбонизации, близкая к нейтральной реакция среды, богатство почвы элементами минерального питания (Вальков и др., 2008б, Казеев и др., 2015г).

В данном разделе обобщены результаты оценки влияния рубок и пожаров на Западном Кавказе, полученные в последние 15 лет с помощью традиционных и адаптированных методов исследований экологического состояния почвы (Казеев и др., 2003, 2016а, Даденко и др., 2021). По разным частным аспектам этой тематики опубликованы десятки статей и монографий, часть из которых приведена в списке литературы.

Деградационное воздействие рубок и пожаров совмещает прямое (непосредственное) и косвенное воздействия. Прямое воздействие относительно кратковременно и заключается в механическом воздействии машин, уплотнении, перемешивании, скальпировании поверхностных горизонтов, пирогенном воздействии, которые приводят к уничтожению растительности и нарушению почвенного покрова. Экосистемные изменения включают эрозию почвы, регенерацию растительности, восстановление структуры сообщества, реколонизацию фауны и множество связанных с этим различных изменений почв (Keeley, 2009).

Восстановительные сукцессии после рубок в исследуемом регионе подробно описаны в ряде научных работ (Казеев и др., 2013а, 2021; Ермолаева и др., 2015, 2023; Шевченко и др., 2019). После исчезновения древесной растительности происходит ряд последствий, связанных в первую очередь с освобождением территории от затенения, сопровождаемого изменением инсоляции, температуры и влажности почв (Дымов, 2017; Казеев и др., 2021; Шхапацев и др., 2023а). В результате сукцессии на исследуемой территории чаще

всего происходят прогрессивные (по Миркину, Наумовой, 1998) изменения структуры и видового состава флоры за счет бурного развития высокотравной луговой растительности, которая через десятилетия постепенно сменяется на типичную для этих мест лесную растительность. В наших исследованиях были исследованы разные хроноряды после сведения леса при рубках и пожарах (рис. 91, 92). Изменения почв после рубок и пожаров могут приводить к повышению или снижению биологической активности в зависимости от условий рельефа, почв и растительности (Казеев и др., 2021; Shkharpatsev et al., 2023). В некоторых случаях на крутых склонах сведение лесов может привести к полной деградации почв.



**0 лет**



**1 год**



**8 лет**



**25 лет**



**50 лет**



**100 лет**

Рис. 91. Последовательность изменения растительности на вырубках Западного Кавказа (фото К.Ш. Казеева и А.К. Шхапацева)



**2020 г.**



**2019 г.**



**2021 г.**



**2022 г.**



**2022 г.**



**2023 г.**

Рис. 92. Зарастание гарей в заповедниках: «Утриш» (слева) и Кавказском биосферном (справа) (фото К.Ш. Казеева и А.К. Шхапацева)

Различные типы и подтипы почв фоновых лесных территорий имеют разные уровни ИПБС. Наибольшая биологическая активность выявлена в дерново-карбонатных и серых лесостепных почвах. Минимальные значения характерны для буроземов, в которых вся активность приурочена к тонкому поверхностному слою, активность которого может быть высокой. Эти результаты подтверждаются и другими исследованиями (Казеев и др., 2004; Kozun et al., 2022).

Используя предложенную методику интегрированной оценки биологических свойств почв (Казеев и др., 2003), А.И. Поляков (2010) установил, что наиболее устойчивыми к рубке леса являются серые лесные почвы, а наибольшая деградация проявляется в бурых лесных почвах. Его исследования показали эффективность профильного подхода, рекомендованного ранее (Звягинцев, 1978; Казеев и др., 2003, 2004б); для оценки последствий рубки в горных условиях лучше использовать профильный подход с учетом мощности всех горизонтов. Максимальное снижение значений ИПБС при этом отмечено для буроземов (на 67–75 %), минимальное – для рендзин (на 24 %). ИПБС серых лесных почв при исследовании поверхностных горизонтов может увеличиваться на 5 %, в то время как использование профильного подхода выявило снижение значений на 49 %. (Поляков, 2010). Для дерново-карбонатных почв получены близкие результаты изменения ИПБС для верхних горизонтов и всего профиля – уменьшение на 28 и 24 % соответственно. Это связано с достаточно равномерным профильным распределением свойств этих почв и относительно коротким почвенным профилем (около 30 см). Уже через год вырубка покрывается практически полностью густым покровом лугового высокоотравья и через несколько лет начинает дифференцироваться на участки с различными по свойствам почвам (Казеев и др., 2012г, 2013б).

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. 93). 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; Shkharatsev 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 %.

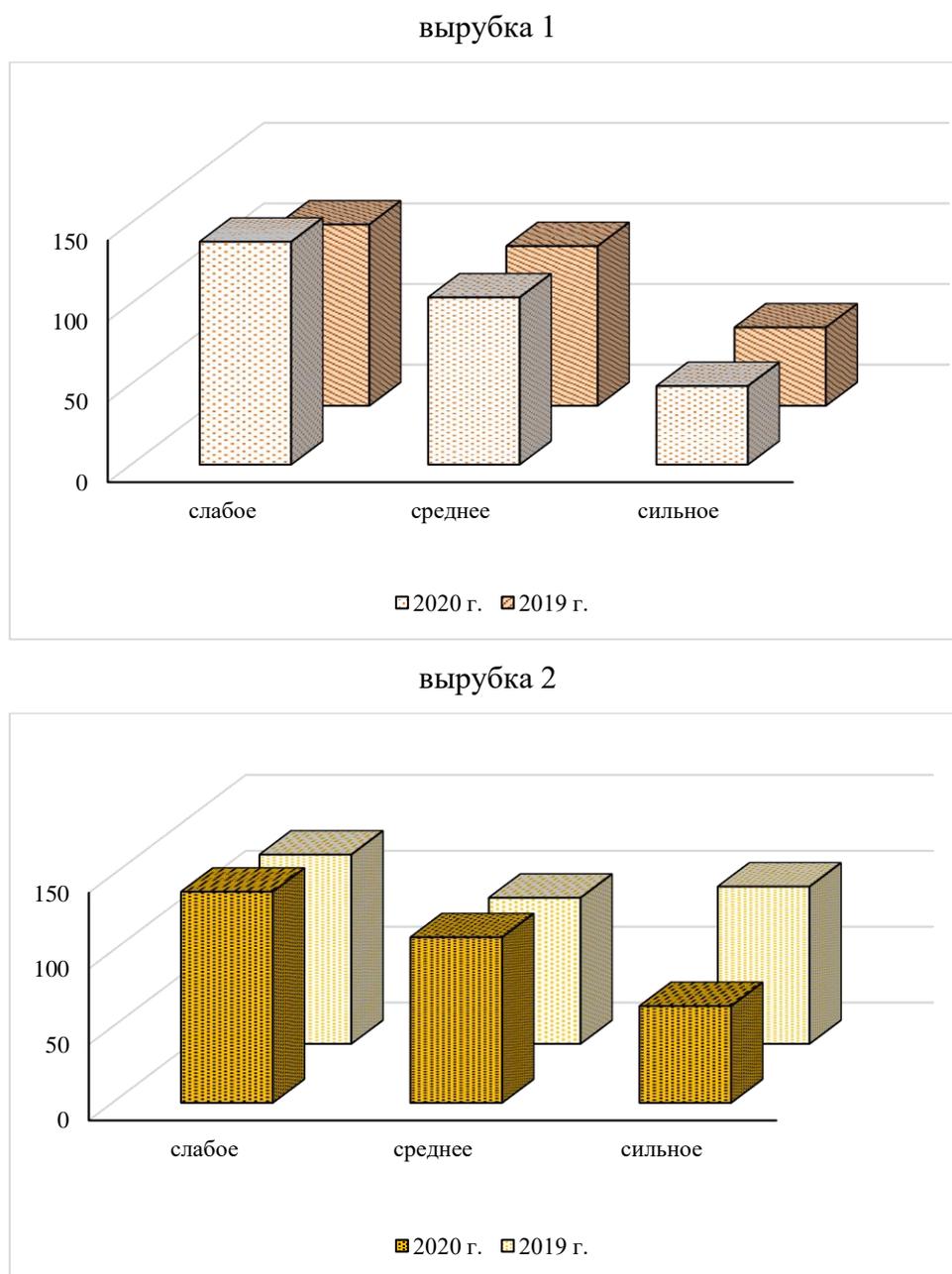


Рис. 93. ИПБС дерново-карбонатных почв среднегорий Адыгеи разной степени нарушения: 1 – слабое; 2 – среднее; 3 – сильное

Для серых лесостепных почв низкогорий Адыгеи выявлены незначительные различия в ИПБС вырубок и фонового леса (рис. 94). В зависимости от времени наблюдения различия ИПБС могут быть отрицательными (–13 %) и положительными (+14 %).

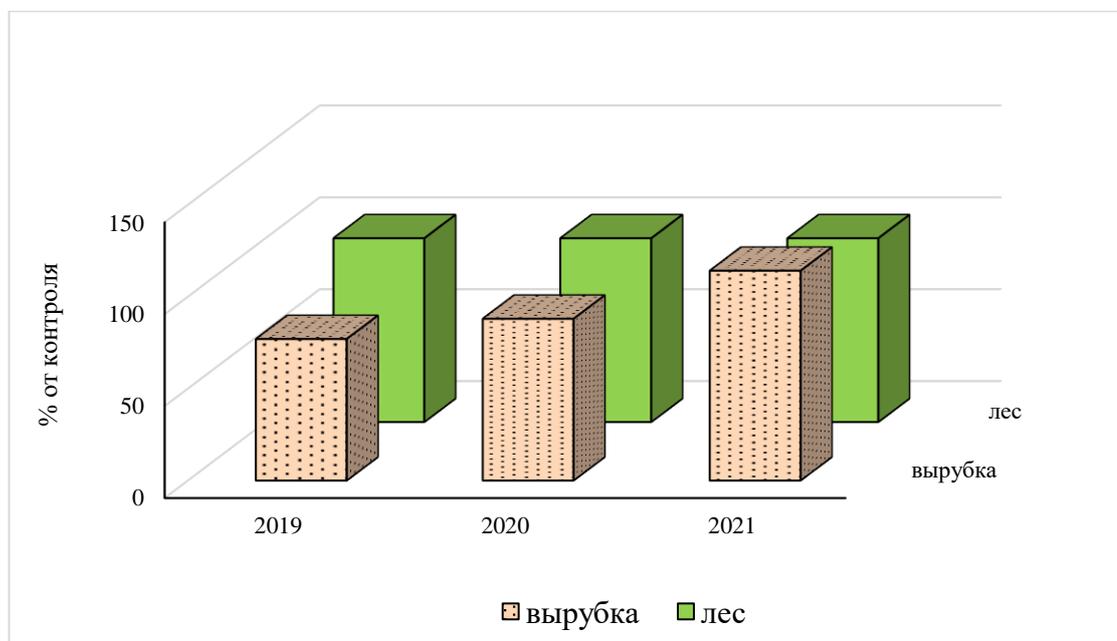


Рис. 94. ИПБС серых лесостепных почв на участке №3, 2019–2021 гг.:

1 – контрольный лес; 2 – вырубка;

3 – вырубка с повторным сведением подроста

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. 95). Разница в ИПБС относительно контрольного леса сокращается с 34 до 17 % при увеличении возраста вырубок с 10 до 40 лет.

ИПБС старовозрастных вырубок (50–100 лет) на буроземах Апшеронского района Краснодарского края существенно выше по сравнению с фоновыми участками леса. Различия в значениях ИПБС почв вырубок разного воз-

раста практически отсутствуют, в то время как контрольные почвы по сравнению с ними на 23 % менее активны. Это происходит в условиях выровненной поверхности, практически исключая развитие эрозии.

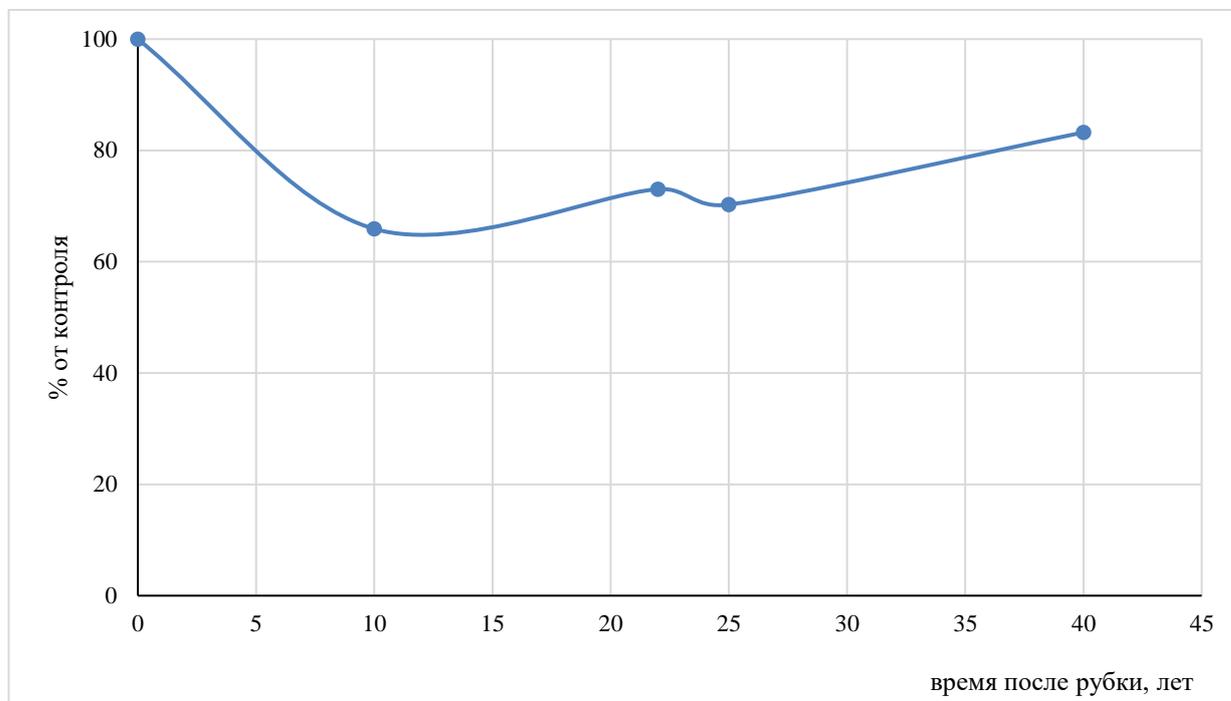


Рис. 95. Динамика восстановления ИПБС серых лесных почв Адыгеи

В заповеднике «Утриш» в 2015 и 2019 годах исследована мониторинговая площадка на вырубке среди ксерофитных грабинников и дубово-грабовых лесов для оценки биологической активности почв после повсеместной сплошной рубки, которая была на всей территории заповедника в 70-х годах прошлого века (Государственный природный заповедник «Утриш», 2013). Различия биологической активности связаны с природным варьированием показателей, степенью каменистости и мощности почв, а также со степенью антропогенного нарушения почв при вырубке леса (Казеев и др., 2016б). ИПБС почв на вырубке значительно ниже контрольных значений – на 18–37 % (рис. 96). При этом увеличение возраста подроста деревьев на вырубке ИПБС повышается, не достигая, однако контрольных значений биологической активности почвы фонового леса.

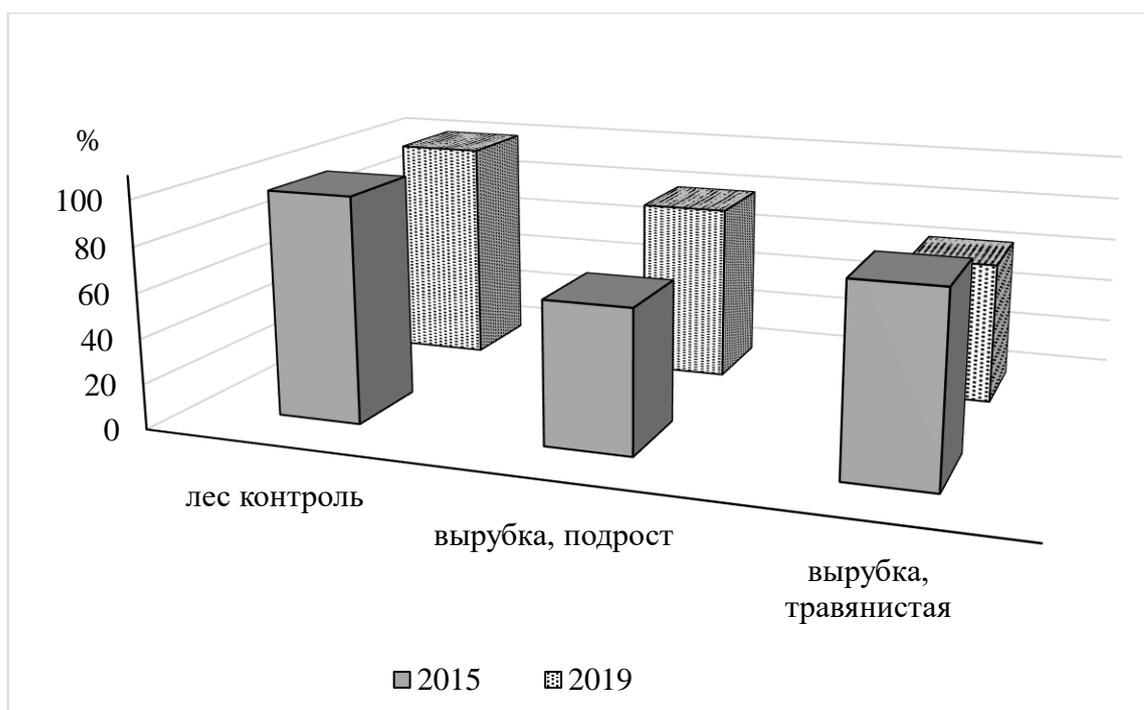


Рис. 96. ИПБС почв вырубки на коричневой почве заповедника «Утриш»

Экологическое состояние коричневых почв заповедника «Утриш» сразу после пожара в 2020 году определено как неблагоприятное, ИПБС снижен на 8–20 % для всех степеней пирогенного повреждения (Вилкова и др., 2023). В 2021 году экологическое состояние почв слабой и средней степени повреждения определено как хорошее. В постпирогенных почвах сильной степени повреждения ИПБС снижен на 12 %, что отражает неблагоприятное состояние. В 2022 году экологическое состояние почв для участков слабого повреждения снизилась незначительно, однако всё еще характеризуется благополучным состоянием, в почвах средней и сильной степени повреждения ИПБС меньше контрольных значений на 15–19 %, что свидетельствует о нарушении экологических функций почвы.

Обобщение многолетних результатов, полученных 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 (2000а, 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 РЕМЕДИАЦИЯ НАРУШЕННЫХ ПОЧВ ВЫРУБОК**

### **11.1 МОДЕЛЬНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ С ОЦЕНКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕЛИОРАНТОВ И БИОПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НАРУШЕННЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ ЗАПАДНОГО КАВКАЗА**

#### **11.1.1 Влияние ремедиантов на биологическую активность буроземов (лабораторный эксперимент)**

Первый опыт из серии модельных экспериментов выполняли в лабораторных условиях для оценки возможности ремедиации деградированного бурозема. 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 активности каталазы (на 24 %) и существенное повышение (на 32%) целлюлозолитической активности почвы. Внесение мелиорантов оказало благотворное влияние на активность каталазы. Ее активность в контрольном варианте бурозема находится на среднем уровне обогащенности – 5,7 мл O<sub>2</sub>/г/мин. Ее активность при внесении извести увеличилась на 15 % относительно контрольных значений. Цеолит повысил активность фермента на 21 %. Такое стимулирующее действие используемых мелиорантов связано с уменьшением кислотности почвы и улучшением условий для почвенных микроорганизмов.

Целлюлозолитическая активность также возросла после внесения мелиорантов. Внесение в почву извести привело к повышению обилия бактерий рода *Azotobacter* на 22–38 %. Интегрированная оценка, проведенная на основе обобщения данных об активности каталазы, содержания активного углерода, интенсивности дыхания и целлюлозолитической активности, показала положительное влияние применения цеолитов на биологическую активность бурозема, прибавка составила 18 % относительно контроля (рис. 97). Применение других приемов мелиорации не показало достоверного повышения значений ИПБС.

В ходе проведенных исследований установлено значительное изменение биологических свойств почв после термического воздействия (Вилкова и др., 2022б; Привизенцева и др., 2022). Внесение мелиорантов различной природы в отдельных случаях позволило улучшить некоторые свойства бурозема и даже восстановить биологическую активность после термического воздействия. Внесение извести понизило кислотность почвы.

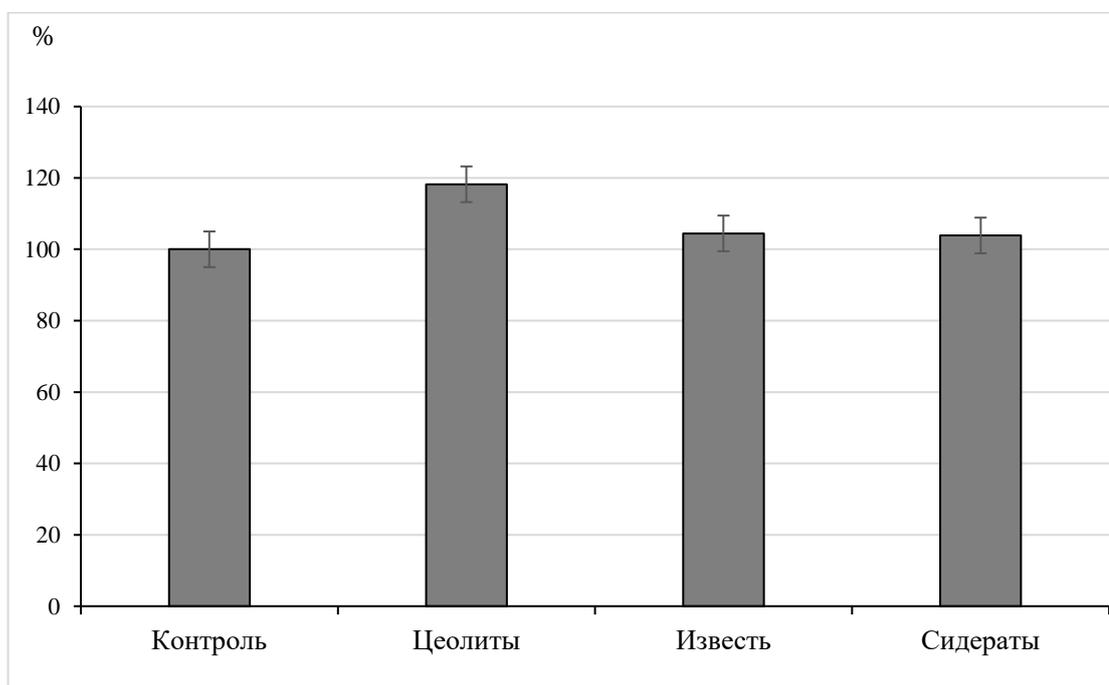


Рис. 97. Изменение ИПБС бурозема в модельном эксперименте

На содержание органического углерода ни один из мелиорантов в постпирогенных вариантах значительного влияния не оказал. Для вариантов без термического воздействия отмечено наибольшее увеличение  $C_{\text{орг}}$  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.

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.

### **11.1.2 Восстановление биологической активности постпирогенных почв с помощью ремедиантов**

Целью другого модельного эксперимента было изучение влияния мелиорантов на биологическую активность бурозема после термического воздействия, имитирующего пирогенный фактор в модельных экспериментах (Вилкова и др., 2022б).

Внесение цеолита и извести в качестве мелиорантов привело к повышению значений рН солевой суспензии бурозема с 3,9 единицы в контроле до 5,9 и 6,3 единицы соответственно. Внесение гумата калия не повлияло на значения кислотности изучаемой почвы. После термического воздействия значения кислотности почвы возросли до 5,3 единицы в сравнении с контрольным вариантом, не подвергшимся термическому воздействию. Внесение цеолита и

известии 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 известии в 2,2 раза относительно контрольного варианта (рис. 98). Внесение гумата калия также повлияло на активность данного фермента в сторону увеличения на 9 %. Термическое воздействие уменьшило активность каталазы на 46 %. Внесение цеолита и известии в значительной степени увеличило активность данного фермента в 8,5 и 3,6 раза по сравнению с постпирогенным буроземом без мелиорантов.

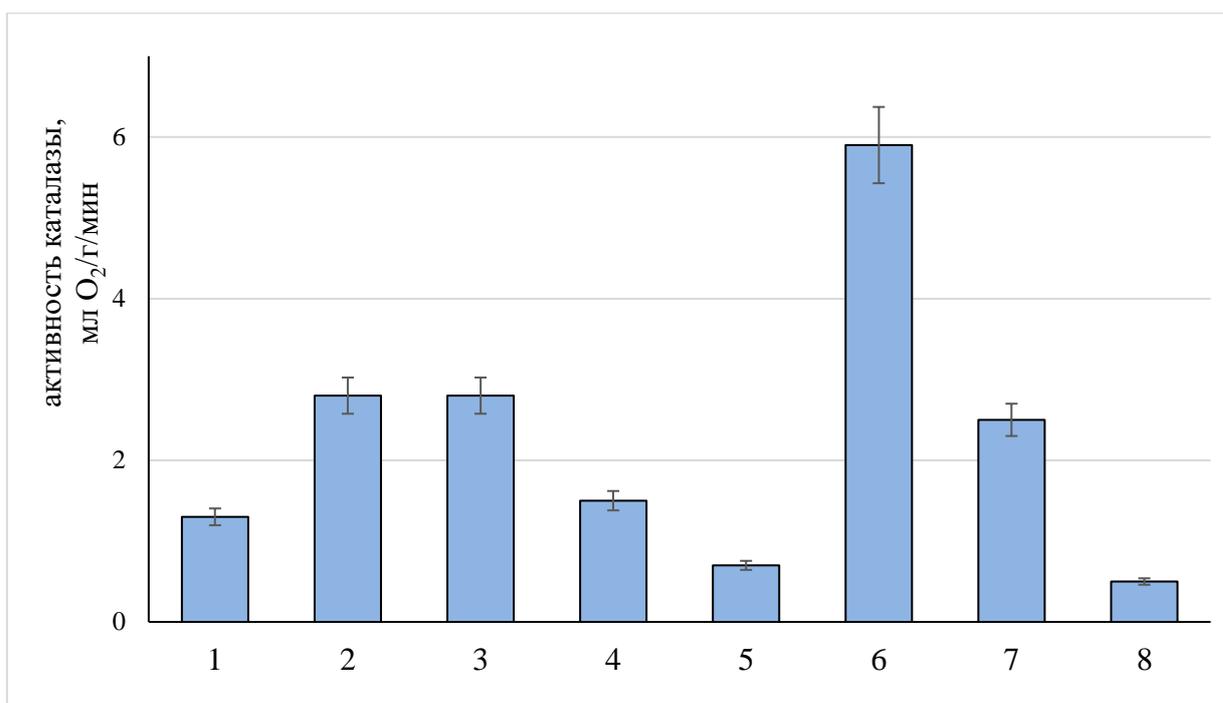


Рис. 98. Влияние мелиорантов на активность каталазы бурозема: 1 – контроль, 2 – контроль+цеолит, 3 – контроль+известь, 4 – контроль+гумат, 5 – контроль+огонь, 6 – огонь+цеолит, 7 – огонь+известь, 8 – огонь+гумат

Отмечено стимулирование активности пероксидазы на 23 % относительно контроля при внесении известии, в то время как внесение цеолита и гумата калия влияния не оказало. После термического воздействия активность

фермента существенно возросла почти в 2 раза во всех постпирогенных вариантах. Стимулирование активности пероксидазы после термического воздействия отмечали и ранее в других работах (Вилкова и др., 2021, 2022б). 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 уреазы из класса гидролаз также существенно увеличилась при использовании цеолита и извести – на 105 и 91 % относительно контрольной почвы (рис. 99).

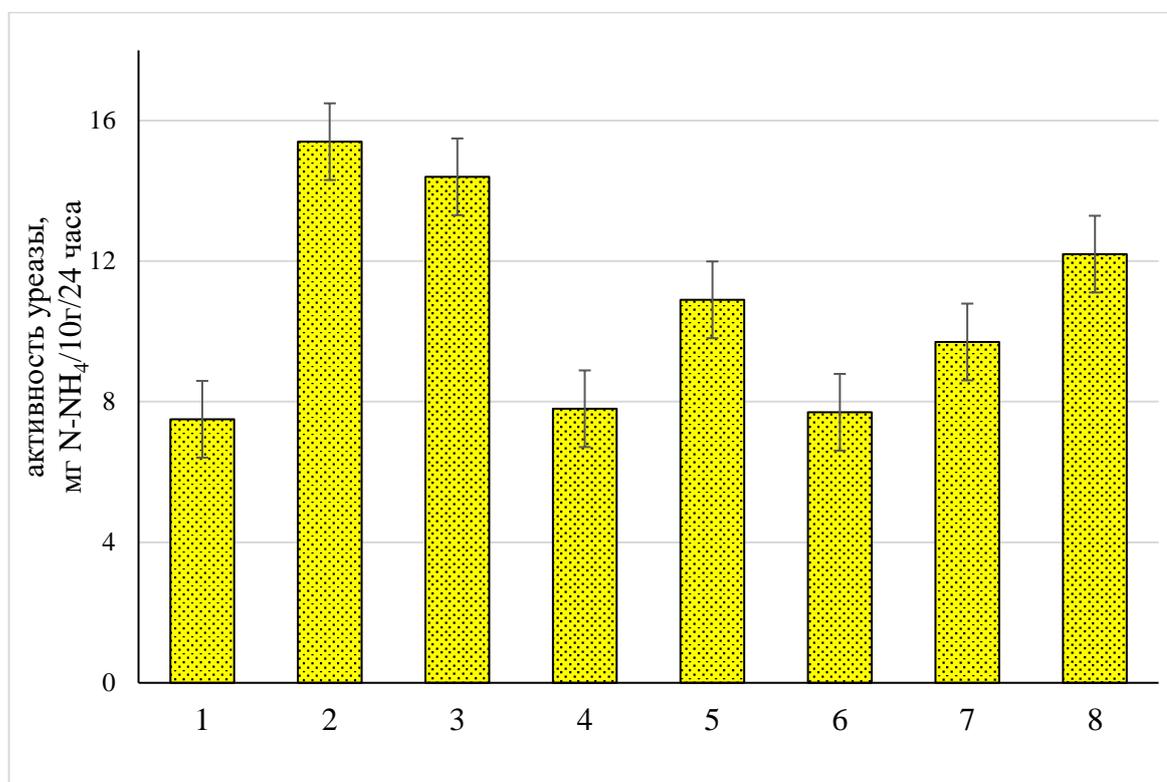


Рис. 99. Влияние мелиорантов на активность уреазы бурозема. Обозначение вариантов как на рис. 98

Гумат калия достоверно не изменил активность фермента. Термическое воздействие стимулировало активность 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 сни-

жение активности фермента на 29 и 11 % относительно постпирогенного бурозема без мелиорантов. Внесение гумата калия повысило активность фермента на 12 % в сравнении с постпирогенным буроземом.

Внесение гумата калия не оказало влияния на активность инвертазы. 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 инаktivации ферментов. В большинстве случаев оптимальная активность ферментов наблюдается при температуре ниже 50 °С, а при высоких температурах происходит денатурация белковых молекул ферментов. Некоторые внеклеточные, внутриклеточные и «почвенные» ферменты обладают термостабильностью. Повышение термостойкости ферментов усиливается в зональном ряду почв с севера на юг. Имобилизованные ферменты обладают повышенной термостабильностью, т.к. иммобилизация ограничивает перемещение ферментов при более высоких температурах, что приводит к повышению их стабильности (Хазиев, 1979, 2005). Ферменты, адсорбированные на твердой поверхности почвенных коллоидов, менее склонны к денатурации. Чистые свободные ферменты частично инаktivируются при температуре около 60 °С, внутриклеточные ферменты полностью инаktivируются уже при 60–80 °С, а активность почвенных ферментов постепенно снижается и частично сохраняется даже после нагревания до 140–180 °С. За счет абсорбции ферментов на поверхности почвы отмечается стимулирование активности ферментов из класса оксидаз и гидролаз после влияния пирогенного фактора. Разные факторы пожаров (огонь, термическое воздействие, продукты горения) оказывают ингибирующее воздействие на активность ферментов, при этом активность каталазы оказалась наиболее информативным и чувствительным индикатором (Казеев и др., 2020а; 2022; Нижельский и др., 2022б; Вилкова и др., 2022а). Приведенные результаты уточняют полученные ранее результаты и свидетельствуют о положительном

влиянии некоторых мелиорантов на ускоренное восстановление биологической активности после термического воздействия.

Степень токсичности почвы определяли по длине корней тест-объекта – ярового ячменя сорта «Леон». Выбор тест-культуры основан на широком распространении этой культуры в агроценозах юга России, а также на сочетании ее высокой всхожести и скорости роста. Расчет коэффициента вариации показал достаточную однородность значений длины корней ячменя в контроле. При внесении извести в среднем длина корней выше контроля на 18 % (рис. 100).

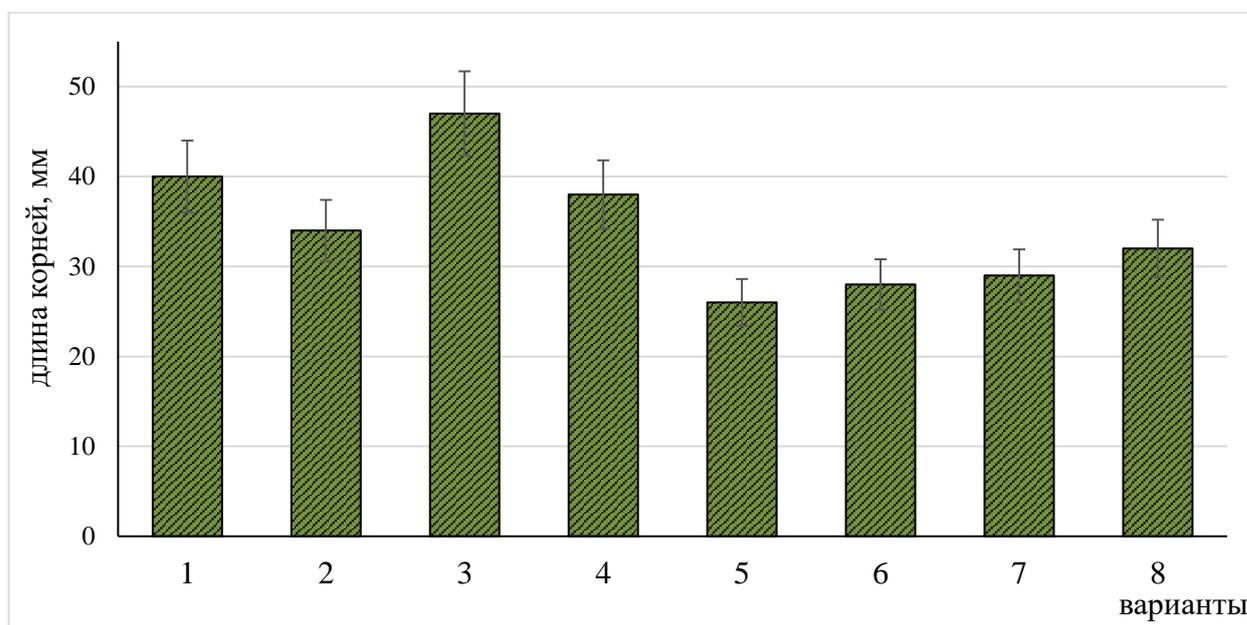


Рис. 100. Длина корней ячменя. Обозначения как на рис. 25

Цеолит, наоборот, уменьшает рост корней ячменя на 15 %, а гумат калия не оказывает выраженного влияния. После термического воздействия средняя длина корней снизилась на 36 % в сравнении с контролем. За счет внесения мелиорантов в постпирогенный бурозем длина корней увеличилась на 12, 14 и 26 % для цеолита, извести и гумата калия относительно постпирогенного варианта без мелиорантов. Варьирование признака для всех исследуемых вариантов сильно колеблется, коэффициент вариации составляет 60–70 %. Общее снижение длины корней проростков ячменя после термического воздействия происходит на фоне слабого минерального питания. Хотя при естественных

пожарах наблюдается обратный эффект – повышение содержания минеральных компонентов за счет золы.

Таким образом, в ходе проведения исследования установлено значительное изменение биологических свойств бурозема после термического воздействия. Внесение мелиорантов различной природы позволило улучшить эколого-биологические 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  $C_{org}$  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.

### **11.1.3 Влияние дыма от пожаров на биологическую активность лесных почв Западного Кавказа**

Одним из важных и недооцененных пирогенных факторов является выделение при пожарах газообразных продуктов горения. Состав и свойства аэрозолей при горении биомассы значительно различаются в зависимости от типа топлива, фазы горения (пламя или тление) и состояния окружающей среды (Poroviceva et al., 2014). Дым оказывает значительное ингибирующее воздействие на почвенную биоту и биологическую активность почвы (Казеев и др.,

2020а; Одабашян и др., 2020; Нижельский и др., 2021б, 2020а, 2022а,б), углубляя воздействие пожаров на почву и окружающую среду в целом. Целью проведенных модельных исследований было изучить воздействие дыма от сжигания деревьев на биологическую активность лесных почв Республики Адыгея. Подробные результаты этих исследований представлены в статье (Nizhelskiy et al., 2023). В результате воздействия дыма от сосновых опилок в течение 60 минут задымления выявили значительное снижение активности исследуемых почвенных ферментов. Согласно полученным результатам, уровень активности каталазы снизился на 36 % относительно фоновых уровней, еще больше ингибировались другие оксидоредуктазы – пероксидаза и полифенолоксидаза (на 58 и 54 % соответственно). Ферменты этого класса наиболее чувствительны к фумигации (Казеев и др., 2020а; Одабашян и др., 2020; Нижельский и др., 2021б, 2022б). Однако и гидролазы также ингибируются дымом, например, инвертаза уменьшила активность на 30 %. Снижение активности ферментов произошло за счет токсического действия ядовитых газов вроде монооксида углерода, фенолов, синильной кислоты, ПАУ и других веществ. Эти токсиканты образуются при термическом воздействии вследствие неполного сжигания органического материала (Цибарт, Геннадиев, 2013; Popovichcheva et al., 2014; Бердникова, 2019) и могут накапливаться в постпирогенных почвах (Liu et al., 2014; Чевычелов, Шахматова, 2018; Sushkova et al., 2019).

Выявлены достоверные различия реакции почвенной среды в фумигированной почве от контрольных значений, рН уменьшается с 5,4 до 4,5 единицы. Ранее аналогичные результаты снижения реакции почвенной среды были отмечены и для других почв (Нижельский и др., 2021а,б, 2022б). Уменьшение показателя рН почв произошло за счет  $\text{CO}_2$ , который хорошо растворяется в воде, образуя угольную кислоту. Почва является фильтром, способным поглощать токсичные газы и снижать негативное воздействие дымов на почвенные организмы.

Полученные результаты по влиянию дыма на эколого-биологическое состояние буроземов Республики Адыгеи сравнили с устойчивостью биологических свойств черноземов (Нижельский и др., 2021а, 2022). В результате выявили, что ферменты класса оксидоредуктаз в буроземах устойчивее, в то время как активность инвертазы из класса гидролаз в буроземе снизился на 10 % больше, чем в черноземе.

По результатам проведенных исследований по влиянию дыма на исследуемые показатели установлено, что одним из ключевых факторов, влияющих на состояние почв при пожарах, является длительность воздействия. Даже низкоинтенсивные низовые пожары могут при длительном тлении и горении оказать значительное негативное воздействие на биоту и биологическую активность почв. Используемый в модельном эксперименте растительный материал (сосна) типичен по свойствам для состава деревьев, произрастающих на Западном Кавказе.

Применение биопрепаратов NAGRO, Байкала ЭМ1 и гумата калия улучшает экологическое состояние эродированных и постпирогенных почв, ускоряет восстановление биологической активности почв, подверженных воздействию дыма (Нижельский и др., 2021) и огня (Вилкова и др., 2022б).

## **11.2 РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВОГО МОДЕЛЬНОГО ОПЫТА ПО РЕМЕДИАЦИИ ДЕГРАДИРОВАННОГО БУРОЗЕМА**

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. Ниже приведены фотографии, отражающие ход проведения этих работ и состояние площадки (рис. 101–104).

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 –  $\text{pH}=5,4$ , емкость катионного обмена составляет  $20,8 \text{ мг-экв./100 г}$ , обменная кислотность –  $2,5 \text{ мг-экв./100 г}$ .

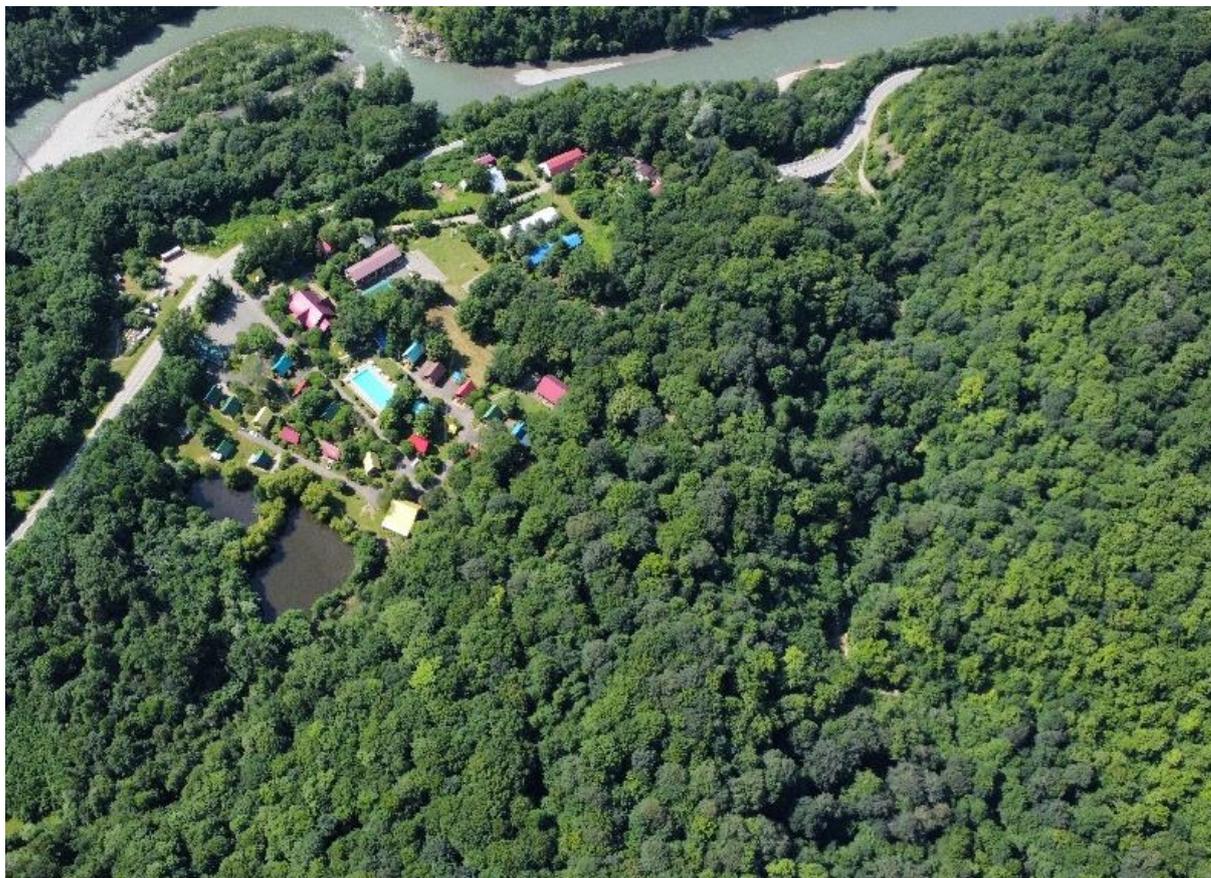


Рис. 101. Место проведения полевого модельного эксперимента по мелиорации бурозема, съемка с квадрокоптера

Температура воздуха и почвы в момент закладки опыта (9 августа) и отбора почвенных образцов (25 августа) была на уровне типичных для августа значений – около  $20\text{--}25 \text{ }^\circ\text{C}$  (табл. 23, 24). Влажность поверхностного слоя бурозема при закладке опыта была на низком уровне –  $15 \%$  (табл. 25). Через 2 недели влажность почвы еще более понизилась – до  $7 \%$  с сохранением температуры почвы  $21,3 \text{ }^\circ\text{C}$ .



Рис.102. Контрольный участок бурозема под буковым лесом

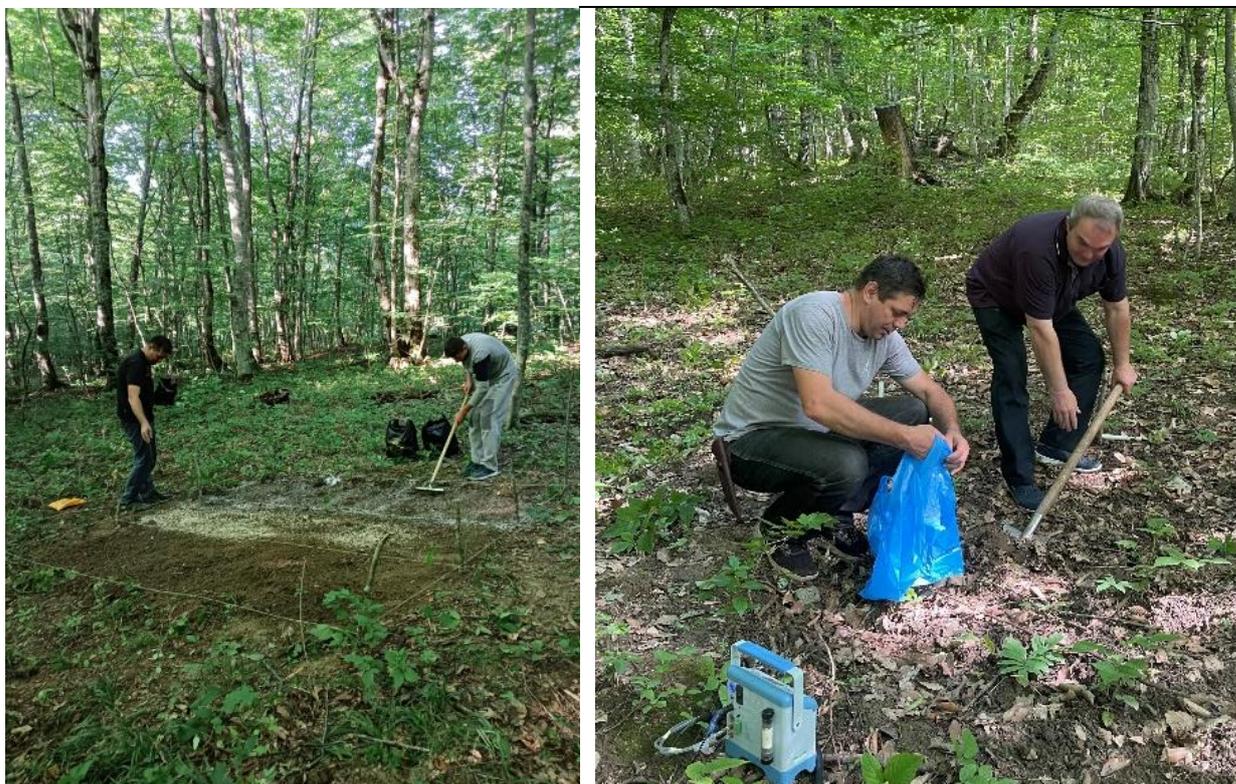


Рис. 103. Закладка полевого опыта на деградированном буроземе, 9.08.2022 г.



Рис.104. Опытный участок бурозема в полевом опыте, 25.08.2022 г.



Рис. 105. Опытный участок бурозема в полевом опыте, июнь 2023 г.

Таблица 23

## Температура верхнего слоя бурозема, °С

Дата	Воздух	Поверхность	5см	10см
25.08.2022 г.	27,0	24,3	20,8	20,3
23.06.2023 г.	25,0	24,7	18	16,

Таблица 24

## Температура поверхности бурозема, пирометр, °С

Дата	М	Дисперсия	m	Ошибка, %
25.08.2022 г.	21,3	0,31	0,19	1
23.06.2023 г.	23,1	0,42	0,22	1

Таблица 25

## Влажность бурозема, %

Дата	М	Дисперсия	m	Ошибка, %
25.08.2022 г.	7,0	2,70	0,55	8
23.06.2023 г.	19,2	8,07	0,95	5

Эмиссия углекислого газа из буроземов через 16 суток после внесения мелиорантов значительно уменьшилась в деградированном варианте бурозема по сравнению с фоновой почвой (рис. 106).

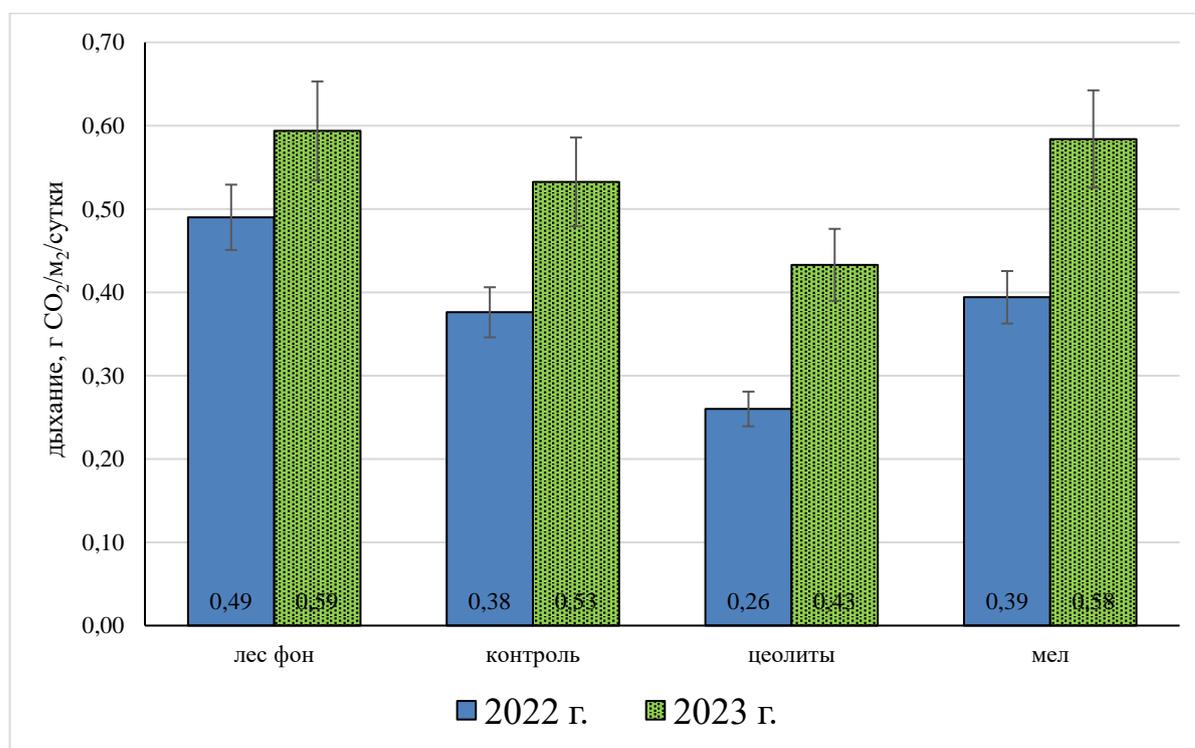


Рис. 106. Влияние мелиорантов на дыхание бурозема

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, как это было отмечено разными исследователями (Иванов и др., 2018, 2022; Лопес де Гереню и др., 2018; Осипов и др., 2018, 2023). 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 % (табл. 26). Это связано с более благоприятными условиями увлажнения почвы (см. табл. 25).

Таблица 26

Дыхание мелиорированного бурозема,  
23–24 июня 2023 г., (n=5–10)

№	Вариант	M	Дисперсия	m	ошибка опыта, %	% от контроля
1	фон	0,57	0,03	0,06	10	100
2	контроль	0,53	0,01	0,04	8	94
3	мел	0,58	0,02	0,07	12	103
4	цеолит	0,43	0,01	0,04	9	76

Влажность почвы была практически на оптимальном уровне для растений и протекания биологических процессов в почве. В варианте с внесением извести было дыхание выше по сравнению с контрольной почвой. Это небольшое

повышение интенсивности дыхания сохранилось с прошлого 2022 года. В варианте с внесением цеолитов дыхание в 2023 году было меньше, но разница с контролем по сравнению с годом внесения была существенно меньше. Добавление извести существенно снизило кислотность почвы (рис. 107). 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 рН почвы контрольного варианта, а в варианте с внесением извести почва еще больше увеличила рН по сравнению. Разница с почвой контрольного участка составляла уже 1,5 единицы рН.

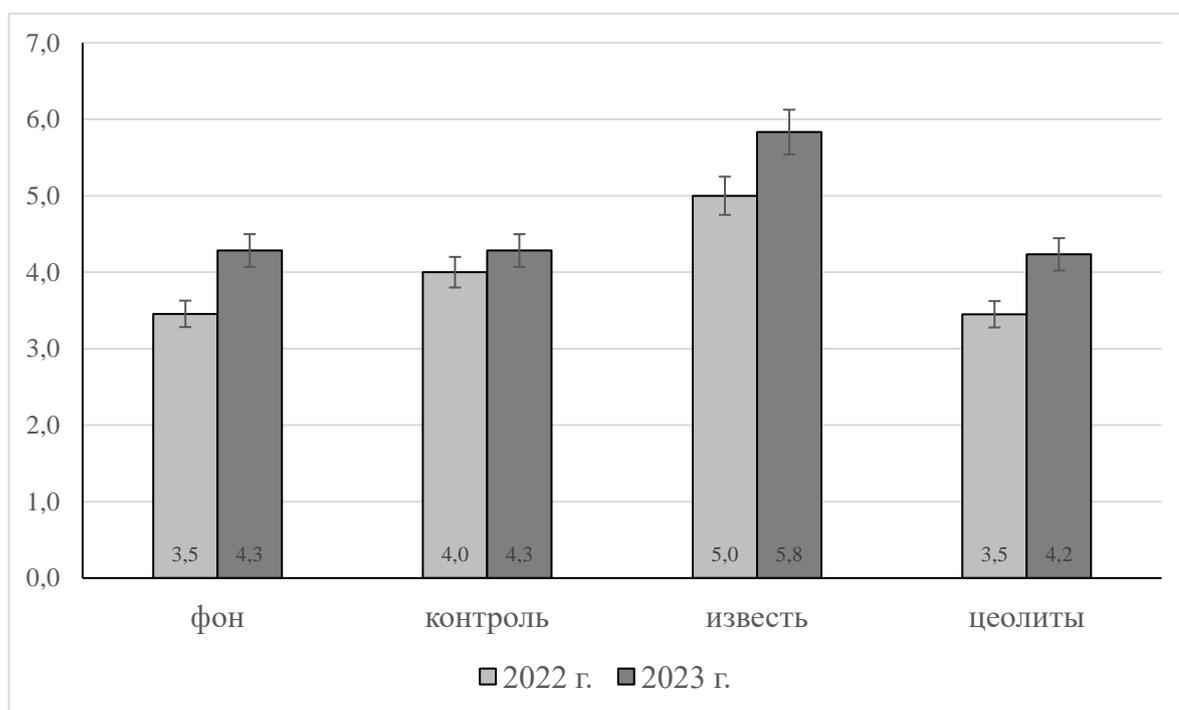


Рис. 107. Реакция среды буроземов в разных вариантах полевого опыта

В целом ферментативная активность буроземов по шкалам Д.Г. Звягинцева (1978) находится на низком уровне для каталазы и инвертазы, активность уреазы можно определить на повышенном уровне. Деградированный бурозем опытного участка обладает уменьшенными на 15 % значениями активности инвертазы, но более высокими значениями (на 27 %) активности уреазы по сравнению с фоновой почвой (рис. 108). Активность каталазы в слое 0–10 см

и в слое 10–20 см почвы была на одном уровне. Внесение мелиорантов в обоих вариантах опыта значительно уменьшает активность всех исследуемых ферментов. Наибольшее снижение отмечено для активности уреазы при добавлении цеолитов: здесь уменьшение значений фермента произошло почти в 4 раза. Исключением оказалась инвертаза в варианте с внесением извести. В этом случае отмечено недостоверное увеличение значений этого фермента (+6 %).

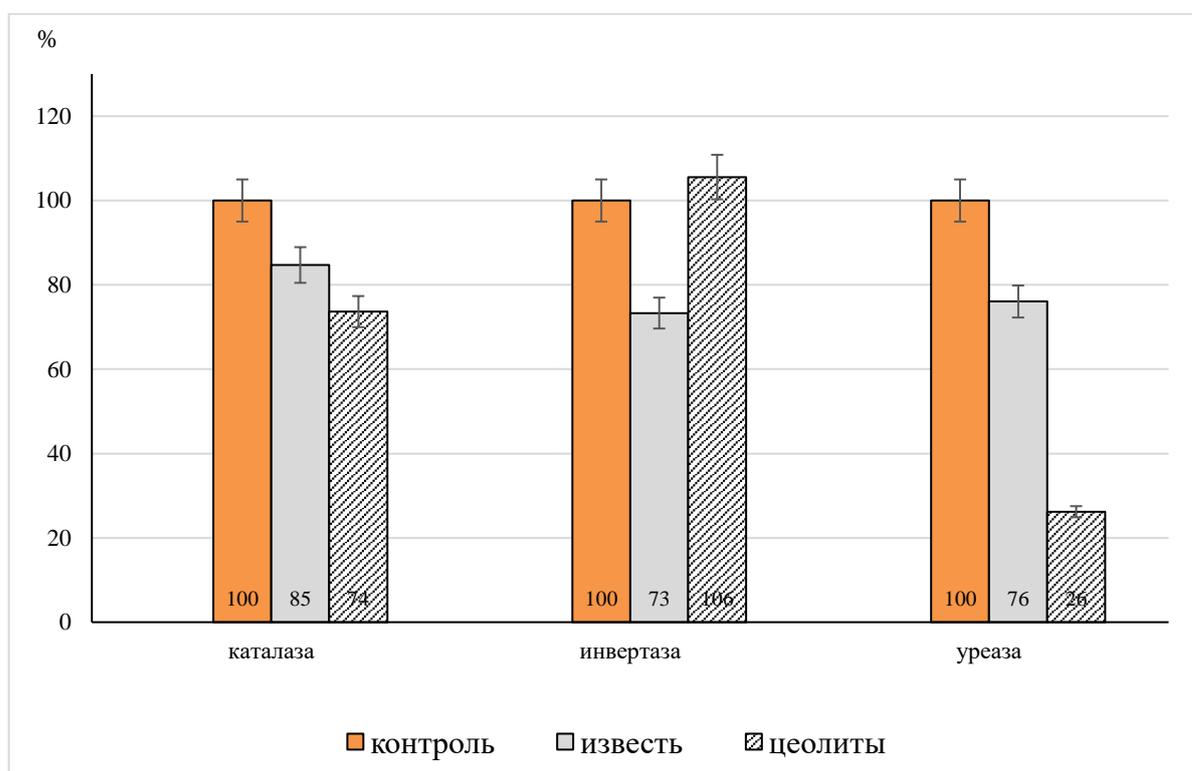


Рис. 108. Ферментативная активность буроземов в разных вариантах полевого опыта, 25.08.2022 г.

Ранее было установлено благотворное влияние внесения извести на активность пероксидазы (повышение в среднем на 23–24 % через 90 суток) за счет снижения обменной кислотности с повышением  $pH_{KCl}$  до слабокислых и нейтральных значений (Вилкова и др., 2022б). Мелиоранты оказывают стимулирующее воздействие и после термического воздействия, которое является основным ингибирующим фактором при пожарах. Активность каталазы после внесения извести и цеолита в постпирогенную почву увеличивается в 3 и 8,5 раза соответственно (Вилкова и др., 2022б).

Через год после внесения мелиорантов активность ферментов изменилась. Средняя активность каталазы, характерная для фонового леса, немного увеличивается в контрольном варианте (табл. 27). Почва с внесением извести практически не отличалась от контрольного варианта. Внесение цеолитов все еще оказывало негативное влияние на активность каталазы практически на уровне года внесения этого мелиоранта.

Таблица 27

Активность каталазы, мл O<sub>2</sub>/г/мин

№	Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка опыта, %	% от контроля
1	фон	3,2	1,3	0,3	10	66
2	контроль	4,9	0,7	0,3	6	100
3	мел	4,7	0,9	0,3	7	97
4	цеолит	3,4	0,7	0,3	9	71

Активность дегидрогеназ значительно (более чем в 3,5 раза) увеличилась в варианте с известью (табл. 28). Цеолиты способствовали ингибированию активности этого фермента на 31 %.

Таблица 28

Активность дегидрогеназ, мг ТТФ/10г/24ч

№	Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка опыта, %	% от контроля
1	фон	14,9	192,6	4,9	33	60
2	контроль	24,6	555,0	8,3	34	100
3	мел	88,4	1064,3	11,5	13	359
4	цеолит	16,9	5,5	0,8	5	69

Активность уреазы при внесении мелиорантов была снижена на 28–37 % относительно контрольных значений (табл. 29).

Таблица 29

Активность уреазы, мг N-NH<sub>4</sub>/10г/24ч

№	Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка опыта, %	% от контроля
1	фон	32,6	425,6	7,3	22	94
2	контроль	34,8	1208,3	12,3	35	100
3	мел	21,9	220,2	5,2	24	63
4	цеолит	25,1	383,6	6,9	28	72

При этом цеолиты через год после внесения несколько снизили негативное воздействие по сравнению с годом внесения, когда они подавили активность уреазы почти в 4 раза. Ранее в лабораторном эксперименте отмечали благотворное влияние цеолита на активность уреазы (Вилкова и др., 2022б).

Активность инвертазы существенно ниже в опытных вариантах по сравнению с контрольным (табл. 30). Особенно сильное уменьшение значений отмечено в варианте с известью.

Таблица 30

Активность инвертазы, мг глюкозы/г/24 часа

№	Вариант	M	Дисперсия	m	ошибка опыта, %	% от контроля
1	фон	2,5	0,7	0,3	11	93
2	контроль	2,7	0,8	0,3	12	100
3	мел	0,9	0,0	0,1	7	34
4	цеолит	2,1	0,4	0,2	10	78

Содержание гумуса в 2023 году было максимальным в почве фонового леса, что связано с удалением поверхностного, самого биогенного и богатого органическим веществом слоя почвы в контрольном варианте (табл. 31).

Таблица 31

Содержание гумуса, %

№	Вариант	M	Дисперсия	m	ошибка опыта, %	% от контроля
1	фон	4,2	0,6	0,3	7	115
2	контроль	3,7	0,0	0,1	2	100
3	мел	3,2	0,3	0,2	6	86
4	цеолит	2,7	0,3	0,2	8	74

Меньшие значения в почве опытных вариантов на данном этапе исследований не могут быть объяснены, и факт снижения требует дальнейших исследований. Возможно, это связано с большим закреплением гумусовых кислот с минеральными компонентами цеолита и извести, в связи с чем может быть изменена степень окисления органических веществ при бихроматном методе определения. Для оценки фитотоксических свойств бурозема при применении цеолита и извести в качестве мелиорантов использовали ячмень сорта «Леон».

Прорастание семян при внесении этих веществ ухудшалось на 12–21 % (табл. 32). Однако масса растений на начальном этапе роста при внесении мелиорантов изменилась недостоверно (табл. 33).

Таблица 32

Прорастание семян ячменя, %

№	Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка опыта, %	% от контроля
1	фон	65,0	17,5	1,5	2	86
2	контроль	75,6	7,3	1,0	1	100
3	мел	66,7	16,8	1,4	2	88
4	цеолит	60,0	10,9	1,2	2	79

Таблица 33

Фитомасса ячменя, г

№	Вариант	М	Дисперсия	m	ошибка опыта, %	% от контроля
1	фон	0,54	0,04	0,07	14	72
2	контроль	0,75	0,09	0,11	14	100
3	мел	0,68	0,05	0,08	11	90
4	цеолит	0,82	0,07	0,10	12	110

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. 109).

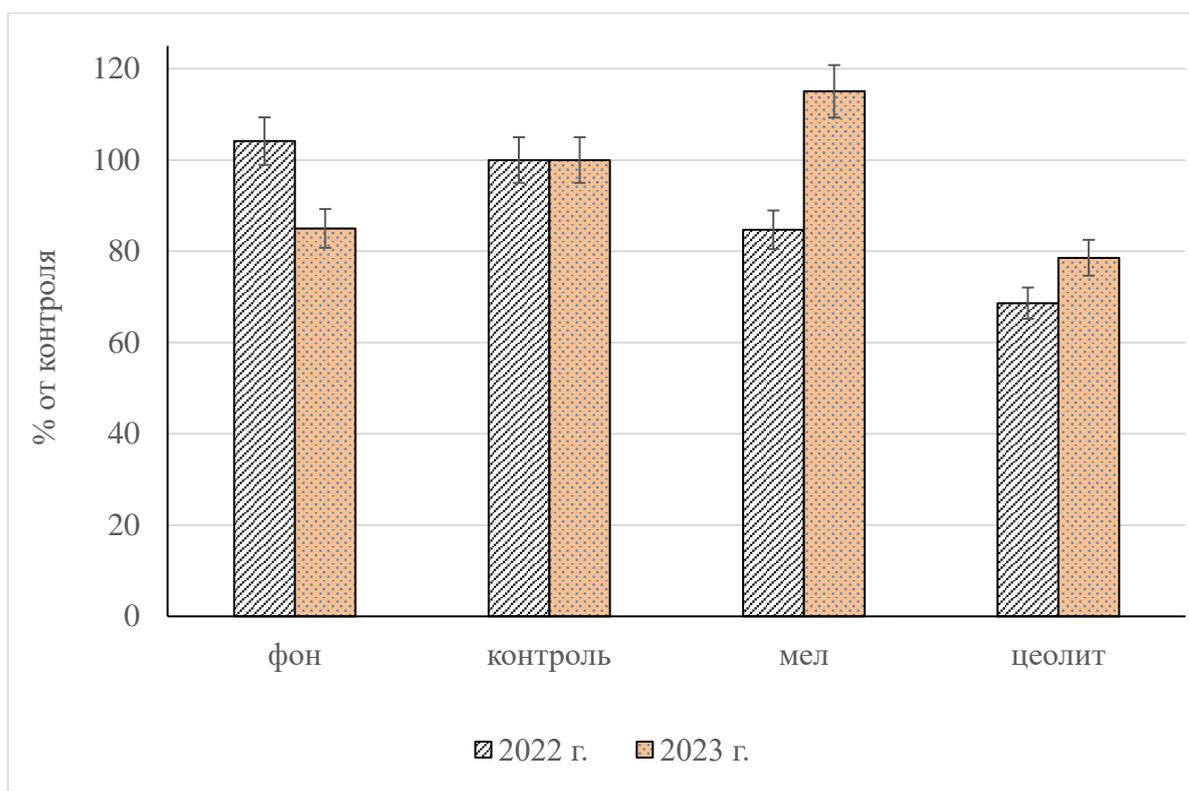


Рис. 109. Влияние мелиорантов на ИПБС бурозема

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 (рис. 109, табл. 34).

Проведение корреляционного анализа показало тесную положительную связь активности дегидрогеназ с величиной pH ( $R=0,97$ ), умеренную положительную связь активности дегидрогеназ и каталазы и инвертазы с уреазой (в обоих случаях  $R=0,59$ ), а также проращивание семян ячменя и содержание гумуса ( $R=0,47$ ). Для остальных исследуемых параметров прямолинейных связей не обнаружено (табл. 35).

Таблица 34

Биологическая активность бурозема через год после внесения мелиорантов

Вариант	pH	Дыхание, мг CO <sub>2</sub>	Гумус, %	Всхожесть, %	Фитомасса, г	Каталаза, мл O <sub>2</sub> /г/мин	Дегидрогеназы, мг ТТФ/10 г/24ч	Уреаза, мг N-NH <sub>4</sub> /10 г/24ч	Инвертаза, мг глюкозы/г/24 часа	ИПБС, % от контроля
фон	4,3	0,57	4,2	65	0,54	3,2	14,9	32,6	2,5	84
контроль	4,3	0,53	3,7	76	0,75	4,9	24,6	34,8	2,7	100
мел	5,8	0,58	3,2	67	0,68	4,7	88,4	21,9	0,9	115
цеолит	4,2	0,43	2,7	60	0,82	3,4	16,9	25,1	2,1	79

Таблица 35

Корреляционная матрица показателей мелиорированного бурозема, июнь 2023 г.

Показатели	pH	каталаза	дегидрогеназы	уреаза	всхожесть	фитомасса	гумус	инвертаза
pH		0,49	0,97	0,13	0,07	-0,22	-0,11	-0,30
каталаза			0,59	0,19	0,08	-0,19	0,22	0,14
дегидрогеназы				0,04	0,03	-0,17	-0,09	-0,32
уреаза					0,19	-0,01	-0,01	0,59
всхожесть						-0,14	0,47	0,02
фитомасса							-0,36	0,14
гумус								-0,31

Исследование влияния мелиорантов через 16 суток после внесения на биологическую активность деградированного бурозема показало негативный эффект в случае с добавлением цеолита. Внесение извести практически не привело к изменению дыхания почв, активности инвертазы и каталазы. Отсутствие позитивного эффекта на биологическую активность бурозема связано с низкой влажностью почвы и незначительным сроком воздействия мелиоранта. 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, хоть 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 теп 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 варьирова-

нии 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 лет 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 (более 11 лет) постпирогенного восстановления 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. Общими экосистемными последствиями 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).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамян С.А. Изменение ферментативной активности почвы под влиянием естественных и антропогенных факторов // Почвоведение, 1992. №7. С. 70–82.
2. Азаренко (Мясникова) М.А., Казеев К.Ш., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение растительного покрова и биологических свойств черноземов в постагрогенный период // Почвоведение. 2020. № 11. С. 1412–1422.
3. Акатов В.В. Состав, видовое богатство и размер видového пула моно- и олигодоминантных древостоев Западного Кавказа // Растительность России. 2018. № 32. С. 3–18.
4. Акатов В.В. Структура доминирования в древостоях лесов Западного Кавказа: факторы и механизмы // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134. № 3. С. 257–269.
5. Акатов В.В., Голгофская К.Ю., Горчарук Л.Г., Дуров В.В., Кипиани В.В., Кудактин А.Н., Немцев А.С., Придня М.В., Тильба П.А., Топилина В.Г. Кавказский заповедник. // Заповедники СССР. Заповедники Кавказа. — М., Мысль, 1990. <http://oopt.info/index.php?oopt=935>
6. Акатова Т.А. Листостебельные мхи Кавказского заповедника: Западный Кавказ : автореферат дис. ... кандидата биологических наук. Москва, 2004. — 29 с.
7. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние антибиотиков (бензилпенициллина, фармазина, нистатина) на биологические свойства чернозема обыкновенного // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1095–1101.
8. Акименко Ю.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экологические последствия загрязнения чернозема антибиотиками. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. 103 с.
9. Алисов Б.П. Климат СССР. Учебное пособие. М.: МГУ, 1956. 126 с.
10. Атлас государственного природного заповедника «Утриш». Том. 2. Анапа. 2013. 88 с.

11. Бакаева З.М., Замолотчиков Д.Г. Запасы и потоки углерода в лесах Северного Кавказа // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2009. № 5. С. 78–82.
12. Безкоровайная И.Н., Антонов Г.И., Пономарева Т.В., Климченко А.В. Воздействие выборочных рубок на содержание азота в дерново-подзолистых сосняках Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2013. № 6. С. 10–16.
13. Безкоровайная И.Н., Борисова И.В., Ильин А.А. Минерализация почвенного азота в послепожарных листовничниках центральной Эвенкии // Российский журнал прикладной экологии. 2019. № 1 (17). С. 3–6.
14. Безкоровайная И.Н., Иванова Г.А., Тарасов П.А., Сорокин Н.Д., Богородская А.В., Иванов В.А., Коначев С.Г., Макрае Д.Д. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края // Сибирский экологический журнал. 2005. Т. 12. № 1. С. 143–152.
15. Безуглова О.С., Лыхман В.А., Горюнов А.В., Полиенко Е.А. Влияние гуминового удобрения на структуру и микробиологическую активность чернозема южного под различными культурами // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2015. Т. 17. № 6. С. 164–168.
16. Безуглова О.С., Лыхман В.А., Горюнов А.В., Полиенко Е.А., Дубинина М.Н. Адаптогенное действие гуминового препарата при возделывании озимой пшеницы // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 11. С. 53–56.
17. Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Горюнов А.В. Гуминовые препараты как стимуляторы роста растений и микроорганизмов (обзор) // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2016. № 4 (60). С. 11–14.
18. Безуглова О.С., Халецкая Г.Ю. Влияние гуминовых препаратов из сапропеля на овощные культуры // АгроЭкоИнфо. 2022. № 5 (53).
19. Бердникова Л.Н. Влияние опасных и вредных факторов лесных пожаров на окружающую среду // Безопасность и экология транспортно-технологических средств. Красноярск, 2019. С. 47–55.

20. Богородская А.В., Кукавская Е.А., Каленская О.П., Буряк Л.В. Микробиологическая оценка состояния почв хвойных лесов Средней Сибири после пожаров разной интенсивности // Лесоведение. 2019. №2. С.138–156.
21. Богородская А.В., Краснощекова Е.А., Безкоровайная И.Н., Иванова Г.А. Послепожарная трансформация микробсообществ и комплексов беспозвоночных в почвах сосняков Центральной Сибири // Сибирский экологический журнал, 2010, № 6. С. 893–901.
22. Буряк Л.В., Каленская О.П. Влияние пожаров на формирование насаждений Нижнего Приангарья. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2020. – 140 с.
23. Вальков В.Ф. Генезис почв Северного Кавказа. Ростов н/Д. Изд-во РГУ. 1977. 159 с.
24. Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кузнецов Р.В. Плодородие почв и сельскохозяйственные растения: экологические аспекты. Ростов н/Д: Изд-во ЮФУ, 2008а. 416 с.
25. Вальков В.Ф., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Кузнецов Р.В. Почвенно-экологические аспекты растениеводства. Ростов н/Д: Изд-во «Ростиздат», 2007а. 392 с.
26. Вальков В.Ф., Елисеева Н.В., Имгрунт И.И., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Справочник по оценке почв. Майкоп: ГУРИПП. «Адыгея», 2004. 236 с.
27. Вальков В.Ф., Казадаев А.А., Гайдамакина Л.Ф., Перемужева Л.А., Пелипенко О.Ф., Стаев А.А., Нечепуренко В.Э. Биологическая характеристика чернозема обыкновенного. // Почвоведение, 1989, №7. С.67-74.
28. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С. И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во Эверест, 2008б. 276 с.
29. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Кутровский М.А. Почвообразование на известняках и мергелях. Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2007б. 198 с.
30. Вальков В.Ф., Колесников С.И., Казеев К.Ш. Почвы юга России: классификация и диагностика. Ростов н/Д: Изд-во СКНЦ ВШ, 2002. 168с.

31. Вальков В.Ф., Штомпель Ю.А., Трубилин И.Т., Котляров Н.С. Почвы Краснодарского края, их использование и охрана. Отв. Ред. В.Ф. Вальков. Ростов н/Д, Изд-во СКНЦ.1996. 191 с.
32. Вардуни В.М., Колесников С.И., Тимошенко А.Н., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние наночастиц  $Al_2O_3$ ,  $TiO_2$ ,  $Fe_2O_3$  и  $SiO_2$  на биологическое состояние чернозема обыкновенного // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2019. № 3. С. 95–100.
33. Васенев В.И., Варенцов М.И., Саржанов Д.А., Махиня К.И., Госсе Д.Д., Петров Д.Г., Долгих А.В. Влияние мезо- и микроклиматических условий на эмиссию  $CO_2$  почв объектов городской зеленой инфраструктуры Московского мегаполиса // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1089–1102.
34. Васенев И.И., Комарова Т.В., Эльвира А., Васенев П.И., Аднане И.А. Экологическая оценка двух видов южно-таежного землепользования по почвенной эмиссии  $CO_2$  в условиях Центрального региона России // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022а. – № 4.
35. Васенев И.И., Мелесе С.М., Малахов А.О. Экологическая оценка сезонной динамики почвенных потоков  $CO_2$  и содержания гумуса дерново-подзолистых почв на склоновой катене лесопарка при разных уровнях рекреационной нагрузки // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2022б. – № 4.
36. Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Привизенцева Д.А., Нижельский М.С., Колесников С.И. Изменение активности ферментов постпирогенных почв заповедника «Утриш» (Россия) на ранних стадиях сукцессии // Nature Conservation Research. Заповедная наука. 2023. 8(3).
37. Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Шабунина В.В., Колесников С.И. Ферментативная активность постпирогенных почв заповедника «Утриш» // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2021. № 138. С. 71–77.

38. Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Шхапацев А.К., Колесников С.И. Реакция ферментативной активности почв ксерофитных лесов черноморского побережья Кавказа на пирогенное воздействие // Аридные экосистемы. 2022а. Т. 28, № 1 (90). С. 107–114.
39. Вилкова В.В., Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Приходько В.Д., Нижельский М.С., Колесников С.И. Влияние мелиорантов на биологическую активность бурозема после термического воздействия в модельных экспериментах // Агрехимический вестник. – 2022б. - №5. – С. 70–76.
40. Воробьева Л.А. (ред.) Теория и практика химического анализа почв. М: ГЕОС, 2006. - 400 с.
41. Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Комиссаров М.А., Сулейманов Р.Р., Суюндуков Я.Т., Хасанова Р.Ф., Сидорова Л.В., Комиссаров А.В., Сулейманов А.Р., Назырова Ф.И. Влияние пожаров на свойства степных почв Зауралья // Почвоведение. 2019, № 12. С. 1513–1523.
42. Габбасова И.М., Гарипов Т.Т., Сулейманов Р.Р., Комиссаров М.А., Хабиров И.К., Сидорова Л.В., Назырова Ф.И., Простякова З.Г., Котлугалямова Э.Ю. Влияние низовых пожаров на свойства и эрозию лесных почв Южного Урала (Башкирский государственный природный заповедник) // Почвоведение. 2019. №4. С. 412–421.
43. Гаврилюк Ф.Я. Полевые исследования и картирование почв. Ростов-на-Дону. Изд-во РГУ, 1990. 224 с.
44. Галстян А.Ш. Об устойчивости ферментов почв // Почвоведение. 1982. №4. С. 108–110.
45. Галстян А.Ш. Унификация методов исследования активности ферментов почв // Почвоведение, 1978. №2. С. 107–114.
46. Галстян А.Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван. Ай-астан. 1974. 275 с.
47. Гарькуша Д.Н., Фёдоров Ю.А., Тамбиева Н.С., Мельников Е.В. Эмиссия метана рисовыми полями Ростовской области // Почвоведение. 2023. № 8. С. 889-902.

- 48.Гвоздецкий Н.А. Кавказ: Очерк природы. – М., 1963. 264 с.
- 49.Гвоздецкий Н.А. Физическая география Кавказа. – Изд-во МГУ. 1954. – 170 с.
- 50.Гедгафова Ф.В., Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Цепкова Н.Л., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М., Даова К.Х. Оценка изменения биологической активности горных лугово-степных почв пастбищ разных стадий дигрессии Центрального Кавказа // Почвоведение. 2023. № 6. С. 787–798.
- 51.Глобальная оценка лесных ресурсов 2020 года. Основные выводы. Рим. ФАО. 2020. <https://doi.org/10.4060/ca8753ru>
- 52.Глуховский А.Б., Шхапацев А.К. Проблемы получения экологически безопасной продукции // Агрехимический вестник. 1998. № 3. С. 34–36.
- 53.Глушакова А.М., Лысак Л.В., Умарова А.Б., Прокофьева Т.В., Подушин Ю.В., Быкова Г.С., Малюкова Л.П. Бактериальные комплексы урбаноземов некоторых южных городов России // Почвоведение. 2021. №2. С. 224–231.
- 54.Голгофская К. Ю. Типы буковых и пихтовых лесов бассейна реки Белой и их классификация // Тр. Кавказского гос. заповедника. Майкоп, 1967. Вып. 9. – С. 157-283.
- 55.Гонгальский К.Б. Пространственное распределение крупных почвенных беспозвоночных на пожарищах в ксерофильных экосистемах Черноморского побережья Кавказа // Аридные экосистемы. 2011. Т. 17. № 4 (49). С. 95–103.
- 56.Гонгальский К.Б., Зайцев А.С. Роль гетерогенности среды в восстановлении почвенной фауны после пожаров // Доклады Академии наук. 2016. Т. 471. № 4. С. 479–482.
- 57.Гончарова Л.Ю., Безуглова О.С., Вальков В.Ф. Сезонная динамика содержания гумуса и ферментативной активности чернозема обыкновенного карбонатного // Почвоведение, 1990. №10. С.86 –93.

58. Горбов С.Н., Горовцов А.В., Безуглова О.С., Вардуни Т.В., Тагивердиев С.С. Биологическая активность запечатанных почв Ростова-на-Дону // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2016. Т. 18. № 2-2. С. 331–336.
59. Горбов С.Н., Васенев В.И., Минаева Е.Н., Тагивердиев С.С., Скрипников П.Н., Безуглова О.С. Краткосрочная динамика эмиссии CO<sub>2</sub> и содержания углерода в городских почвенных конструкциях степной зоны // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1103–1115.
60. Горобцова О.Н., Гедгафова Ф.В., Улигова Т.С., Темботов Р.Х. Сравнительная оценка биологических свойств почв культурных и естественных ценозов Центрального Кавказа (на примере территорий терского варианта пояса в пределах Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2016. № 1. С. 100–106.
61. Горобцова О.Н., Улигова Т.С., Гедгафова Ф.В., Темботов Р.Х., Хакунова Е.М. Биологическая активность почв в поясе широколиственных лесов Центрального Кавказа // Лесоведение. 2021. №1. С.78–92.
62. Горобцова О.Н., Хежева Ф.В., Улигова Т.С., Темботов Р.Х. Эколого-географические закономерности изменения биологической активности автоморфных почв равнинных и предгорных территорий северного макросклона Центрального Кавказа (в пределах Кабардино-Балкарии) // Почвоведение. 2015. № 3. С.347–359.
63. Горшков В.В., Ставрова Н.И. Пожары как фактор нарушения бореальных лесов // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. СПб: БИН РАН, 2005. С. 237–238.
64. Государственный природный заповедник «Утриш». Атлас. Научные труды. Т. 2. Анапа, 2013. 88 с.
65. Грабенко Е.А., Татаренко Н.П. Зависимость лесорастительных и почвенных условий от абсолютной высоты в буково-пихтовых лесах Северо-Западного Кавказа // Вестник Майкопского государственного технологического университета. 2010. № 1. С. 134–138.

66. Гродницкая И.Д., Пашкеева О.Э., Старцев В.В., Дымов А.А. Дыхательная активность и биоразнообразие микробиомов подзолистых почв постпирогенных еловых лесов Красноярского края и Республики Коми // Почвоведение. 2023. № 6. С. 758–773.
67. Гынинова А.Б., Дыржинов Ж.Д., Куликов А.И., Гынинова Б.Д., Гончиков Б.Н. Послепожарная эволюция песчаных почв под сосновыми лесами в Прибайкалье // Почвоведение. 2019. №4. С. 451–463.
68. Даденко Е.В., Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Оценка применимости показателей ферментативной активности в биодиагностике и мониторинге почв // Поволжский экологический журнал. 2013. № 4. С. 385–393.
69. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методы определения ферментативной активности почв. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2021. – 174 с.
70. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Изменение ферментативной активности почвенных образцов при их хранении // Почвоведение. 2009. № 12. С. 1481–1486.
71. Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню // Почвоведение. 2014. №6. С. 724–733.
72. Демина О.Н., Рогаль Л.Л., Сулова Е.Г., Дмитриев П.А., Кожин М.Н., Серегин А.П., Быхалова О.Н. Конспект флоры государственного природного заповедника "Утриш" // Живые и биокосные системы. 2015. № 13. С. 8.
73. Денисова Т.В., Казеев К.Ш. Восстановление ферментативной активности чернозема после воздействия  $\gamma$ -излучения // Радиационная биология. Радиозэкология. 2005. Т. 45. № 6. С. 1–5.
74. Денисова Т.В., Казеев К.Ш. Чувствительность основных групп почвенных микроорганизмов чернозема обыкновенного к гамма-излучению // Экология. 2008. № 2. С. 110–115.

75. Денисова Т.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Интегральная оценка электромагнитных воздействий различной природы на биологические свойства почв юга России // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1386–1390.
76. Добровольский Г.В., Никитин Е. Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. - 261 с.
77. Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. №7. С.787–798.
78. Дымов А.А., Бобкова К.С., Тужилкина В.В., Ракина Д.А. Растительный опад в коренном ельнике и лиственнично-хвойных насаждениях // Известия высших учебных заведений // Лесной журнал. 2012. №3. С. 7–18.
79. Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2014. № 2. -С. 144–154.
80. Дымов А.А., Старцев В.В., Горбач Н.М., Паюсова И.В., Габов Д.Н., Доннерхак О. Сравнение методов определения соединений углерода пирогенно измененных органических соединений // Почвоведение. 2021. №12. С.1332–1345.
81. Дымов А.А., Старцев В.В., Горбач Н.М., Севергина Д.А., Кутявин И.Н., Осипов А.Ф., Дубровский Ю.А. Изменения почв и растительности при разном числе проездов колесной лесозаготовительной техники (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2022. № 11. С. 1426–1441.
82. Дымов А.А., Старцев В.В., Зуева О.М. Углерод водорастворимых соединений в лесных почвах и его постпирогенная динамика (на примере республики Коми) // Лесоведение. 2018. №5. С.359–371.
83. Ермолаева О. Ю., Шхапацев А. К., Солдатов В. П., Казеев К. Ш., Особенности растительности самозарастающих вырубок среднегорий Северо-Западного Кавказа // Живые и биокосные системы. – 2023. – № 44.
84. Ермолаева О. Ю., Хитрина А. К., Казеев К. Ш. Динамика растительного покрова на рубках на известняковых массивах Западного Кавказа // Ак-

- туальные проблемы экологии и сохранения биоразнообразия России и сопредельных стран. Владикавказ: Сев.-Осет. гос. ун-т им. К.Л. Хетагурова, 2015.– С. 14–16.
85. Животов А.Д. Динамика метеорологических параметров на территории Кавказского заповедника (1985–2005 гг.) // Труды Кавказского государственного природного биосферного заповедника. – Вып.18. – Майкоп: ООО «Качество», 2008. – С. 6–21.
86. Заварзина А.Г., Данченко Н.Н., Демин В.В., Артемьева З.С., Когут Б.М. Гуминовые вещества – гипотезы и реальность (обзор) // Почвоведение. 2021. 12. С.1449–1480.
87. Зайцев А.С., Гонгальский К.Б., Коробушкин Д.И., Бутенко К.О., Горшкова И.А., Рахлеева А.А., Сайфутдинов Р.А., Костина Н.В., Шахаб С.В., Язрикова Т.Е. Снижение уровня функционирования почвенных пищевых сетей после пожаров на примере бореальных лесов Центральной России // Сибирский экологический журнал. 2017. Т.24. №3. С. 321–331.
88. Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. 1978. №6. С. 48–54.
89. Зернов А.А. Флора Северо-Западного Кавказа. Изд-во: КМК, М., 2006. – 664 с.
90. Зонн С.В. Горно-лесные почвы Северо-Западного Кавказа. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950. 335 с.
91. Иванов А.В., Браун М., Татауров В.А. Сезонная и суточная динамика эмиссии CO<sub>2</sub> из почв кедровых лесов южного Сихотэ-Алиня // Почвоведение. 2018. №6. С.297–303.
92. Иванов А.В., Замолотчиков Д.Г., Сало М.А., Кондратова А.В., Пилецкая О.А., Брянин С.В. Дыхание почв лесных экосистем юга Дальнего Востока // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1023–1033.
93. Иванов А.В., Сало М.А., Толстикова В.Ю., Брянин С.В., Замолотчиков Д.Г. Влияние ветровала на эмиссию диоксида углерода и запасы тонких корней

- в почвах центрального Сихотэ-Алиня // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1255–1264.
94. Кавказский государственный природный биосферный заповедник. Флора и микобиота. <https://www.kavkazzapoved.ru/flora-i-mikobiota> (дата обращения 17.03.2023 г.)
95. Казеев К.Ш., Антонова О.Д., Колесников С.И., Вернигорова Н.А. Ферментативная активность некоторых почв Крыма // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ) [Электронный ресурс]. – Краснодар: КубГАУ, 2014. – №10(104).
96. Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Колесников С.И. Атлас почв юга России. Ростов н/Д: Изд-во «Эверест», 2010. 128 с.
97. Казеев К.Ш., Гайдамакина Л.Ф., Овдиенко Р.В., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Зональная изменчивость почв Северного Кавказа // Известия РАН. Серия географическая, 2006. № 5, С. 36–45.
98. Казеев К.Ш., Козин В.К., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологические особенности почв влажных субтропиков // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1474–1478.
99. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Колесников С.И. Использование интегрального показателя для оценки пространственной дифференциации биологических свойств почв юга России в градиенте аридности климата // Сибирский экологический журнал. 2015а. Т. 22. №1. С. 112–120.
100. Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Самохвалова Л.С., Колесников С.И. Влияние аридности и континентальности климата на биологические свойства почв в трансекте Ростов-на-Дону - Астрахань // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2015б. № 5. С. 46–53.
101. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004а. 350 с.
102. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Атлас почв Азово-Черноморского бассейна. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015в. 80 с.

103. Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета. 2012. 260 с.
104. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016а. 356 с.
105. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов н/Д: Изд-во РГУ, 2003. 204 с.
106. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Гумусовое состояние почв предгорий Северо-Западного Кавказа // Почвоведение. 1998. №7. С. 848–853.
107. Казеев К.Ш., Кутровский М.А., Даденко Е.В., Везденева Л.С., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Влияние карбонатности пород на биологические свойства горных почв Северо-Западного Кавказа // Почвоведение. 2012а. №3. С. 327–335.
108. Казеев К.Ш., Одабашян М.Ю., Трушков А.В., Колесников С.И. Оценка влияния разных факторов пирогенного воздействия на биологические свойства чернозема // Почвоведение. 2020а. № 11. С. 1372–1382.
109. Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Шхапацев А.К., Шевченко Н.Е., Грабенко Е.А., Ермолаева О.Ю., Колесников С.И. Изменение свойств дерново-карбонатных почв после сплошной рубки в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 2021. №4.С. 426–436.
110. Казеев К.Ш., Тер-Мисакянц Т.А., Ермолаева О.Ю., Козунь Ю.С., Прудникова М.А., Магомедов М.А., Бахарева Л.В., Чернокалова Е.В. Колесников С.И., Деградация экосистем известняковых массивов Западного Кавказа при вырубке леса // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). №91(10). 2013а. С. 1900–1911.

111. Казеев К.Ш., Тер-Мисакянц Т.А., Колесников С.И., Козунь Ю.С. Биодиагностика экологического состояния почв Западного Кавказа после вырубки леса // Известия Самарского научного центра РАН. 2013б. Т.15. №3(5). С. 1299–1301.
112. Казеев К.Ш., Тер-Мисакянц Т.А., Кузнецова Ю.С., Поляков А.И., Кутузова И.В., Мазанко М.С., Прудникова М.В., Колесников С.И. Влияние вырубки леса на биологические свойства горных почв Западного Кавказа // Политематический сетевой электронный научный журнал КубГАУ. 2012б. №08(82). С. 1059–1069.
113. Казеев К.Ш., Трушков А.В., Одабашян М.Ю., Колесников С.И. Постагрогенное изменение ферментативной активности и содержания органического углерода чернозема в первые 3 года залежного режима // Почвоведение, 2020б. № 7. С. 901–910.
114. Казеев К.Ш., Фомин С.Е., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологические свойства локально переувлажненных почв Ростовской области // Почвоведение. 2004б. № 3. С. 361–372.
115. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Козунь Ю.С., Полувянова В.С., Быхалова О.Н. Биологическая диагностика экологического состояния почв мониторинговых площадок заповедника «Утриш» // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016б. №1 (189). С. 61–65.
116. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Быхалова О.Н. Почвенный покров заповедника «Утриш». Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015г. – 104 с.
117. Кандашова К.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Биодиагностика деградации чернозема при развитии процессов гидроморфизма (в модельном эксперименте) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 18.№2 (2). 2016в. С. 389–392.
118. Кандашова К.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Изменение эколого-биологических свойств почв юга России при оглеении // Известия высших

- учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016а. № 2 (190). С. 61–67.
119. Карелин Д.В., Азовский А.И., Куманяев А.С., Замолотчиков Д.Г. Значение пространственного и временного масштаба при анализе факторов эмиссии CO<sub>2</sub> из почвы в лесах Валдайской возвышенности // Лесоведение, 2019, № 1. С. 29–37.
120. Карелин Д.В., Горячкин С.В., Кудиков А.В., Лопес де Гереню В.О., Лунин В.Н., Долгих А.В., Люри Д.И. Изменение запасов углерода и эмиссии CO<sub>2</sub> в ходе постагрогенной сукцессии растительности на серых почвах в Европейской части России // Почвоведение. 2017. №5. С.580-594.
121. Карелин Д.В., Люри Д.И., Горячкин С.В., Лунин В.Н., Кудиков А.В. Изменение почвенной эмиссии диоксида углерода в ходе постагрогенной сукцессии в черноземной лесостепи // Почвоведение, 2015. № 11. С. 1354–1366.
122. Карелин Д.В., Суховеева О.Э., Глаголев М.В., Добрянский А.С., Сабреков А.Ф., Замотаев И.В. Годовой бюджет углеродсодержащих биогенных парниковых газов при смешанном землепользовании: Львовский район как модельный объект Центрального Черноземья // Почвоведение. 2023. №8. С. 911–924.
123. Классификация и диагностика почв России. Авторы и составители Л.Л. Шишов, В.Д. Тонконогов, И.И. Лебедева, М.И. Герасимова. Смоленск: Ойкумена, 2004. 343 с.
124. Классификация и диагностика почв СССР / Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. М.: Колос, 1977, 225 с.
125. Козунь Ю.С., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние климата на ферментативную активность лесных почв Северного Кавказа // Лесоведение. 2022. № 3. С. 262–269.
126. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000а. 232 с.

127. Колесников С.И., Жаркова М.Г., Везденеева Л.С., Кутузова И.В., Молчанова Е.В., Зубков Д.А., Казеев К.Ш. Оценка экотоксичности тяжелых металлов и нефти по биологическим показателям чернозема // Экология. 2014. №3. С. 158–163.
128. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Влияние загрязнения тяжелыми металлами на эколого-биологические свойства чернозема обыкновенного // Экология. 2000б. № 3. С. 193–201.
129. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологическое состояние и функции почв в условиях химического загрязнения. Ростов н/Д: Изд-во Ростиздат, 2006. 385 с.
130. Колесников С.И., Тимошенко А.Н., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В., Мясникова М.А. Оценка экотоксичности наночастиц меди, никеля и цинка по биологическим показателям чернозема // Почвоведение. 2019. № 8. С. 986–992.
131. Колесников С.И., Цепина Н.И., Минникова Т.В., Судьина Л.В., Казеев К.Ш. Биодиагностика устойчивости почв юга России к загрязнению серебром // Юг России: экология, развитие. 2021. Т.16, №1. С. 61–75.
132. Конюшков Д.Е., Герасимова М.И., Ананко Т.В. Корреляция дерново-карбонатных почв на почвенной карте РСФСР масштаба 1 : 2.5 млн и в системе классификации почв России // Почвоведение. 2019. № 3. С. 276–289.
133. Косенко И.С. Определитель высших растений Северо-Западного Кавказа и Предкавказья. М.: «Колос». 1970. 614 с.
134. Костенко И.В. Атлас почв Горного Крыма. – Киев: Редакция журнала "Аграрная наука", 2014. – 184 с.
135. Костенко И.В., Федоренко А.Н., Казеев К.Ш. Ферментативная активность горно-луговых почв Крыма [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 3. [http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/3/st\\_301.pdf](http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/3/st_301.pdf).

136. Кошовский Т.С., Гамова Н.С., Геннадиев А.Н., Фаронова Е.А., Язрикова Т.Е. Послепожарное состояние таежных почв хребта Хамар-Дабан (Прибайкалье) // Почвоведение. 2022. № 9. С. 10981111.
137. Краснощеков Ю.Н. Влияние низовых пожаров на эрозию почв в горных лесах Прибайкалья // География и природные ресурсы. 2022. Т. 43. № 2. С. 54–64.
138. Краснощеков Ю.Н. Постпирогенная изменчивость подстилки в горных лесах Прибайкалья // Почвоведение. 2019. №3. С. 290–303.
139. Краснощеков Ю.Н. Почвы горных лесов Прибайкалья и их трансформация под влиянием пожаров // Почвоведение. 2018а. №6. С.387–401.
140. Краснощеков Ю.Н., Евдокименко М.Д., Онучин А.А. Постпирогенная дигрессия лесных экосистем в горном Прибайкалье // Сибирский лесной журнал 2018б, №6. С. 46–57.
141. Краснощеков Ю.Н., Сорокин Н.Д. Почвенно-экологические изменения на вырубках и гарях Восточного Хэнтэя (МНР) // Почвоведение. 1988. №1. С.117–127.
142. Краснощеков Ю.Н., Чередникова Ю.С. Постпирогенная трансформация почв кедровых лесов в южном Прибайкалье // Почвоведение. 2012. № 10. С. 1057.
143. Кудаев М.И., Шхапацев А.К., Шеуджен А.Х., Елисеева Н.В. Агроэкологическая эффективность применения цеолитов в рисоводстве. Майкоп: Майкопский государственный технологический университет, 2000. 86 с.
144. Кудеяров В.Н. Дыхание почв и биогенный сток углекислого газа на территории России (аналитический обзор) // Почвоведение. 2018. №6. С.643–658.
145. Кудеяров В. Н. Почвенное дыхание и секвестрация углерода (обзор) // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1011–1022.

146. Кутровский М.А. Эколого-генетические особенности и антропогенная трансформация рендзин Черноморского побережья Кавказа. Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. Ростов-на-Дону, 2006, 164 с.
147. Кутровский М.А., Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Экологические особенности рендзин Черноморского побережья Кавказа // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. 2008. № 6. С. 97–101.
148. Литвинская С.А. Флорофитоценоотическое разнообразие Западного Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. № 1 (54). С. 37–48.
149. Литвинская С.А., Муртазалиев Р.А. Флора Северного Кавказа. М.: Издательство: Фитон XXI. 2013. 688 с.
150. Локтионова О.А. Гумусное состояние горно-лесных бурых почв Кавказского заповедника. Автореф. соиск. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2002, 21 с.
151. Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Хорошаев Д.А. Влияние контрастных режимов увлажнения на эмиссию CO<sub>2</sub> из серой лесной почвы под сеяным лугом и чистым паром // Почвоведение. 2018. №10. С. 1244–1258.
152. Лукина Н.В., Тихонова Е.В., Шевченко Н.Е., Горнов А.В., Кузнецова А.И., Гераськина А.П., Смирнов В.Э., Горнова М.В., Ручинская Е.В., Анищенко Л.Н., Тебенькова Д.Н., Данилова М.А., Бахмет О.Н., Крышень А.М., Князева С.В., Шашков М.П. [и др.]. Аккумуляция углерода в лесных почвах и сукцессионный статус лесов. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2018. 232 с.
153. Любимова И.Н. Возможные изменения почв сухостепной зоны в связи с глобальным изменением климата // Почвоведение. 2022. № 10. С. 1301–1309.
154. Мазиров М.А., Шеин Е.В., Корчагин А.А., Шушкевич Н.И., Дембовецкий А.В. Полевые исследования свойств почв: учеб. Пособие. Владимир: Изд-во ВлГУ, 2012. – 72 с.

155. Максимова Е. Ю. Оценка применения гуминовых препаратов в качестве мелиорантов для рекультивации деградированных постпирогенных почв. *Агрохимический вестник*. 2018. №1. – С. 46–51.
156. Максимова Е.Ю., Кудинова А.Г., Абакумов Е.В. Функциональная активность почвенных микробных сообществ постпирогенных островных сосновых лесов г. Тольятти Самарской области // *Почвоведение*. 2017. №2. С. 249–255.
157. Макушкин Э.О. Сравнительная оценка биологической активности почв верхней дельты р. Селенга по содержанию ферментов // *Вестник Томского государственного университета. Биология*. 2018. Т.42. С. 6–23.
158. Маслов А.А. Сукцессионная динамика древостоя и нижних ярусов в послепожарном 100-летнем сосняке лишайниково-зеленомошном // *Лесоведение*. 2002. № 2. С. 24–30.
159. Маслов М.Н., Маслова О.А., Поздняков Л.А., Копейна Е.И. Биологическая активность почв горно-тундровых экосистем при постпирогенном восстановлении // *Почвоведение*. 2018. №6. С.728–737.
160. Медведева М.В., Бахмет О.Н., Ананьев В.А., Мошников С.А., Мамай А.В., Мошкина Е.В., Тимофеева В.В. Изменение биологической активности почв в хвойных насаждениях после пожара в средней тайге Карелии // *Лесоведение*. 2020. №6. С.560–574.
161. Минеев В.Г., Сычѐв В.Г., Гамзиков Г.П., Шеуджен А.Х., Агафонов Е.В., Белоус Н.М., Егоров В.С., Подколзин А.И., Романенков В.А., Торшин С.П., Лапа В.В., Цыганов А.Р., Персикова Т.Ф., Елешев Р.Е., Сапаров А.С. *Агрохимия: Учебник*. М: Издательство Всероссийского научно-исследовательского института агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2017. – 854 с.
162. Минкина Т.М., Мотузова Г.В., Назаренко О.Г., Самохин А.П., Крыщенко В.С., Манджиева С.С. Влияние различных мелиорантов на подвижность цинка и свинца в загрязненном черноземе // *Агрохимия*. 2007. № 10. С. 67-75.

163. Минкина Т.М., Назаренко О.Г., Самохин А.П., Манджиева С.С. Изменение свойств загрязненной тяжелыми металлами почвы при использовании методов химической ремедиации // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2006. № 1 (133). С. 76-81.
164. Минкина Т.М., Полякова А.П., Манджиева С.С., Назаренко О.Г., Антоненко Е.М. Микробиологическая активность почв, прилегающих к Новочеркасской ГРЭС // Плодородие. 2010. № 6 (57). С. 39-41.
165. Минкина Т.М., Полякова А.П., Манджиева С.С., Назаренко О.Г., Сушкова С.Н. Ферментативная активность почв района Новочеркасской ГРЭС // Плодородие. 2011. № 1 (58). С. 32-34.
166. Минкина Т.М., Федосеенко С.В., Крыщенко В.С. Использование химических мелиорантов на черноземе обыкновенном, загрязненном свинцом // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2004. № 3 (127). С. 99-103.
167. Минникова Т.В., Колесников С.И., Казеев К.Ш., Акименко Ю.В. Влияние мелиорантов на биологическое состояние чернозема при нефтезагрязнении. Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2019. – 92 с.
168. Минникова Т.В., Лубенцова Д.В., Колесников С.И., Казеев К.Ш. Влияние санации гуминовыми веществами на биологическое состояние нефтезагрязненных черноземов // АгроЭкоИнфо. – 2020, №1. – [http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st\\_111.doc](http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_111.doc)
169. Минникова Т.В., Русева А.С., Колесников С.И., Ревина С.Ю., Гайворонский В.Г. Влияние биочара на экологическое состояние чернозема обыкновенного при загрязнении нефтью, бензином и мазутом // Агрехимия. 2022. № 9. С. 84-93.
170. Миркин Б.М., Наумова Л. Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998. 413 с.

171. Миркин Б.М., Наумова Л.Г. Современное состояние основных концепций науки о растительности. Уфа: Гилем, 2012. 488 с.
172. Миркин Б.М. и др. Современная наука о растительности. М: изд-во Логос., 2001. 264 с.
173. Мокриков Г.В., Казеев К.Ш., Мясникова М.А., Акименко Ю.В., Колесников С.И. Влияние технологии прямого посева на почвенную мезофауну, дыхание и ферментативную активность черноземов южных // Агрохимический вестник. 2019. №5. С.31-36.
174. Мордкович В.Г., Любечанский И.И., Березина О.Г. проблема лесных пожаров и пирогенных сукцессий сообществ почвенных членистоногих в Сибири // Сибирский экологический журнал. 2007. Т. 14. № 2. С. 169–181.
175. Наими О.И., Безуглова О.С., Полиенко Е.А., Куцерубова О.Ю. Воспроизводство плодородия чернозема обыкновенного карбонатного при внесении соломы и гуминовых препаратов // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т32. №8. С.11-16.
176. Неведров Н.П., Протасова М.В., Балабина Н.А., Довидович Е.Д. Экологическая оценка пространственной неоднородности и временной изменчивости почвенных потоков CO<sub>2</sub> в экосистемах различного типа (на примере Курской области) [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 4.
177. Неведров Н.П., Саржанов Д.А., Проценко Е.П., Васенев И.И. Сезонная динамика эмиссии CO<sub>2</sub> из почв города Курска // Почвоведение. 2021. №1. С. 70-79.
178. Нестерук Г.В., Минкина Т.М., Фёдоров Ю.А., Безуглова О.С., Гончарова Л.Ю., Невидомская Д.Г., Литвинов Ю.А. Особенности макро-, микроэлементного состава и свойств бурых лесных почв равнинных и горных ландшафтов России // Теоретическая и прикладная экология. 2022. № 1. С. 70–77.

179. Нештаев В.Ю. Антропогенная динамика таёжной растительности Европейской России. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Санкт-Петербург. 2017. 312 с.
180. Нештаев В.Ю. Модель динамики разнообразия растительности Верхне-Тазовского заповедника под влиянием лесных пожаров. // Вестник Томского государственного университета. Приложение № 2. 2002. С. 177–182.
181. Нижельский М.С., Вилкова В.В., Приходько В.Д., Казеев К.Ш. Влияние дыма палов и пожаров на всхожесть и интенсивность начального роста сельскохозяйственных культур (модельный эксперимент) // Проблемы агрохимии и экологии. 2022а. № 2. С. 55–58.
182. Нижельский М.С., Казеев К.Ш., Вилкова В.В., Колесников С.И. Ингибирование ферментативной активности чернозема обыкновенного газообразными продуктами горения растительных материалов // Почвоведение. 2022б. №6. С. 728–736.
183. Нижельский М.С., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Влияние биологических препаратов на ферментативную активность чернозема обыкновенного после фумигации дымом от опилок // Агрохимический вестник. 2021. №5. С. 28–33.
184. Никитин Д.А., Семенов М.В., Чернов Т.И., Ксенофонтова Н.А., Железова А.Д., Иванова Е.А., Хитров Н.Б., Степанов А.Л. Микробиологические индикаторы экологических функций почв (обзор) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 228–243.
185. Новиков А.А. Экологическое состояние гумуса и азота в черноземах Северного Кавказа. Новочеркасск, 2001. 180 с.
186. Огуреева Г.Н., Бочарников М.В., Сулова Е.Г. «Структура ботанического разнообразия Утришко-Туапсинского варианта КрымскоНовороссийского оробиома» // Аридные экосистемы. 2020. №10. С. 261–268.
187. Одабашян М.Ю., Трушков А.В., Казеев К.Ш., Минникова Т.В., Колесников С.И. Комплексное влияние факторов пирогенного воздействия на

- биологические свойства черноземов // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. 2020. № 134. С. 80–87.
188. Одум Ю. Экология: в 2-х т. Т. 2. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 376 с.
189. Окорков В.В. Взаимодействие мелиорантов с поглощающим комплексом кислых почв // Агрехимический вестник. – 2022. – № 5. – С. 45–51.
190. Опанасенко Н.Е. Скелетные почвы Крыма и плодовые культуры: монография. – Херсон, 2014. – 336 с.
191. Опанасенко Н.Е., Евтушенко А.П. О классификации скелетных агрокоричневых почв низких таксонов и интегральных показателях их плодородия // Бюллетень государственного Никитского ботанического сада. 2019. №130. С. 42–51.
192. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Реальные и кажущиеся потери органического вещества почвами Российской Федерации. // Почвоведение. – 1996. - № 2. С. 197–207.
193. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. – 2004. - №. 8. – С. 918–926.
194. Осипов А.Ф. Влияние межгодовых различий метеорологических характеристик вегетационного периода на эмиссию CO<sub>2</sub> с поверхности почвы среднетаежного сосняка бруснично-лишайникового (Республика Коми) // Почвоведение. 2018. №12. С. 1455–1463.
195. Осипов А.Ф. Эмиссия CO<sub>2</sub> с поверхности почвы на 10-летней вырубке среднетаежного сосняка черничного на европейском Северо-Востоке России // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1049–1058.
196. Побединский А.В. Влияние механизированных лесозаготовок на лесную среду и возобновление леса // Лесное хозяйство. 1982. №11. С. 14–18.
197. Полевые методы исследования физических свойств и режимов почв / Под ред. Е.В. Шеина. М.: Изд-во МГУ, 2001. 200 с.
198. Полиенко Е.А., Безуглова О.С., Патрикеев Е.С., Горюцов А.В., Лыхман В.А., Наими О.И., Дубинина М.Н., Поволоцкая Ю.С. Влияние гуминовых

- веществ на динамику элементов питания при сочетании с системами защиты нута // *Агрехимический вестник*. 2020. № 5. С. 52–57.
199. Поляков А.И. Изменение горно-лесных экосистем Северного Кавказа вследствие вырубки леса // *Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки*. 2010. № 4. С. 113–114.
200. Попадюк Р.В., Чистякова А.А., Чумаченко С.И., Евстигнеев О.И., Заугольнова Л.Б., Истомина И.И., Киселева Л.Л., Костяев С.А., Смирнова О.В., Торопова Н.А., Французов А.В., Ханина Л.Г., Чернов Н.И., Яницкая Т.О. Восточноевропейские широколиственные леса / под ред. О.В. Смирновой. М.: Наука. 1994. 364 с.
201. Привизенцева Д.А., Вилкова В.В., Казеев К.Ш. Моделирование пирогенного воздействия на ферментативную активность коричневых почв Абраусского полуострова // *Проблемы агрохимии и экологии*, 2022, № 2. С. 50–54.
202. Припутина И.В., Фролов П.В., Шанин В.Н., Быхолец С.С., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Сапронов Д.В., Зубкова Е.В., Мякшина Т.Н., Хорошаев Д.А. Имитационное моделирование дыхания лесных почв на примере дерново-подбура хвойно-широколиственного леса в южном Подмосковье // *Почвоведение*. 2023. № 9. С. 1128–1142.
203. Приходько В.Д., Казеев К.Ш., Вилкова В.В., Нижельский М.С., Колесников С.И. Изменение активности ферментов в постпирогенных почвах (физический модельный эксперимент) // *Почвоведение*. 2023. № 1. С. 118–128.
204. Путеводитель научно-полевых туров V Всероссийского съезда общества почвоведов / Под ред. К.Ш. Казеева и В.Ф. Валькова / ЗАО «Ростиздат». Ростов-на-Дону, 18-22 августа 2008. 98 с.
205. Рабочая группа IUSS WRB. 2015. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014, исправленная и дополненная версия 2015. Междуна-

- родная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт. Доклады о мировых почвенных ресурсах №106. ФАО, Рим. Изд-во МГУ, 2018. 204 с.
206. Репях М.А., Казеев К.Ш. Диагностики и мониторинг антропогенного воздействия на почвы по микробиологическим показателям // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. № 3. 2007. С. 90–91.
207. Росновский И.Н. Повреждение почвы при летних лесозаготовках в Западной Сибири // Лесоведение. 2001. №2. С. 22–26.
208. Смагин А.В., Карелин Д.В. О влиянии ветра на газообмен почвы и атмосферы // Почвоведение. 2021. № 3. С. 327–337.
209. Сморгалов И.А., Воробейчик Е.Л. Влияние отдельных деревьев на дыхание почвы лесных экосистем в условиях промышленного загрязнения // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1116–1127.
210. Соби́на А.С., Хачиков Э.А., Шмараева А.Н., Федоренко А.Н., Приходько В.Д., Казеев К.Ш. Биологическая активность чернозема обыкновенного через 5 лет после прекращения агрогенной обработки // Агрехимический вестник. 2022. №1. С. 22–26.
211. Соколова Т.А. Валидизация синтаксонов лесной растительности Бассейна р. Белая (Северо-Западный Кавказ) // Разнообразие растительного мира, 2022. № 2 (13). – С. 60–64.
212. Соколова Т.А. Синтаксономия растительности высокогорных лесов Северо-Западного Кавказа // Вестник Воронежского гос. ун-та. Сер.: Химия. Биология. Фармация, 2013. № 1. – С. 166–176.
213. Соколова Т.А. Флористическая классификация лесов бассейна реки Белой // Социально-гуманитарные и экологические проблемы развития современной Адыгеи: сб. науч. ст. Ростов-на-Дону: ЮНЦ РАН, 2012. – С. 360–372.
214. Солдатов В.П., Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Азаренко М.А., Колесников С.И. Ферментативная активность и содержание гумуса в послелесных почвах Адыгеи// АгроЭкоИнфо. – 2020а, №3. С. 1–20.

215. Солдатов В.П., Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Харитонов Т.Д., Казеев Д.К., Колесников С.И. Динамика изменения активности ферментов в почвах Адыгеи с разной степенью нарушения после сведения леса // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2020б. №4. С.105–111.
216. Соловьев В. А., Николаев С. В. Роль лесного сектора в бюджете углерода Ленинградской области // Известия вузов. Лесной журнал. 2004, № 5. С.7–15.
217. Ставрова Н.И., Калимова И.Б., Горшков В.В., Дроздова И.В., Алексеева-Попова Н.В., Баккал И.Ю. Долговременные послепожарные изменения характеристик почв в темнохвойных лесах Европейского Севера // Почвоведение. 2019. №3. С. 246–252.
218. Старцев В.В., Дымов А.А., Прокушкин А.С. Почвы постпирогенных лиственничников Средней Сибири: морфология, физико-химические свойства и особенности почвенного органического вещества // Почвоведение. 2017. №8. С.912–925.
219. Степанов А.Л., Манучарова Н.А., Смагин А.В., Курбатова А.С., Мягкова А.Д., Башкин В.Н. Характеристика биологической активности микробного комплекса городских почв // Почвоведение. 2005. № 8. С. 978–983.
220. Сукачев В.Н. Главнейшие понятия из учения о растительном покрове // Растительность СССР. Т. 1. М.;Л.: Изд-во АН СССР, 1938. С. 15–37.
221. Сулейманов Р.Р., Котлугалямова Э.Ю., Нигматуллин А.Ф., Хамидуллин Р.А. Пирогенная трансформация лесорастительных свойств почв (на примере национального парка "Башкирия") // Известия Уфимского научного центра РАН. 2017. №3-1. С. 122–125.
222. Суховеева О.Э., Золотухин А.Н., Карелин Д.В. Климатообусловленные изменения запасов органического углерода в пахотных черноземах Курской области // Аридные экосистемы. 2020. Т. 26. № 2 (83). С. 72-79.

223. Суховеева О.Э., Карелин Д.В. Оценка дыхания почв с помощью модели Райха–Хашимото: параметризация и прогноз // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2022. Т. 86. № 4. С. 519–527.
224. Суховеева О.Э., Карелин Д.В., Золотухин А.Н., Почикалов А.В. Дыхание почвы в аграрных и природных экосистемах европейской территории России // Почвоведение. 2023. № 9. С. 1077–1088.
225. Терехова В.А. Биотестирование экотоксичности почв при химическом загрязнении: современные подходы к интеграции для оценки экологического состояния (обзор) // Почвоведение. 2022. № 5. С. 586–599.
226. Тер-Мисакянц Т.А., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Деградация дерново-карбонатных почв Западного Кавказа в результате вырубки леса. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. 108 с.
227. Титов И.Н. Отечественные биопрепараты: регуляторы роста и развития растений и гуминовые препараты для современного земледелия: научный обзор. – Владимир: ВГПУ, 2012. 30 с.
228. Ткаченко Ю.Ю., Денисов В.И. Климат / Государственный природный заповедник «Утриш». Атлас. Научные труды. Том. 2 – Анапа. 2013. С. 32–37.
229. Уланова Н.Г. Восстановительная динамика растительности сплошных вырубок и массовых ветровалов в ельниках Южной тайги: на примере европейской части России. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. М. 2006. 434 с.
230. Умарова А.Б., Бутылкина М.А., Сусленкова М.М., Александрова М.С., Ежелев З.С., Хмелева М.В., Шхапацев А.К., Гасина А.И. Агрегатная структура естественных и пахотных почв разного генезиса: морфологические и реологические характеристики // Почвоведение. – 2021. – Т. 55, № 9. – С. 1019–1032.
231. Уткин А.И., Рысин Л.П. Лес. Большая Российская Энциклопедия (в 30 т.). М.: Научное издательство «Большая российская энциклопедия», 2010. Т. 17. Лас-Тунас - Ломонос. 782 с.

232. Фаизова В.И. Ферментативная активность черноземов Центрального Предкавказья // Вестник АПК Ставрополя. 2014. № 3 (15). С. 154–157.
233. Федорчук В.Н., Кузнецова М.Л. Изменение показателей лесных биогеоценозов на начальных этапах восстановительной сукцессии после сплошных рубок (по материалам постоянных наблюдений) // Бюл. МОИП. Отд. биол. 1995. Т. 100, Вып. 2. С. 85–99.
234. Французов А.А. Флористическая классификация лесов с *Fagus orientalis* Lipsky и *Abies nordmanniana* (Stev.) Sprach в бассейне реки Белой (Западный Кавказ) // Растительность России. СПб., 2006. №9. С. 76–85.
235. Фридланд В.М. Проблемы географии, генезиса и классификации почв. М.: Наука, 1986. 243 с.
236. Хазиев Ф.Х. Концептуальная модель формирования ферментативной активности почвы // Почвоведение, 1979. №12. с. 125–130.
237. Хазиев Ф.Х. Методы почвенной энзимологии М.: Наука, 2005. - 252 с.
238. Хазиев Ф.Х. Системно-экологический анализ ферментативной активности почв. М.: Наука. 1982. 203 с.
239. Хазиев Ф.Х., Гулько А.Е. Ферментативная активность почв агроценозов и перспективы ее изучения // Почвоведение. 1991. №8. С.88–103.
240. Хитрина А. К., Магомедов М. А., Ермолаева О. Ю., Казеев К. Ш. Изменения флоры и почв после сведения леса в условиях среднегорий Адыгеи // Актуальные проблемы экологии и природопользования. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2014. – С.123–125.
241. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Полициклические ароматические углеводороды в почвах: источники, поведение, индикационное значение (обзор) // Почвоведение. 2013. №. 7. С. 788–802.
242. Цховребов В.С. Агрогенная деградация черноземов Центрального Предкавказья. Ставрополь, 2003. - 224 с.
243. Цховребов В.С., Есаулко А.Н., Новиков А.А. Современные проблемы плодородия почв Ставрополя // Агрехимический вестник. 2017. № 4. С. 3–8.

244. Цховребов В.С., Умаров А.Б., Фаизова В.И. [и др.] Влияние фосфогипса и удобрений на содержание элементов питания в черноземе южном и урожайность озимой пшеницы // Земледелие. 2019. № 7. С. 15–17.
245. Цховребов В.С., Фаизова В.И., Лысенко В.Я., Новиков А.А., Калугин Д.В. Влияние сжигания стерни и соломы озимой пшеницы на численность микроорганизмов в чернозёме выщелоченном // Земледелие. 2020. № 3. С. 24-26.
246. Чевычелов А.П., Шахматова Е.Ю. Постпирогенные полициклические почвы в лесах Якутии и Забайкалья // Почвоведение. 2018. №6. С.243–252.
247. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. Спб.: Мир и семья, 1995. – 992 с.
248. Чернов Т.И., Семенов М.В. Управление почвенными микробными сообществами: возможности и перспективы (обзор) // Почвоведение. 2021. №12. С.1506-1522.
249. Чуков С.Н., Талашкина В.Д., Надпорожская М.А. Физиологическая активность ростовых стимуляторов и гуминовых кислот почв // Почвоведение. 1995. № 2. С. 169–173.
250. Шадрин А.М. Природные цеолиты Сибири в животноводстве, ветеринарии и охране окружающей среды – Новосибирск, 1998. – 116 с.
251. Шевченко Н.Е. Послепожарные станции переживания бореально-высокотравной растительности в условиях темнохвойной тайги среднего Предуралья (на примере заповедника "Денежкин камень") // Лесотехнический журнал. – 2016. – Т. 6. – № 3(23). – С. 53–64.
252. Шевченко Н.Е., Кузнецова А.И., Тебенькова Д.Н., Смирнов В.Э., Гераскина А.П., Горнов А.В., Грабенко Е.А., Тихонова Е.В., Лукина Н.В. Сукцессионная динамика растительности и запасы почвенного углерода в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 2019. №3. С.163–176.
253. Шеуджен А.Х. Биогеохимия. Майкоп: "Адыгея", 2003. 1028 с.

254. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Кизинек С.В., Науменко А.П., Шхапацев А.К. Микроудобрения и регуляторы роста растений на посевах риса. Майкоп: ОАО Полиграф-Юг, 2010. – 292 с.
255. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Хачмамук П.Н., Шхапацев А.К. Фосфорное питание растений риса при включении биоплант флора в систему удобрения // Плодородие. 2017. № 1 (94). С. 5–7.
256. Шеуджен А.Х., Кемечева М.Х., Шхапацев А.К. Теория и практика применения кремниевых удобрений на посевах риса. Майкоп: Майкопский государственный технологический университет, 2003. 103с.
257. Шеуджен А.Х., Шхапацев А.К., Бочко Т.Ф. Влияние цеолитов на агрохимические показатели плодородия лугово-черноземной почвы и урожайность риса // Агрохимия. 2002. № 8. С. 14–20.
258. Шильников И.А., Лебедева Л.А. Известкование почв. – М., ВО «Агропромиздат». 1987. – 172 с.
259. Шхапацев А. К. Азотные удобрения и способы увеличения их эффективности в рисоводстве // Новые технологии. – 2006. – № 2. – С. 48–52.
260. Шхапацев А.К., Грабенко Е.А., Казеев К.Ш. Биологическая активность буроземов в молодых «окнах» полога леса Кавказского биосферного заповедника // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2022. № 4-2. С. 139–147.
261. Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Солдатов В.П., Федоренко А.Н., Колесников С.И. Биологическая активность буроземов старовозрастных вырубок Западного Кавказа // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023б. Т. 27. № 4. С. 47–59.
262. Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Солдатов В.П., Колесников С.И. Экологическое состояние горных почв Западного Кавказа после сведения леса. Южный федеральный университет. – Ростов-на-Дону; Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2023а. – 136 с.

263. Шхапацев А.К., Кемечева М.Х. Урожайность зерна риса при различных способах внесения кремниевых удобрений // Новые технологии. 2006. №2. С. 46–47.
264. Шхапацев А.К., Солдатов В.П., Казеев К.Ш. Влияние рубки леса на экологическое состояние горных почв Адыгеи // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019. № 21. С. 372.
265. Якимов А.В., Бурова А.И. Цеолитсодержащие породы Татарстана и их применение. Казань: ФЭН, 2001. – 176 с.
266. Яковлев А.С. Биологическая диагностика и мониторинг состояния почв // Почвоведение. 2000. № 1. С. 70–79.
267. Abdullah H., Skidmore A. K., Darvishzadeh R., Heurich, M. Sentinel-2 accurately maps green-attack stage of European spruce bark beetle (*Ips typographus*, L.) compared with Landsat-8 // Remote sensing in ecology and conservation. 2019. V. 5(1). P. 87–106.
268. Abella S.R., Springer J.D. Effects of tree cutting and fire on understory vegetation in mixed conifer forests // Forest Ecology and Management. 2015. №335.
269. Acosta-Martinez V, Cano A, Johnson J. Simultaneous determination of multiple soil enzyme activities for soil health-biogeochemical indices // Applied soil ecology. V.126. 2018. P. 121–128.
270. Adamczyk B., Adamczyk S., Kukkola M., Tamminen P., Smolander A. Logging residue harvest may decrease enzymatic activity of boreal forest soils // Soil Biology and Biochemistry. Vol. 82. 2015. P. 74–80.
271. Alanis-Rodriguez E., Valdecantos-Dema A., Jimenez-Perez J., Rubio-Camacho E.A., Yerena-Yamallel J.I., Gonzalez-Tagle M.A. Post-fire ecological restoration of a mixed *Pinus-Quercus* forest in northeastern Mexico // Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente. 2015. V. 21(2). P. 157–170.
272. Allen M.F., Allen E.B., Gomez-Pompa A. Effects of mycorrhizae and nontarget organisms on restoration of a seasonal tropical forest in Quintana Roo, Mexico: factors limiting tree establishment // Restoration Ecology. 2005. V. 13(2). P. 325–333.

273. Ampoorter E. Van Neve L.I., De Vos B., Hermy, M. Verheyen K. Assessing the effects of initial soil characteristics, machine mass and traffic intensity on forest soil compaction // *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol. 260, I. 10. P. 1664–1676.
274. Ananbeh H. Stojanović M. Pompeiano A., Voběrková S., Trasar-Cepeda C. Use of soil enzyme activities to assess the recovery of soil functions in abandoned coppice forest systems // *Science of The Total Environment*. 2019. Vol. 694, 133692.
275. Antwi E.K., Boakye-Danquah J., Banahene W.O., Webster K., Dabros A., Wiebe P., Mayor S.J., Westwood A., Mansuy N., Setiawati M.D, Yohuno (Apronti) P.T., Bill K., Kwaku A., Kosuta S., Sarfo A.K. A Global review of cumulative effects assessments of disturbances on forest ecosystems // *Journal of Environmental Management*. 2022. V. 317. 115277.
276. Bai S., Qiu W., Zhang H., Wang Y., Berninger F. Soil respiration following Chinese fir plantation clear-cut: Comparison of two forest regeneration approaches // *Science of The Total Environment*. 2020. Vol. 709, 20. 135980.
277. Barreiro A., Díaz-Raviña M. Fire impacts on soil microorganisms: Mass, activity, and diversity // *Current Opinion in Environmental Science & Health*. 2021. Vol. 22. 100264.
278. Begovic K., Rydval M., Mikac S., Cupic S., Svobodova K., Mikolas M., ... Svoboda M. Climate-growth relationships of Norway Spruce and silver fir in primary forests of the Croatian Dinaric mountains // *Agricultural and Forest Meteorology*. 2020. V. 288, 108000.
279. Bezuglova O.S., Gorovtsov A.V., Demidov A., Polienko E.A., Zinchenko V.E., Grinko A.V., Lykhman V.A., Dubinina M.N. Effect of humic preparation on winter wheat productivity and rhizosphere microbial community under herbicide-induced stress // *Journal of Soils and Sediments*. 2019. T. 19. № 6. C. 2665–2675.

280. Bibin A.R., Trepet S.A., Akatova T.V., Grabenko E.A. Caucasian state nature biosphere reserve // The Republic of Adygea Environment. The Handbook of Environmental Chemistry. Switzerland, 2020. P. 603–631.
281. Blattert C., Lemm R., Thees O., Lexer M.J., Hanewinkel M. Management of ecosystem services in mountain forests: Review of indicators and value functions for model based multi-criteria decision analysis // Ecological Indicators. 2017. V. 79. P. 391–409.
282. Boisvenue C., Running S.W. Impacts of climate change on natural forest productivity—evidence since the middle of the 20th century // Global Change Biology. 2006. V.12(5). P.862–882.
283. Bolte A., Ammer C., Lof M., Madsen P., Nabuurs G.J., Schall P., ... Rock J. Adaptive forest management in central Europe: climate change impacts, strategies and integrative concept // Scandinavian Journal of Forest Research. 2009. V. 24(6), 473–482.
284. Bosela M., Stefancík I., Marcis P., Rubio-Cuadrado A., Lukac M. Thinning decreases above-ground biomass increment in central European beech forests but does not change individual tree resistance to climate events // Agricultural and Forest Meteorology. 2021. V. 306, 108441.
285. Brang P. Resistance and elasticity: promising concepts for the management of protection forests in the European Alps // Forest Ecology Management. 2001. V. 145. P. 107–119.
286. Brang P., Schonenberger W., Frehner M., Schwitter, R., Thormann J.-J., Wasser B. Management of protection forests in the European Alps: an overview // Forest Snow and Landscape Research, 2006. V. 80. P. 23–44.
287. Braun-Blanquet J. Pflanzensozioologie. Grendzuge der Vegetationskunde 3 Aufl / J. Braun-Blanquet. — Wien; New York, 1964. — 865 p.
288. Brazdil R., Trnka M., Dobrovolny P., Chroma K., Hlavinka P., Zalud Z. Variability of droughts in the Czech Republic, 1881–2006 // Theoretical and Applied Climatology. 2009. V. 97. P. 297–315.

289. Brooks R.T., Kyker-Snowman T.D. Forest floor temperature and relative humidity following timber harvesting in southern New England, USA // *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 254. I.1. P. 65–73.
290. Bünemann E.K., Bongiorno G., Bai Z., Creamer R.E., De Deyn G., Goede R., Fleskens L., Geissen V., Kuyper T.W., Mäder P., Pulleman M., Sukke W.I., Groenigen J.W., Brussaard L. Soil quality – A critical review // *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. Vol. 120. P. 105–125.
291. Burns R.G., DeForest Jared L., Jürgen M., Sinsabaugh R.L., Stromberger M.E., Wallenstein M.D., Weintraub M.N., Zoppini A. Soil enzymes in a changing environment: Current knowledge and future directions // *Soil Biology and Biochemistry*. 2013. V.58. P. 216–234.
292. Cambi M., Certini G., Neri F., Marchi E. The impact of heavy traffic on forest soils: A review. // *Forest Ecology and Management*. V.338. 2015. 124–138 p.
293. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // *Oecologia*. 2005. V. 143. P. 1–10.
294. Cochrane M.A., Alencar A., Schulze M.D., Souza Jr C.M., Nepstad D.C., Lefebvre P., Davidson E.A. Positive feedbacks in the fire dynamic of closed canopy tropical forests // *Science*. 1999. V.284(5421). P. 1832–1835.
295. Comprehensive Assessment of Soil Health Training Manual. Edition 3.1, / Moebius-Clune B.N., Moebius-Clune D.J., Gugino B.K., Idowu O.J., Schindelbeck R.R., Ristow A.J., van Es H.M., Thies J.E., Shayler H.A., McBride M.B., Wolfe D.W., and G.S. Abawi. The Cornell Framework Manual. 2016. 140 P.
296. Creamer R.E., Hannula S.E., VanLeeuwen J.P., Stone D., Rutgers M., Schmelz R.M., deRuiter P.C. Hendriksen N. B., Bolger T., Bouffaud M.L., Buee M., Carvalho F., Costa D., Dirilgen T., Francisco R., Griffiths B.S., Griffiths R., Martin F., daSilva M.P., Mendes S., Morais P.V. Pereira C., Philippot L., Plassart P., Redecker D., Römbke J., Sousa J.P., Wouterse M., Lemanceau P.

- Ecological network analysis reveals the inter-connection between soil biodiversity and ecosystem function as affected by land use across Europe // *Applied Soil Ecology*. 2016. Vol.97. P.112–124.
297. Cukor J., Vacek Z., Linda R., Bílek, L. Carbon sequestration in soil following afforestation of former agricultural land in the Czech Republic // *Central European Forestry Journal*. 2017. V. 63(2–3), 97–104.
298. Cukor J., Vacek Z., Vacek S., Linda R., Podrázský, V. Biomass productivity, forest stability, carbon balance, and soil transformation of agricultural land afforestation: A case study of suitability of native tree species in the submontane zone in Czechia // *Catena*. 2022. V. 210, 105893.
299. Curtis P.G., Slay C.M., Harris N.L., Tyukavina A., & Hansen M.C. Classifying drivers of global forest loss // *Science*. 2018. V. 361(6407). P. 1108–1111.
300. Dale V.H., Joyce L.A., McNulty S., Neilson R.P., Ayres M.P., Flannigan M.D., ... Wotton B.M. Climate change and forest disturbances: climate change can affect forests by altering the frequency, intensity, duration, and timing of fire, drought, introduced species, insect and pathogen outbreaks, hurricanes, windstorms, ice storms, or landslides // *BioScience*. 2001. V. 51(9). P. 723–734.
301. Das H.P. Adaptation strategies required to reduce vulnerability in agriculture and forestry to climate change, climate variability and climate extremes. World Meteorological Organization (WMO). *Management Strategies in Agriculture and Forestry for Mitigation of Greenhouse Gas Emissions and Adaptation to Climate Variability and Climate Change*, 2004. P. 41–92.
302. Davis L.S., Johnson K.N., Bettinger P.S., Howard T.E. *Forest Management: To Sustain Ecological, Economic, and Social Values*. 4th Edition, Waveland Press, Inc., Long Grove, 2001. 816 p.
303. Donato D.C., Fontaine J.B., Robinson W.D., Kauffman J.B., Law B.E. Реакция растительности на короткий интервал между лесными пожарами высокой степени тяжести в смешанном вечнозеленом лесу // *Journal of Ecology*, Vol.97. (2009). P. 142-154.

304. Dorren L.K.A., Berger F., Imeson A.C., Maier B., Rey F. Integrity, stability and management of protection forests in the European Alps // *Forest Ecology Management*. 2004. V. 195. P. 165–176.
305. Dorren L.K.A., Berger F., le Hir C., Mermin E., Tardif P. Mechanisms, effects and management implications of rockfall in forests // *Forest Ecology Management*. 2005. V. 215 P. 183–195.
306. Dupuy J.L., Fargeon H., Martin-StPaul N., Pimont F., Ruffault J., Guijarro M., ... Fernandes P. Climate change impact on future wildfire danger and activity in southern Europe: a review // *Annals of Forest Science*. 2020. V. 77. P. 1–24.
307. FAO – Food and Agriculture Organization. Global forest resources assessment 2020 – key findings. Rome, 2020. Available at: <http://www.fao.org/3/CA8753EN/CA8753EN.pdf>
308. FAO, UNEP. The State of the World's Forests (SOFO). FAO and UNEP Publishers. 2020, p. 214 [⟨https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8642en⟩](https://www.fao.org/documents/card/en/c/ca8642en).
309. FAO. Environmental conservation and forestry (Myanmar: national action plan for agriculture (NAPA) working paper 5, yangon). Available at: <http://www.fao.org/3/a-bl825e.pdf> (2016).
310. Felicijan M., Kristl J., Krajnc A.U. Pre-treatment with salicylic acid induces phenolic responses of Norway spruce (*Picea abies*) bark to bark beetle (*Ips typographus*) attack // *Trees*. 2016. V. 30. P. 2117–2129.
311. Felton A., Boberg J., Björkman C., Widenfalk O. Identifying and managing the ecological risks of using introduced tree species in Sweden's production forestry // *Forest Ecology and Management*. 2013. V.307. P.165–177.
312. Feng X., Uriarte M., González G., Reed S., Thompson J., Zimmerman J., Murphy L. Improving predictions of tropical forest response to climate change through integration of field studies and ecosystem modeling // *International journal of laboratory hematology*. 2016. V. 38 (1). P. 42–49.
313. Fernandes P.M. Fire-smart management of forest landscapes in the Mediterranean basin under global change // *Landscape and Urban Planning*. 2013. V. 110. P. 175–182.

314. Ferreira A.J.D., Alegre S.P., Coelho C.O.A., Shakesby R.A., Pascoa F.M., Ferreira C.S.S., ... Ritsema C. Strategies to prevent forest fires and techniques to reverse degradation processes in burned areas // *Catena*. 2015. V.128. P. 224–237.
315. Ferreira A.J.D., Coelho C.D.O., Ritsema C.J., Boulet A.K., Keizer J.J. Soil and water degradation processes in burned areas: Lessons learned from a nested approach // *Catena*. 2008. V. 74(3). P.273–285.
316. Filho W.L., Nagy G.J., Setti A.F.F., Sharifi A., Donkor F.K., Batista K., Djekic I., Handling the impacts of climate change on soil biodiversity // *Science of The Total Environment*. 2023. V. 869. 161671, <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.161671>.
317. Forzieri G., Girardello M., Ceccherini G., Spinoni J., Feyen L., Hartmann H., ... Cescatti A. Emergent vulnerability to climate-driven disturbances in European forests // *Nature communications*. 2021. V. 12(1), 1081.
318. Franca L.C.J., Acerbi Júnior F.W., Silva C.S.J., Monti C.A.U., Ferreira T.C., C.J. de Oliveira Santana, Gomide L.R. Forest landscape planning and management: A state-of-the-art review // *Trees, Forests and People*. 2022. V. 8. 100275.
319. Frehner M., Wasser B., Schwitter R. Sustainability and Success Monitoring in Protection Forests. Guidelines for Managing Forests with Protective Functions Federal Office for the Environment FOEN, Bern. 2007.
320. Fuentes-Ramirez A., Barrientos M., Almonacid L., Arriagada-Escamilla C., Salas-Eljatib C. Short-term response of soil microorganisms, nutrients and plant recovery in fire-affected *Araucaria araucana* forests. *Applied Soil Ecology*. 2018. V. 131. P. 99–106.
321. García-Ruiz R., Ochoa V., Hinojosa, M.B., Carreira J.A. Suitability of enzyme activities for the monitoring of soil quality improvement in organic agricultural systems // *Soil Biology and Biochemistry*. 2008. V.40. P.2137–2145.
322. Gonzalez-Perez J.A., Gonzalez-Vila F.J., Almendros G., Knicker H. The effect of fire on soil organic matter—a review // *Environment international*. 2004. V. 30(6). P.855–870.

323. Götmark F., Paltto H., Nordén B., Götmark E. Evaluating partial cutting in broadleaved temperate forest under strong experimental control: Short-term effects on herbaceous plants // *Forest Ecology and Management*. 2005. Vol. 214, I. 1–3. P. 124–141.
324. Hassan R., Scholes, R., Ash, N. *Ecosystems and human well-being: current state and trends*. Island Press. 2005. 917 p.
325. He H.S., Gustafson E.J., Lischke H. Modeling forest landscapes in a changing climate: theory and application // *Landscape Ecology*. 2017. V.32. P. 1299–1305.
326. Heilmayr R. Conservation through intensification? The effects of plantations on natural forests // *Ecological Economics*. 2014. V. 105. P. 204–210.
327. Hermans S.M., Lear G., Case B.S., Buckley H.L. The soil microbiome: An essential, but neglected, component of regenerative agroecosystems // *iScience*. 2023. Vol. 26, I. 2. 106028.
328. Hisano M., Searle E.B., Chen H.Y.H. Biodiversity as a solution to mitigate climate change impacts on the functioning of forest ecosystems // *Biological Reviews*. 2017. V. 93 (1). P. 439–456.
329. Huang H., Tian D., Zho L. u., Su H., Ma S., Feng Y., Z. Tang, Zhu J., Ji C., Fang J. Effects of afforestation on soil microbial diversity and enzyme activity: A meta-analysis // *Geoderma*. 2022. Vol. 423, 115961.
330. Huang Y., Wu S., Kaplan J.O. Sensitivity of global wildfire occurrences to various factors in the context of global change // *Atmospheric Environment*. 2015. 121. P. 86–92.
331. Hugh H.A.L. Soil extracellular enzyme dynamics in a changing climate // *Soil Biology and Biochemistry*. 2012. V.47. P. 53–59.
332. IPCC, & Core Writing Team. *Climate change 2014: synthesis report*. In *Contribution of working groups I, II and III to the fifth assessment report of the intergovernmental panel on climate change* (Vol. 27, p. 408). Geneva, Switzerland: IPCC. 2014.

333. IPCC. The physical science basis. Contribution of working group I to the fourth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. V.996, P.113–119.
334. IUSS Working Group WRB. 2015. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015 International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. No. 106. FAO, Rome, Italy. 192 p.
335. Jactel H., Bauhus J., Boberg J., Bonal D., Castagneyrol B., Gardiner B., ... & Brockerhoff E.G. Tree diversity drives forest stand resistance to natural disturbances // Current Forestry Reports. 2017. V. 3, P. 223–243.
336. Jat M.L., Chakraborty D., Ladha J.K., Parihar C.M., Datta A., Mandal B., Nayak H.S., Maity P., Rana D.S., Chaudhari S.K., Gerard B. Carbon sequestration potential, challenges, and strategies towards climate action in smallholder agricultural systems of South Asia // Crop and Environment. 2022. Vol. 1, I.1, P. 86-101.
337. Jenkins M., Schaap B. Forest ecosystem services. In United Nations Forum on Forests. 2018.
338. Jia G., Shevliakova E., Artaxo P., De Noblet-Ducoudré N., Houghton R., House J., et al. Land–climate interactions / In: Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems. In press. 2019.
339. Jolly W.M., Cochrane M.A., Freeborn P.H., Holden Z.A., Brown T.J., Williamson G.J., Bowman D.M. Climate-induced variations in global wildfire danger from 1979 to 2013 // Nature Comm. 2015. V. 6. P. 1–11.
340. Karelin D.V., Sukhoveeva O.E. Contribution analysis of permanent and sporadic controls of CO<sub>2</sub> efflux from chernozems over four seasons // Geography, Environment, Sustainability. 2022. Vol. 15. № 1. P. 35–45.

341. Karlen D.L., Veum K.S., Sudduth, K.A., Obrycki J.F., Nunes M.R. Soil health assessment: Past accomplishments, current activities, and future opportunities // *Soil and Tillage Research*. 2019. Vol.195. 104365.
342. Kazeev K.Sh., Poltoratskaya T.A., Yakimova A.S., Odobashyan M.Yu., Shkhatpatsev A.K., Kolesnikov S.I. Post-fire changes in the biological properties of the brown soils in the Utrish state nature reserve (Russia) // *Nature Conservation Research*. Заповедная наука 2019. 4(Suppl.1). P. 93–104.
343. Keeley J.E. Fire intensity, fire severity and burn severity: a brief review and suggested usage // *International Journal of Wildland Fire*. Vol. 18, Issue 1, 2009. P. 116–126.
344. Kivlin S.N., Treseder K.K. Soil extracellular enzyme activities correspond with abiotic factors more than fungal community composition // *Biogeochemistry*. 2014. Vol. 117. P. 23–37.
345. Kolesnikov S., Timoshenko A., Minnikova T., Tsepina N., Kazeev K., Akimenko Y., Zhadobin A., Shuvaeva V., Rajput V.D., Mandzhieva S. et al. Impact of Metal-Based Nanoparticles on Cambisol Microbial Functionality, Enzyme Activity, and Plant Growth // *Plants*. 2021a. Vol.10, 2080.
346. Kolesnikov S.I., Kazeev K.Sh., Akimenko Yu.V. Development of regional standards for pollutants in the soil using biological parameters // *Environment Monitoring and Assessment*. 2019a. 191:544.
347. Kolesnikov, S., Tsepina, N., Minnikova, T., Kazeev, K., Mandzhieva, S., Sushkova, S., Minkina, T., Mazarji, M., Singh, R.K., Rajput, V.D. Influence of Silver Nanoparticles on the Biological Indicators of Haplic Chernozem // *Plants*. 2021b. 10. 1022.
348. Kolesnikov, S.; Minnikova, T.; Minkina, T.; Rajput, V.D.; Tsepina, N.; Kazeev, K.; Zhadobin, A.; Nevedomaya, E.; Ter-Misakyants, T.; Akimenko, Y.; et al. Toxic Effects of Thallium on Biological Indicators of Haplic Chernozem Health: A Case Study // *Environments* 2021b, Vol.8, 119.

349. Kolesnikov, S.I., Timoshenko, A.N., Kazeev, K.S., Akimenko, Y.V., Soldatov A.V. Comparison of ecotoxicity of nickel and iron oxides and their nanoforms // *Rasayan Journal of Chemistry* 2019. Vol. 12 (2). P. 549–553.
350. Kolstrom M., Lindner M., Vilen T., Maroschek M., Seidl R., Lexer M.J., ... Corona P. Reviewing the science and implementation of climate change adaptation measures in European forestry// *Forests*. 2011. V. 2(4). P. 961–982.
351. Korner C. A matter of tree longevity // *Science*. 2017. V. 355 (6321). P. 130–131.
352. Kozun Y.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic gradients of biological properties of zonal soils of natural lands // *Geoderma*. 2022. Vol. 425. 116031.
353. Kurz W.A., Dymond C.C., White T.M., Stinson G., Shaw C.H., Rampley G.J., ... Apps M.J. CBM-CFS3: a model of carbon-dynamics in forestry and land-use change implementing IPCC standards // *Ecological modelling*. 2009. V. 220(4). P.480–504.
354. Lebedev S.A., Sirotyuk E.A., Shkhatsev A.K., and Kravchenko P.N. Ecological State of Soils of the Republic of Adygea Under High Anthropogenic Load // *Handbook of Environmental Chemistry*. 2020. Vol.106, P. 185 – 216. Murat K. Bedanokov, Sergey A. Lebedev, and Andrey G. Kostianoy (eds.), *The Republic of Adygea Environment, Hdb Env Chem (2020) 106*. P. 185–216,
355. Li C., Barclay H., Roitberg B., Lalonde, R. Forest productivity enhancement and compensatory growth: a review and synthesis // *Frontiers in Plant Science*. 2020. V. 11. 575211.
356. Lin H., Chen Y., Song Q., Fu P.; Quantifying deforestation and forest degradation with thermal response // *Science of the Total Environment*. 2017. V. 607–608. P. 1286–1292.
357. Liu Y., Goodrick S., Heilman W. Wildland fire emissions, carbon, and climate: Wildfire-climate interactions // *Forest Ecology and Management*. 2014. Vol. 317. P. 80–96.

358. Liu Z., Wimberly M.C. Direct and indirect effects of climate change on projected future fire regimes in the western United States // *Science of the Total Environment*. 2016. V. 542. P. 65–75.
359. Lof M., Madsen P., Metslaid M., Witzell J., Jacobs D.F. Restoring forests: regeneration and ecosystem function for the future (Editorial) // *New Forests*. 2019. V. 50. I.2. P. 139–151.
360. Lombao A., Barreiro A., Fontúrbel M.T., Martín A., Carballas T., Díaz-Raviña M. Effect of repeated soil heating at different temperatures on microbial activity in two burned soils // *Science of The Total Environment*. 2021. Vol. 799, 10, 149440.
361. Lorz C., Fürst C., Galic Z., Matijasic D., Podrazky V., Potocic N., ... Makeschin F. GIS-based probability assessment of natural hazards in forested landscapes of central and south-eastern Europe // *Environmental Management*. 2010. V. 46. P. 920–930.
362. Lucas-Borja M. E., Jing X. Van StanII J. T., Plaza-Álvarez P.A., Gonzalez-Romero J., Peña E., Moya D., Zema D.A., Heras J. Changes in soil functionality eight years after fire and post-fire hillslope stabilisation in Mediterranean forest ecosystems // *Geoderma*. 2022. Vol. 409, 1 115603
363. Luo L., Meng H., Gu J.D. Microbial extracellular enzymes in biogeochemical cycling of ecosystems // *Journal of Environmental Management*. 2017. V.197, №15. P. 539–549.
364. Malhi Y., Grace J. Tropical forests and atmospheric carbon dioxide // *Trends in Ecology & Evolution*. 2000. V.15. P. 332–337.
365. Marchi E., Picchio R., Spinelli R., Verani S., Venanzi R., Certini G. Environmental impact assessment of different logging methods in pine forests thinning; // *Ecological Engineering*. 2014. Vol.70. P. 429–436.
366. Mayer M., Prescott C.E., Abaker W.E.A., Augusto L., Cécillon, L., Ferreira G.W.D., J.J.R., Katzensteiner K., Laclau J.P., Laganière J., Nouvellon Y., Paré

- D., Stanturf J.A., Vanguelova E.I., Vesterdal L. Tamm Review: Influence of forest management activities on soil organic carbon stocks: A knowledge synthesis // *Forest Ecology and Management*. 2020. Vol. 466. 118127.
367. Minkina T., Popileshko Y., Bauer T., Sushkova S., Fedorenko A., Antonenko E., Mazarji M., Vasilyeva G., Pinskii D., Ferreira C.S.S. Sorption of benzo[a]pyrene by chernozem and carbonaceous sorbents: comparison of kinetics and interaction mechanisms // *Environmental Geochemistry and Health*. 2022. T. 44. № 1. C. 133–148.
368. Mohieddinne H., Brasseur B. Spicher F., Gallet-Moron E., Buridant J., Kobbaissi A., Horen H. Physical recovery of forest soil after compaction by heavy machines, revealed by penetration resistance over multiple decades // *Forest Ecology and Management*. 2019. Vol.449, 117472.
369. Mokrikov G., Minnikova T., Kazeev K. and Kolesnikov S. Use of soil enzyme activity in assessing the effect of No-Till in the South of Russia // *Agronomy Research*. 2021, 19(1), 171–184.
370. Mori A.S., Lertzman K.P., Gustafsson L. Biodiversity and ecosystem services in forest ecosystems: a research agenda for applied forest ecology // *Journal of Applied Ecology*. 2017. V. 54 (1). P. 12–27.
371. Neary D.G., Klopatek C.C., DeBano L.F., Ffolliott P.F. Fire effects on below-ground sustainability: a review and synthesis // *Forest ecology and management*. 1999. V. 122(1–2) P. 51–71.
372. Neary D.G., Ryan K.C., DeBano L.F. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water // *Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42*. 2005. V. 4(250). 42 p.
373. Nichols L., Shinneman D.J., McIlroy S.K., Graaff M.A. Fire frequency impacts soil properties and processes in sagebrush steppe ecosystems of the Columbia Basin // *Applied Soil Ecology*. 2021. [Vol. 165](#). 103967.
374. Nizhelskiy M.S., Kazeev K.S., Vilkova, V.V., Fedorenko A.N., Shkhapatsev A.K., Kolesnikov S.I. Effect of Smoke Caused by Fires on the Enzymatic Activity of Forest Soils in the North Caucasus (Russian Federation) // *Soil Systems*. 2023. V. 7, 77.

375. Norby R.J., DeLucia E.H., Gielen B., Calfapietra C., Giardina C.P., King J.S., ... Oren R. Forest response to elevated CO<sub>2</sub> is conserved across a broad range of productivity // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2005. V. 102(50). P. 18052–18056.
376. Odabashyan M.Y., Trushkov A.V., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Impact of Wildfire on Biological Activity of Sandy Soil in The South of Russia // *Indian Journal of Ecology*. 2019. 46(3): P. 648–653.
377. Parson A., Robichaud P.R., Lewis S.A., Napper C., Clark J.T. 2010. Field guide for mapping post-fire soil burn severity. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-243. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. 49 p.
378. Perez-Valera E., Goberna M., Verdu M Fire modulates ecosystem functioning through the phylogenetic structure of soil bacterial communities // *Soil Biology and Biochemistry*. Vol. 129, 2019, P. 80-89
379. Pietikäinen J., Fritze H. Clear-cutting and prescribed burning in coniferous forest: Comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass, respiration activity and nitrification // *Soil Biology and Biochemistry*. 1995. Vol.27. I.1. P. 101–109.
380. Popovicheva O., Kistler M., Kireeva E., Persiantseva N., Timofeev M., Kopeikin V., Kasper-Giebl A. Physicochemical characterization of smoke aerosol during large-scale wildfires: Extreme event of August 2010 in Moscow // *Atmospheric Environment*. 2014. Vol.96. P. 405–414.
381. Raiesi F., Beheshti A. Microbiological indicators of soil quality and degradation following conversion of native forests to continuous croplands // *Ecological Indicators*. 2015. V. 50. P. 173–185.
382. Raiesi F., Kabiri V. Identification of soil quality indicators for assessing the effect of different tillage practices through a soil quality index in a semi-arid environment // *Ecological Indicators*. 2016. V.71. P. 198–207.

383. Raiesi F., Salek-Gilani S. The potential activity of soil extracellular enzymes as an indicator for ecological restoration of rangeland soils after agricultural abandonment // *Applied Soil Ecology*. 2018. V.126. P.140–147.
384. Rajput V.D., Minkina T.M., Mandzhieva S.S., Sushkova S.N., Bauer T.V., Ahmed B., Singh V.K., Verma K.K., Shan S., van Hullebusch E.D., Wang B. Nano-biochar: a novel solution for sustainable agriculture and environmental remediation // *Environmental Research*. 2022. T. 210. C. 112891.
385. Ripple W.J., DellaSala D.A., Baumann F., Gregg J., Betts M.G., Law B.E., ... & Wolf C. Zoonotic diseases and our troubled relationship with Nature // *American Journal of Health Promotion*. 2022. V. 36(2). P.382–385.
386. Saiz G., Goodrick I., Wurster C., Nelson P.N., Wynn J., Bird M. Preferential production and transport of grass-derived pyrogenic carbon in NE-Australian savanna ecosystems // *Frontiers in Earth Science*. 2018. V. 5. 115 p.
387. Scott A.C., Bowman D.M., Bond W.J., Pyne S.J., Alexander M.E. *Fire on earth: an introduction*. Wiley & Sons. 2013.
388. Shkhatpatsev A., Vilkova V., Soldatov V., Kazeev K., Kolesnikov S. Decade-long soil changes after the clear felling in forests of the North-Western Caucasus mountains // *Sains Tanah Journal of Soil Science and Agroclimatology*. 2023. Vol. 20(1). P. 1–9.
389. Sinsabaugh R.L., Lauber C.L., Weintraub M.N., Ahmed B., Allison S.D., Crenshaw C., Contosta A.R., Cusack D., Frey S., Gallo M.E., Gartner T.B., Hobbie S.E., Holland K., Keeler B.L., Powers J.S., Stursova M., Takacs-Vesbach C., Waldrop M.P., Wallenstein M.D., Zak D.R., Zeglin L.H. Stoichiometry of soil enzyme activity at global scale // *Ecology Letters*. 2008. V.11. P. 1252–1264.
390. Souza-Alonso P., Saiz G., García R.A., Pauchard A., Ferreira A., Merino A. Post-fire ecological restoration in Latin American forest ecosystems: Insights and lessons from the last two decades // *Forest Ecology and Management*. 2022. V.509. 120083.

391. Stanturf J.A., Palik B.J., Dumroese R.K. Contemporary forest restoration: a review emphasizing function // *Forest Ecology and Management*. 2014. V. 331. P. 292–323.
392. Stone M.M., Weiss M.S., Goodale C.L, Adams M.B., Fernandez I.J., German D.P., Allison S.D. Temperature sensitivity of soil enzyme kinetics under N-fertilization in two temperate forests. // *Global Change Biology*. 2012. - V. 18(3). C. 1173–1184.
393. Sukhoveeva O., Karelin D., Lebedeva T., Pochikalov A., Ryzhkov O., Suvorov G., Zolotukhin A. Greenhouse gases fluxes and carbon cycle in agroecosystems under humid continental climate conditions // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2023. T. 352. C. 108502.
394. Sushkova S., Minkina T., Deryabkina I., Rajput V., Antonenko E., Nazarenko O., Yadav B.K., Hakki E., Mohan D. Environmental pollution of soil with PAHs in energy producing plants zone // *Science of the Total Environment*. – 2019. – V. 655. – P. 232–241.
395. Sushkova S., Minkina T., Dudnikova T., Barbashev A., Mazarji M., Chernikova N., Lobzenko I., Deryabkina I., Kizilkaya R. Influence of carbon-containing and mineral sorbents on the toxicity of soil contaminated with benzo[a]pyrene during phytotesting // *Environmental Geochemistry and Health*. 2022. T. 44. № 1. C. 179-193.
396. Thiele-Bruhn S., Schloter M., Wilke B.-M., Beaudette L. A., Martin-Laurent F., Cheviron N., Mougin C., Römbke J. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment // *SOIL*. 2020. V.6. P. 17–34.
397. Trasar-Cepeda C., Leiro M.C., Gil-Sotres F. Hydrolytic enzyme activities in agricultural and forest soils. Some implications for their use as indicators of soil quality // *Soil Biology & Biochemistry*. 2008. V.40. P. 2146–2155.
398. United Nations. The global forest goals report. United Nations Department of Economic and Social Affairs, United Nations Forum on Forests Secretariat, 2021. Available in: <https://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2021/08/Global-Forest-Goals-Report-2021.pdf>.

399. USDA Forest Service. Forest Service Manual 2523 – Emergency Stabilization – Burned Area Emergency Response (BAER). USDA Forest Service, Washington DC. 2012.
400. Vacek Z., Vacek S., Cukor J. European forests under global climate change: Review of tree growth processes, crises and management strategies // *Journal of Environmental Management*. 2023. V. 332. 117353.
401. Vancutsem C., Achard F., Pekel J.F., Vieilledent G., Carboni S., Simonetti D., Gallego J., Aragao L.O.E.C., Nasi R. Long-term (1990–2019) monitoring of forest cover changes in the humid tropics // *Science Advances*. 2021. V. 7. Article eabe1603.
402. Vega J.A., Fontúrbel T., Fernandez C. Acciones urgentes contra la erosión en áreas forestales quemadas: Guía para su planificación en Galicia. Xunta de Galicia. 2013a.
403. Vega J.A., Fonturbel T., Merino A., Fernández C., Ferreiro A., Jimenez E. Testing the ability of visual indicators of soil burn severity to reflect changes in soil chemical and microbial properties in pine forests and shrubland // *Plant and Soil*. 2013b. V.369. P.73–91.
404. Vigl L.E., Marsoner T., Schirpke U., Tscholl S., Candiago S., Depellegrin D. A multi-pressure analysis of ecosystem services for conservation planning in the Alps // *Ecosystem Services*. 2021. V. 47. P. 101230.
405. Weber M.G. Forest soil respiration after cutting and burning in immature aspen ecosystems // *Forest Ecology and Management*. 1990. Vol. 31, I. 1–2. P. 1–14.
406. Whitman T., Whitman E., Woollet J., Flannigan M.D., Thompson D.K., Parisien M.A. Soil bacterial and fungal response to wildfires in the Canadian boreal forest across a burn severity gradient // *Soil Biology and Biochemistry*. 2019. Vol. 138. 107571.
407. Wu Y., Zhou H.K., Sun W., Zhao Q.F., Liang M., Chen W.J., Guo Z.Q., Jiang Y.K., Jiang Y., Liu G.B., Xue S. Temperature sensitivity of soil enzyme kinetics

under N and P fertilization in an alpine grassland // *China Science of The Total Environment*. – 2022. - V. 838 (Part 1, 10) 156042.

408. Xu M., Shang H. Contribution of soil respiration to the global carbon equation // *Journal of Plant Physiology*. 2016. №203. P. 16–28.

409. Zhang Y., Chen H.Y., Reich P.B. Forest productivity increases with evenness, species richness and trait variation: a global meta-analysis // *Journal of ecology*. 2012. V. 100. P. 742–749.

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

**ЭКСПЕДИЦИЯ В КАВКАЗСКИЙ БИОСФЕРНЫЙ ЗАПОВЕДНИК,  
июль 2019 г.**

**16. 07. 19.**

**Разрез М1**

КПБС, кордон Гузерибль. Восстановительная сукцессия около 20 лет после низового пожара

Географические координаты – 44 °12.602' с.ш., 40 °11.543' в.д.

Номер точки – 751

Высота над уровнем моря – 889м.

Крутизна склона – 25 ° З-ЮЗ

Растительность – бук, граб, пихта куртинами. Напочвенный покров – ежевика 90 %, папоротник страусопер. Восстановительный ряд: овсяница – ожжена (ежевика) – грабо-ожино-папоротник.

Рельеф неоднороден (ямы, вывалы, полуразложившиеся бревна)

Полевое название почвы – бурая лесная щебенчатая вторично дерновая?

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	0,5-15	подстилка среднеразложенная 90 %
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>		Сырой, влажный, черно-бурый, комковато-порошистый, рыхлый, щебень 5–20%, корни
		Влажная, серо-бурая

**Разрез М2**

КПБС, кордон Гузерибль. Контрольный участок пихтарника около 300лет.

Развилка на 8-й км р. Молчепы. Контроль к М1

Географические координаты – 43 °59.130' с.ш., 040 °09.022' в.д.

Номер точки – 752

Высота над уровнем моря – 848м.

Крутизна склона – 25°

Растительность – мертвопокровный лес 9П 1Б. подрост бук, пихта куртинами

Полевое название почвы – бурая лесная кислая щебенчатая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	0,5-15	подстилка
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-10	влажная, черно-бурый, порошисто-комковатая, встречается ореховатая, рыхлая Щебень 2–20 %, редкие корни деревьев

### Разрез М 3

Кордон Гузерибль, 1–й км дороги на пастбище Абаго, правобережье ручья Филимонова. Первый участок москвичей.

Географические координаты – 44°12.602' с.ш., 040°11.543' в.д.

Номер точки – 750

Высота над уровнем моря – около 700 м. (на мосту 670 м)

Растительность – буково-пихтовый лес 3-ярусный мертвопокровный. Бук около 300лет, пихты около 80 лет, подрост пихты- 20 лет.

Полевое название почвы – бурая лесная кислая слабощебенчатая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	влажная, серовато-бурый, порошисто-комковатая, плотноватая, щебень 1–5 %, корни

### Разрез М4

Над турбазой Кавказ между 1 и 2 ручьем, террасовидная полка

Географические координаты – 43°59.531' с.ш., 040°08.160' в.д.

Номер точки – 753

Высота над уровнем моря – 703 м.

Крутизна склона – 5-7°

Растительность – пихто-букняк 3-ярусный мертвопокровный, 7Б 3П, возраст примерно 300 лет, много подроста бука

Полевое название почвы – бурая лесная кислая перерытая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-5	Сырой, серовато-бурый, порошисто-комковатый, рыхлый, корни

**17. 07. 19.**

**Разрез М5**

Левый склон балки Свинячки

Географические координаты – 44°00.000' с.ш., 040°08.544' в.д.

Номер точки – 754

Высота над уровнем моря – 692м.

Растительность – буко-пихтарник, 6П 4Б, мертвопокровный, подрост: бук-редко повсеместно, пихта – куртинами

Полевое название почвы – бурая лесная кислая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
A <sub>1</sub>	0-5	Влажный, серо-темно-бурый, порошисто-комковатый, рыхлый Корни
A	5-15	влажный, бурый, ореховато-комковатый, плотноватый корни (меньше чем в A <sub>1</sub> )

**Разрез М6**

Окно 2-летней давности, 15\*5 м

Географические координаты –

Номер точки –

Высота над уровнем моря – м.

Растительность – подрост граба, бука, пихта единично. Остатки выпавшей древесины. Начальные стадии зарастания ежевики

Полевое название почвы – бурая лесная глеевая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
A	0-5	Сырой, темно-серый с буроватым оттенком, порошисто-комковатый, рыхлый, густокорешковый
ABg	5-20	Мокрый, неоднородный сизовато-охристый, бесструктурный, плотноватый, глеевый
Bg	20-40	Сырой, неоднородный желтовато-бурый с сизыми и черными пятнами, ореховатый, плотноватый, черные дробовины марганца, оглеение 10–20 %
Cg	40-60	Сырой, голубовато-желто-бурая, бесструктурный, плотноватый, обильное оглеение 30–50 %

### Разрез М7

Окно вывала 4–6 лет, 5 м от дороги, 100 м от МЗ, мах размер 20x8м

Географические координаты – 43°59.689' с.ш., 040°08.499' в.д.

Номер точки – 755

Высота над уровнем моря – 717 м.

Растительность – отсутствует древесный вывал. Сформированная травянистая стадия сукцессии. Папоротник кочедыжник и страусопер, ежевика, крапива, изредка бузина. Подрост бук, граб средне высотой до 20 см, пихта по опушке от 20 см до 1,5 м

Полевое название почвы – бурая лесная слабощебенчатая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
A	0-10	Сырой, темно-серый, порошисто-комковатый, рыхлый, густокорешковый, камни 1–5 %

АВ	10-25	Сырой, коричневато-серый, комковатый, слегка уплотнен, корни, камни 5 %
----	-------	---

### Разрез М8

Окно 3–4 года, 20м от М4

Географические координаты – 43°59.533' с.ш., 040°08.175' в.д.

Номер точки – 756

Высота над уровнем моря – 738м.

Крутизна склона – 6-8° к р. Белая

Растительность – пихто-букняк, подрост бук, папоротник, граб, бальзамин, ко-  
чережник очень редко

Микрорельеф перерыв?

Полевое название почвы – бурая лесная кислая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Гори- зонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-5	Мокрый, серовато-темно-бурый, порошисто-комко- ватый, рыхлый, корни
АВ	5-15	Мокрый, бурый, комковатый, рыхлый, корни

### Разрез М9

Гарь 2017 года, свежий вывал зимой 2019г. Склон к Кише. Левобережье ручья  
Черный

Географические координаты – 44°03.459' с.ш., 040°10.588' в.д.

Номер точки – 758

Высота над уровнем моря – 642м.

Крутизна склона – 18° ЮВ

Растительность – сплошное зарастание рододендром желтым, черникой кав-  
казской, рододендром понтийским, овсяница горная. Был букняк грабовый

с примесью пихты. 7Б3Г+ИП+Клен. До 5 см мелких веток, очень много ва-  
лежника.

Полевое название почвы – бурая лесная

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	До 5 см	Сухие листья и ветки разной толщины
А	0-5	влажный, темно-коричневый, порошисто-комковатый, рыхлый, корни кустарников, много веточного опада

### Разрез М10

Район 1-го км до кордона Киши, 100 м до знака 1-го км

Географические координаты – 44°03.318' с.ш., 040°10.723' в.д.

Номер точки – 759

Высота над уровнем моря – 637 м.

Крутизна склона – 14–20 °

Растительность – Пихто- букняк. 9Б1П+клен+ граб. Разнотравная, овсяница.

Живой подрост овсяницы, герани, папоротника кочедыжника. Подрост бука  
очень редко

Каменистость – 0–1 %

Подстилка покрытие – 100 %

Полевое название почвы – бурая лесная кислая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Гори- зонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	влажный, темно-коричневый, порошисто-комковатый, рыхлый, корни, камни единично

**ЭКСПЕДИЦИЯ К ОБЪЕКТАМ ПОС. ОТДАЛЕННЫЙ АПШЕРОН-  
СКИЙ РАЙОН, 2 августа 2019 г.**

**02.08.2019 г.**

**Разрез М (kav1\_1)**

Пос. Отдаленный Апшеронский район. Вырубка 40–50 лет

Географические координаты – 44°04.001' с.ш., 039°42.949' в.д.

Номер точки – 760

Высота над уровнем моря – 532м.

Крутизна склона – 1-2° С

Растительность – бук, граб, подрост пихты 0,5–1,5 м, отдельные побеги кустарников

Рельеф – терраса р. Пшеха выровненная площадка

Полевое название почвы – бурая лесная кислая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	0,5–0	подстилка среднеразложенная 90 %
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-5	Влажный, светло-коричневый, порошисто-комковатый, плотноватый, Корни, переход заметный по структуре и цвету
А	5-15	Влажная, серовато темно-бурый, комковато-ореховатый, плотноватый, корни

**Разрез М2 (kav1\_2)**

Пос. Отдаленный Апшеронский район. Вырубка 40–50 лет

Географические координаты – 44°04.151' с.ш., 039°42.782' в.д.

Номер точки – 765

Высота над уровнем моря – 510м.

Крутизна склона – 2-3°

Растительность – осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес, подрост пихты 0,5–1 м.

Полевое название почвы – бурая лесная кислая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	0,5	Подстилка 90–100 %
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-5	влажный, серовато-коричневый (M2/3 бурый), комковатая, рыхлый Камни 1–5 в объеме

### Разрез М 3 (kav1\_3)

Пос. Отдаленный Апшеронский район. Вырубка 40–50 лет

Географические координаты – 44°04.001' с.ш., 039°42.649' в.д.

Номер точки – 764

Высота над уровнем моря – 507 м.

Растительность – осиново-грабовый жимолостно-мелкотравный лес

Рельеф – терраса над р. Пшеха, выровненный участок над обрывом, колея от техники, бугристо-кочковатый превышает 10–20 см

Полевое название почвы – бурая лесная кислая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	0,5	Подстилка 90–100 %
А	0-5	Влажный, свежий, серовато-темно-коричневый, комковатая, плотный, корни

\*пометили алюминиевой лентой бук на высоте примерно 170 см

### Разрез М4 (kav2\_1)

Пос. Отдаленный Апшеронский район. Вырубка 90–110 лет

Географические координаты – 44°03.785' с.ш., 039°42.793' в.д.

Номер точки – 763

Высота над уровнем моря – 511 м.

Крутизна склона – 6-8°

Растительность – буково-пихтово-грабовый лес с кустарниковым пологом. Боярышник, лещина, пихта 3–8 м

Полевое название почвы – бурая лесная кислая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	2-0	Подстилка 70–80 %
A <sub>0</sub> A <sub>1</sub>	0-5	Влажный, серовато-темно-коричневый, комковато-порошистый, рыхлый Корни

### Разрез М5 (kav2\_2)

Пос. Отдаленный Апшеронский район. Вырубка 90–110 лет 300 м от М1

Географические координаты – 44°03.942' с.ш., 039°42.869' в.д.

Номер точки – 761

Высота над уровнем моря – 517 м.

Крутизна склона – 1-2° С

Растительность – буково-пихтово-грабовый мелкотравный лес, подрост пихты 3–5 м

Рельеф – терраса р. Пшеха выровненная площадка

Полевое название почвы – бурая лесная кислая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	0,3	Подстилка маломощная 80 %
A <sub>1</sub>	0-5	Влажный, серо-темно-коричневый, порошисто-комковатый, слегка уплотненный, корни
A <sub>2</sub>	5-15	Влажный, бурый, комковатый, слегка уплотненный, корни

### Разрез М6 (каv2\_3)

Пос. Отдаленный Апшеронский район. Вырубка 90–110 лет, по дороге 20 до обрыва

Географические координаты – 44°03.690' с.ш., 039°43.063' в.д.

Номер точки – 762

Высота над уровнем моря – 545м.

Крутизна склона – 4–8 °З к р. Пшеха

Растительность – буково-пихтово-грабовый лес, упавшие, сгнившие бревна и пни, густой подрост пихты 3–4 м, побеги кустарников, травы нет.

Полевое название почвы – бурая лесная кислая слабо щебенчатая

Почвообразующая и подстилающая породы – аспидный сланец

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	0,5 (М6/3 – 1 см)	Подстилка 80 % (М6/3 100 %)
А	0-5	Влажный, неоднородный от темно-серого до темно-коричневого (М6/3 серый), порошисто-комковатый (М6/3 комковатый), рыхлый (М6/3 плотноватый) Корни

**М6/3 - пихта**

**ЭКСПЕДИЦИЯ НА ВЫРУБКИ РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ, июль 2020г.**

Описание почв проведено совместно с В.П. Солдатовым и К.Ш. Казеевым.

**В1**

16.07.2020 г.

Адыгея. Участок сильного нарушения (дорога шириной 2 м). Оголенная территория с сильно выраженной эрозией, с редкими растениями. Выположенный участок на склоне 3-5°. На поверхности 10–15 % известняка.

Растительность – мозаичная, разреженная. Проективное покрытие 100 %, средняя высота- 10 см, максимальная-30см.

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная. Вскипает с поверхности сильно, с 12 см слабо.

Почвообразующая порода – элювий известняка.

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Влажная, ярко-бурая, структура неоднородная, порошисто-комковатая, плотная, встречаются редкие камни и корни

**В2**

16.07.2020 г.

Адыгея. Участок среднего нарушения справа от дороги в 5–7 м от В1.

Растительность – луговая высокотравная, подрост вырублен. Проективное покрытие 100 %, средняя высота- 1,7м, максимальная-2м.

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная.

Почвообразующая порода – элювий известняка.

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Влажная, серо-темно-коричневая, порошисто-зернисто-комковатая, рыхлая, густокорешковатая

### В3

16.07.2020 г.

Адыгея. Участок слабого нарушения на периферии вырубке справа от дороги в 20 м от В1 выше по склону, слабый уклон на север.

Растительность – злаковое разнотравье. Проективное покрытие 100%, средняя высота- 1м, максимальная-1,5м

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная. Не вскипает.

Почвообразующая порода – элювий известняка

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Влажная, серо-темно-коричневая, комковато-порошисто-зернистая, рыхлая, с дерниной

16.07.2020 г.

Контрольный участок леса к вырубке №1 в 50 м от В1. Слабый уклон 3-5° на север.

Растительность – буково-пихтовый лес с подростом (подбел, папоротники).

Проективное покрытие 30–80%, средняя высота- 60см, максимальная-80см

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная.

Почвообразующая порода – элювий известняка.

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О		Подстилка 70–80%, 0,5 см
А	0-10	Влажная, серовато-темно-коричневая, порошисто-комковатая, рыхлая, корни и редкие обломки известняка

### В6

16.07.2020 г.

Вырубка под ЛЭП в 17 км от Гузерипля. Участок сильного нарушения смыто-намытый водами временного ручья с верхней части склона. На поверхности 30–50% слой мелких камней и обломков древесины

Географические координаты – 44°01.135' с.ш., 040°03.769' в.д.

Номер точки – 738.

Высота над уровнем моря – 1209 м.

Растительность – мезофитная злаково-разнотравная, разреженная с однолетним подростом деревьев (ольха?). Проективное покрытие 10–30%, средняя высота- 50см, максимальная-1,5м.

Полевое название почвы – дерново-карбонатная, карбонатная, намытая, эродированная, среднекаменистая, глинистая. Вскипает сильно.

Почвообразующая порода – элювий известняков.

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Влажная, серовато-коричневая, неоднородный цвет, бесструктурная, рыхлая, отдельные корни, галька и гравий 10–20%

## В7

16.07.2020 г.

Вырубка под ЛЭП в 17 км от Гузерипля. Участок среднего нарушения с сильно-выраженным микрорельефом с буграми, колеей транспорта, превышения 10–15 см. Повторно нарушен: срублен подрост, удалена часть высоко-травной растительности (скошена?).

Выположенный участок с уклоном 3-5°.

Растительность – гидрофитно-мезофитная травянистая злаково-осоково-разнотравная, мозаичная, неоднородная. Проективное покрытие 60–100%, средняя высота- 1м, максимальная-1,5–3,5м

Полевое название почвы – дерново-карбонатная. Вскипание местами сильное с поверхности, слабое до 10 см

Почвообразующая порода – элювий известняков

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Сырая, серо-темно-коричневая, комковатая, слегка уплотненная, корни и единичные обломки

## **В8**

16.07.2020 г.

Вырубка под ЛЭП в 17 км от Гузерипля. Участок слабого нарушения. Периферийная часть вырубки с выраженным микрорельефом, с уклоном 3-5° местами 5-8° и более.

Растительность – высокотравная, злаково-разнотравная, подрост деревьев вырублен. Проективное покрытие 100%, средняя высота- 1,5м, максимальная- 3,5м

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная

Почвообразующая порода – элювий известняков

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	0,5	Подстилка 80%
А	0-10	Влажная, темно-серая (черная), зернисто-комковатая, рыхлая, много корней

## **В9**

16.07.2020 г.

Контрольный участок леса в 100 м от вырубки.

Растительность – пихтово-буковый лес с густым подлеском и подростом, отдельные глыбы известняка. Проективное покрытие 50%, средняя высота- 40см, максимальная-90см, для деревьев средняя высота- 25м

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная

Почвообразующая и подстилающая породы – элювий известняков

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
О	0,5-1	Подстилка 100%
А	0-10	Влажная, коричневато-темно-серая, порошисто-комковатая, рыхлая, корни

## **В10**

16.07.2020 г.

Участок восстановительной сукцессии. Прорезан дорогой, а также промоина через всю вырубку с запада на восток до 50–60 см глубиной. 26 м с севера на юг, 41 м с запада на восток. Слабый уклон на восток 3°

Географические координаты – 44°01.153' с.ш., 040°03.519' в.д.

Номер точки – 857

Высота над уровнем моря – 1284 м

Растительность – разнотравно-бобовая, зарастающая с периферии, мозаичный покров (клевер, вязель, донник, камыш, подорожник, ромашка, единичные злаки). Проективное покрытие 5–7%, средняя высота- 10см, максимальная- 40см

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная.

Почвообразующая порода – антропогенные отложения.

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Влажная, цвет бурый, неоднородный, глыбисто-ореховатая, плотноватая, мелкие обломки темной породы (сланец?)

## В11

17.07.2020 г.

Контрольный участок леса. 2 км от станции Даховская, 100 м от дороги, уклон 5° на восток

Географические координаты – 44°12.677' с.ш., 040°11.514' в.д.

Номер точки – 858

Высота над уровнем моря – 541 м

Растительность – ясенево-дубовый лес со слабовыраженным подростом Проективное покрытие для травянистых 5–7%, средняя высота- 8см, максимальная-15-20см

Полевое название почвы – темно-серая лесостепная.

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
----------	-------------	--------------------------------

А	0-10	Влажная, коричневая-темно серая, порошисто-зернисто-комковатая, слабо уплотненная, корни и галька 5%
А-В		Галька 10–20%

### В12

17.07.2020 г.

Вторичная вырубка. 2 км от станции Даховская, 50 м от кромки леса, 30 м от грунтовой дороги.

Растительность – луговая травянистая с кустарниками (шиповник). Проективное покрытие 80–90%, средняя высота- 80см, максимальная-1,5м

Полевое название почвы – темно-серая лесостепная

Почвообразующая и подстилающая породы –

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Влажная, коричневато-черная, комковатая, плотная, много корней

### В13

17.07.2020 г.

Зарастающая вырубка. 2 км от станции Даховская, 5–10 м от кромки леса

Растительность – древесно-кустарниковая (культураня?) с травянистым пологом. Проективное покрытие 60%, средняя высота- 60см, максимальная-1м

Полевое название почвы – темно-серая лесостепная

Почвообразующая и подстилающая породы –

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Влажная, темно-серая с коричневым оттенком, комковатая, плотная, много корней

**ОПИСАНИЯ ПОЧВ И ЭКОСИСТЕМ СТАРЫХ ВЫРУБОК В ОКРЕСТНОСТЯХ СТАНИЦЫ ДАХОВСКОЙ (МАЙКОПСКИЙ РАЙОН РЕСПУБЛИКИ АДЫГЕЯ), 27 АВГУСТА 2020 Г.**

Описание почв проведено совместно с В.П. Солдатовым и К.Ш. Казеевым.

**Д1**

27.08.2020 г.

Адыгея. Восточный склон хребта Уна-Коз (средняя часть). Участок на склоне 8-10°.

Географические координаты – N44°13.832' E040 °13.918'

Номер точки – 865

Высота над уровнем моря – 671 м

Растительность – Дубово-грабовый лес. Разновозрастный, одноярусный. Дуб 250–300 лет, граб до 150 лет. Полнота 0,7–0,8. Высота яруса 20–22 м. Бонитет 4. Проективное покрытие до 30%.

Состав: 3д4г1я. Подлесок: кизил, клен полевой. Подрост: дуб, ясень, вяз. Периодическое прохождение низовыми пожарами.

Подстилка покрытие 90%, мощность 0,5см.

Каменистость 0,5%?

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная с переходом в серую лесную

Почвообразующая и подстилающая породы – элювий известняка

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Влажная, темно-серая с бурым оттенком, глыбисто-крупно комковатая, бусы, плотная, обильные корни, обломков 0,5%, переход постепенный
АВ	10-37	Влажная, буровато-серый, крупно-комковато-призматическая, плотная, редкие корни, круп. Обломки известняка 20%, постепенный переход

В	37-50	Влажная, серовато-коричнево-бурый. Комковато-призматическая, плотная. Редкие корни, круп. Обломки известняка 10%
---	-------	--

Д2

27.08.2020 г.

Адыгея. Восточный склон хребта Уна-Коз (средняя часть). Участок на склоне 6°. Восхождение после сплошной рубки. Рельеф мелкобугристый.

Географические координаты – N44°13.772' E040 °13.910'

Номер точки – 866

Высота над уровнем моря – 675 м

Растительность – Грабовый лес. Полнота 0,7. Высота яруса 18-20м. Проективное покрытие 20%. Состав: 9граб9груш+осина+дуб. Подлесок редкий: ежевика, крушина. Подрост редкий: вяз, клен, дуб.

Подстилка покрытие 90%, мощность 0,5см.

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная смытая

Почвообразующая и подстилающая породы – элювий известняка

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Влажная, серовато-буровато-коричневая, глыбисто-крупно комковатая, плотная, корни, переход постепенный
АВ	10-35	Влажная, буровато-коричневая, глыбисто-призматическая, плотная, трещиноватый, редкие корни, постепенный переход
В	37-50	Влажная, бурый. Глыбистая, плотная. Редкие корни

Прим. На поверхности сформирован гумусированный горизонт мощностью 0,5–1 см.

### Д3

27.08.2020 г.

Адыгея. Южный склон хребта Уна-Коз (нижняя часть). Участок на склоне 12-15°. Грабинник после рубки. Возраст 25+лет.

Географические координаты – N44°13.425' E040 °14.236'

Номер точки – 867

Высота над уровнем моря – 558 м

Растительность – Грабинник после рубки. Полнота 0,7–0.8. Высота яруса 17-19м. Проектное покрытие 10–15%. Состав: 9граб1дуб+груша+ясень. Подлесок редкий: кизил. Подрост редкий: граб, клен, дуб.

Подстилка покрытие 100%, мощность 1 см.

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная переходящая в темно-серую лесную

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Свежая, коричнево-темно-серая, глыбисто-комковатая, бусы, плотная, корни, переход постепенный
АВ	10-35	Свежая, серовато-коричневая, комковато-призматическая, плотная, корни

### Д4

27.08.2020 г.

Адыгея. Средняя нижняя часть южного склона хребта Уна-Коз. Участок на склоне 12-15°. 7 га. Лесные культуры дуба красного. Возраст 22 года.

Географические координаты – N44°13.321' E040 °14.932'

Номер точки – 868

Высота над уровнем моря – 552 м

Растительность – Грабинник после рубки. Высота яруса 17-22м. Проектное покрытие 10–15%. Состав: 7гр2ос1дуб. Подлесок лещина, кизил (ср. густоты).

Подрост редкий: граб, дуб.

Подстилка покрытие 100%, мощность 1,5–2 см.

Полевое название почвы – дерново-карбонатная выщелоченная переходящая в темно-серую лесную

Почвообразующая и подстилающая породы – элювий известняка

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Свежая, коричнево-темно-серая, глыбисто-комковатая, бусы, плотная, обильно корни, переход постепенный
АВ	10-35	Свежая, серовато-коричневая, комковато-призматическая, плотная, корни, крупные обломки известняка 10%

Д5

27.08.2020 г.

Адыгея. Северный склон горы Гуд. Самовосстан. вырубка. Участок на склоне 15-20°. Нижняя часть склона к р. Дах. Возраст 10-12л.

Географические координаты – N44°12.699' E040°14.414'

Номер точки – 869

Высота над уровнем моря – 508 м

Растительность – Смешанный широколиственный лес. Высота яруса 10-15м.

Проективное покрытие 5%. Состав: 5гр3кл1д1 черешня. Полнота 0,9. Подлесок лещина, кизил (ср. густоты). Подрост редкий: граб, дуб.

Подстилка покрытие 60%, мощность 0,5 см.

Полевое название почвы – серая лесная

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Свежая, серая, порошисто-комковатая, плотноватая, обильно корни, переход постепенный
АВ	10-34	Свежая, коричнево-серая, крупно-комковатая, плотноватая, корни, переход постепенный
В	34-50	Свежая, буровато-коричневая, комковато-призматическая, плотная, единичные корни, камни 1–2%

## Д6

27.08.2020 г.

Адыгея. Контрольный участок у реки Сюк.

Географические координаты – N44°11.099' E040 °09.658'

Номер точки – 871

Высота над уровнем моря – 502 м

Растительность – дубово-кленово-ясеневый лес. Подрост: клен, граб, дуб, ясень. Проективное покрытие 10–20%. Высота 20-25м. Заразиха. Подстилка 70%, мощность 0,5см.

Подстилка покрытие 60%, мощность 0,5 см.

Полевое название почвы – темно-серая лесная

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Свежая, темно-серая, комковатая, бусы, слегка уплотненная, обильно корни, переход постепенный
АВ	10-34	Свежая, темно-серая, комковатая, слегка уплотненная, корни деревьев, галька 2–5%

## Д7

27.08.2020 г.

Адыгея. Зарастающая вырубка 2007г. Лесовосстановление, посадка рядами, междурядье 4м. Длина 500м, ширина 20м.

Географические координаты – N44°11.081' E040 °09.750'

Номер точки – 872

Высота над уровнем моря – 501 м

Растительность – ясень, клен, граб, лещина, вяз. Проективное покрытие 30%. Высота 10м. Папоротник, ежевика. Поверхность ложбинно грядовая (ряды).

Подстилка 60%, мощность 0,5см.

Подстилка покрытие 60%, мощность 0,5 см.

Полевое название почвы – темно-серая лесная смытая нарушенная (неоднородная по цвету, плотности, каменистости).

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	Свежая, буровато-темно-серый, комковатая, плотная, обильно корни, галька 10–20%, переход постепенный
АВ	10-34	Свежая, коричнево-серая, комковатая, плотная, галька 20–30%

### **В11**

27.08.2020 г.

Адыгея. Перевал Солдатский

Растительность – Смешанный широколиственный лес. Состав: 4гр3д2груш1бояр. Возраст 120-130 лет. Бонитет – 4. Проективное покрытие 60%. Одноярусный. Высота 20-25 м. Подлесок: кизил, боярышник. Подрост куртинный: ясень, липа, клен.

### **В13**

27.08.2020 г.

Адыгея. Перевал Солдатский

Растительность – Фруктарник. Возраст 7–8 лет (до 10). Состав: 5боярышник2ябл2груш. Подлесок терн. Высота 6-7 м. Ежевика, девясил.



Рис. Вырубка повторная, станица Даховская, 2020 г.



Рис. Вырубка повторная, станица Даховская, 2020 г.



Рис. Вырубка повторная, станица Даховская, 2020 г.



Рис. Контрольного участок фонового леса Д1, окрестности станицы Даховской, 2020 г.



Рис. Профиль почвы на контрольном участке фонового леса Д1, окрестности станции Даховской, 2020 г.



Рис. Участок вырубki Д2, окрестности станицы Даховской, 2020 г.



Рис. Почва вырубki Д2, окрестности станицы Даховской, 2020 г.



Рис. Участок вырубki ДЗ, окрестности станицы Даховской, 2020 г.



Рис. Почва вырубki ДЗ, окрестности станицы Даховской, 2020 г.



Рис. Участок вырубki Д4, окрестности станицы Даховской, 2020 г.



Рис. Почва вырубки Д4, окрестности станицы Даховской, 2020 г.



Рис. Участок вырубki Д5, окрестности станицы Даховской, 2020 г.



Рис. Почва вырубки Д5, окрестности станицы Даховской, 2020 г.



Рис. Контрольный участок фонового леса вырубке №2, р. Сяук



Рис. Почва контрольного участка леса вырубке, р. Сяук



Рис. Вырубка, р. Сюк



Рис. Почва вырубки, р. Сюк

**ОПИСАНИЯ ПОЧВ ВЫРУБКИ У СУХОГО ЛИМАНА ГПЗ «УТРИШ»,  
23.09.2015**

Описание почв проведено совместно с К.Ш. Казеевым.

**Разрез № 241**

23.09.2015 г.

Пункт заложения: вырубка у Сухого Лимана, 5 м от южной границы площадки.

Точка по GPS №422. Высота 312 м над уровнем моря.

Географические координаты 44 °45'8.64" с.ш. 37 °27'26.24" в.д.

Грабово-ясеневый лес. Макрорельеф: бугор со склоном к Сухому лиману. Мезорельеф: выровненный участок с общим наклоном на юго-запад, крутизна склона 2-3 °. Микрорельеф: выбросы землероек, валежник. Подстилка отсутствует, каменистое покрытие составляет 10–20 %. Глубина разреза – 30 см.

Породы: элювий некарбонатных плотных пород.

Почва: Коричневая выщелоченная каменистая среднесуглинистая на элювии песчаника

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание
А	0-10	Почва сухая, темно-серого цвета; среднесуглинистая; структура комковато-зернистая; плотновата; включения корней, камни до 10%, переход постепенный.
АВ	10-30	Почва сухая, темно-серого цвета; тяжелосуглинистая; структура комковато-зернистая; плотноватый; камни до 20%.
С	с 30 см	Элювий песчаника



Рис. Вырубка у Сухого лимана, контроль – лес, ГПЗ «Утриш», 2015 г.



Рис. Коричневая выщелоченная каменистая (разрез №241) Вырубка у Сухого лимана, контроль – лес, 2015 г.

## Разрез № 242

23.09.2015 г.

Пункт заложения: вырубка у Сухого Лимана, в 10 м от южной границы площадки, в 5 м от разреза № 241.

Грабово-ясеневый лес. Макрорельеф: бугор со склоном к Сухому лиману.

Мезорельеф: выровненный участок с общим наклоном на юго-запад, крутизна склона 2–3 °. Микрорельеф: выбросы землероек, валежник. Подстилка отсутствует, каменистое покрытие составляет 10–20 %. Глубина разреза – 20 см.

Породы: элювий некарбонатных плотных пород.

Почва: Коричневая выщелоченная каменистая среднесуглинистая на элювии  
песчаника

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание
А	0-10	Почва сухая, темно-серого цвета; среднесуглинистая; структура комковато-зернистая; плотновата. Включения корней, камни 10–20%, переход постепенный.
АВ	10-20	Почва сухая, темно-серого цвета; тяжелосуглинистая; структура комковато-зернистая; плотноватый; камни 30–40%.
С	с 20 см	Элювий песчаника

## Разрез № 243

23.09.2015 г.

Пункт заложения: вырубка у Сухого Лимана, в 15 м от южной границы площадки, в 5 м от разреза № 242 на север.

Грабово-ясеневый лес. Макрорельеф: бугор со склоном к Сухому лиману. Мезорельеф: выровненный участок с общим наклоном на юго-запад, крутизна склона 2–3 °. Микрорельеф: выбросы землероек, валежник. Подстилка отсутствует, каменистое покрытие составляет 10–20 %, проективное покрытие 20 %. Глубина разреза – 30 см. Породы: элювий некарбонатных плотных пород.

Почва: Коричневая выщелоченная каменистая среднесуглинистая на элювии  
песчаника

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание
А	0-10	Почва сухая, темно-серого цвета; среднесуглинистая; структура комковато-зернистая; плотновата; включения корней, камни 5%, переход постепенный.
АВ	10-30	Почва сухая, темно-серого цвета; тяжелосуглинистая; структура комковато-зернистая; плотновата; камни 20%.
С	с 30 см	Элювий песчаника

### Разрез № 244

23.09.2015 г.

Пункт заложения: вырубка у Сухого Лимана, около кустарника, в 11 м от разреза № 243, рядом большое количество веток и валежника.

Вырубка, кустарниковая растительность. Макрорельеф: бугор со склоном к Сухому лиману. Мезорельеф: выровненный участок с общим наклоном на юго-запад, крутизна склона 2–3 °. Микрорельеф: кочки; бугры. Каменистое покрытие 10–20 %. Глубина разреза – 20 см. Породы: элювий некарбонатных плотных пород.

Почва: Коричневая выщелоченная маломощная среднесуглинистая на элювии песчаника

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание
А	0-10	Почва сухая, светло-серого цвета; среднесуглинистая; структура комковато-зернистая; корни; камни 5–10%.
АВ	10-20	Почва сухая, темно-серого цвета; тяжелосуглинистая; структура комковато-зернистая; плотновата; камни 10–20%
С	с 20 см	Элювий песчаника



Рис. Вырубка у Сухого лимана, вырубка с подростом ясеня, 2015 г.

### **Разрез № 245**

23.09.2015 г.

Пункт заложения: вырубка у Сухого Лимана, юго-западный угол МП №2.

Точка по GPS: 420. Высота н.у.м. 304 м.

Географические координаты 44 °45'8.33" с.ш. 37 °27'26.18" в.д.

Грабово-ясеневый лес. Макрорельеф: бугор со склоном к Сухому лиману. Мезорельеф: микробугорок. Каменистое покрытие 10–20 %. Глубина разреза – 35 см. Породы: элювий некарбонатных плотных пород.

Почва: Коричневая выщелоченная каменистая среднесуглинистая на элювии песчаника

Горизонт	Глубина, см	Описание
А	0-10	Почва сухая, темно-серого цвета (темнее АВ); среднесуглинистая; структура комковато-зернистая; рыхловата; корни; камни 10%.
АВ	10-35	Почва сухая, темно-серого цвета; среднесуглинистая; структура комковато-зернистая; рыхловата; камни 20%.
С	с 35 см	Элювий песчаника

### Разрез № 246

23.09.2015 г.

Пункт заложения: вырубка у Сухого Лимана, юго-восточный угол МП №2.

Точка по GPS: 419. Высота 307 м над уровнем моря.

Географические координаты 44°45'9.03" с.ш. 37°27'25.64" в.д.

Грабово-ясеневый лес. Макрорельеф: бугор со склоном к Сухому лиману. Мезорельеф: северный склон микробугорка, крутизна склона 3-5° на север. Каменистое покрытие 20–30 %. Глубина разреза – 15 см. Породы: элювий некарбонатных плотных пород.

Почва: Коричневая выщелоченная каменистая маломощная легкосуглинистая на элювии песчаника

Горизонт	Глубина, см	Описание
А	0-10	Почва сухая, темно-серого цвета; легкосуглинистая; структура зернисто-порошистая; плотновата; корни; камни 40–50%.
АВ	10-15	Почва сухая, темно-серого цвета; среднесуглинистая; структура зернисто-порошистая; камни 50%.
С	с 15 см	Элювий песчаника

### Разрез № 247

23.09.2015 г.

Пункт заложения: вырубка у Сухого Лимана, в 25 м от разреза № 243.

Вырубка, травянистая растительность. Подстилка из сухого войлока до 0,5 см.

Глубина разреза – 30 см. Породы: элювий некарбонатных плотных пород.

Почва: Коричневая дерновая выщелоченная каменистая среднесуглинистая на элювии песчаника

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание
А	0-10	Почва сухая, светло-коричневого цвета; среднесуглинистая; структура комковато-зернисто-порошистая; плотная; много корней; камни 5–10%.
АВ	10-30	Почва сухая, светло-серого цвета; среднесуглинистая; структура зернисто-комковатая; плотновата; камни 10–15%, много травянистых корней.
С	с 30 см	Элювий песчаника

### Разрез № 248

23.09.2015 г.

Пункт заложения: вырубка у Сухого Лимана, в 5 м от северной границы. Вырубка. Кустарниковая растительность. Мезорельеф: южный склон крутизной 2–3°. Подстилка из ветоши до 0,5 см. Глубина разреза – 20 см. Породы: элювий некарбонатных плотных пород.

Почва: Коричневая выщелоченная слабокаменистая тяжелосуглинистая на элювии песчаника

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание
А	0-10	Почва сухая, светло-серая; тяжелосуглинистая; структура зернисто-комковатая; плотновата; камни 5–10%, много корней.
АВ	10-20	Сухой, серо-коричневая; тяжелосуглинистая; структура зернисто-комковатая; плотновата.
С	с 20 см	Элювий песчаника

### Разрез № 249

23.09.2015 г.

Пункт заложения: вырубка у Сухого Лимана, северо-восточный угол МП №2.

Точка по GPS: 421. Высота 306 м над уровнем моря.

Географические координаты 44°45'8.71" с.ш. 37°27'28.26" в.д.

Вырубка, заросшая кустарником, ясенем. Мезорельеф: слабый склон крутизной 2-3° на юг. Каменистое покрытие 5%. Глубина разреза – 30 см. Породы: элювий некарбонатных плотных пород.

Почва: Коричневая выщелоченная слабокаменистая тяжелосуглинистая на элювии песчаника

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание
А	0-10	Почва сухая, серого цвета; тяжелосуглинистая; структура комковато-зернистая; слегка уплотнена; камни 5%; корни, дернина.
АВ	10-30	Почва сухая, серого цвета; среднесуглинистая; порошисто-комковато-зернистая структура; рыхловата; щебень 10%; включения корней.
С	с 30 см	Элювий песчаника

### Разрез № 250

23.09.2015 г.

Пункт заложения: вырубка у Сухого Лимана, северо-западный угол МП №2.

Точка по GPS №418. Высота 345 м над уровнем моря.

Географические координаты 44°45'9.10" с.ш. 37°27'27.96" в.д.

Вырубка с травянистой растительностью. Глубина разреза – 30 см. Породы: элювий некарбонатных плотных пород.

Почва: Коричневая выщелоченная слабокаменистая среднесуглинистая на элювии песчаника

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание
А	0-10	Почва сухая, серого цвета; среднесуглинистая; структура порошисто-комковато-зернистая; плотновата; корни; камни 5%.
АВ	10-30	Почва сухая, серого цвета; тяжелосуглинистая; структура порошисто-зернисто-комковатая; плотновата; камни 10%.
С	с 30 см	Элювий песчаника



Рис. Вырубка у Сухого лимана, вырубка с травянистой растительности на поляне, 2015 г.

**ОПИСАНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА ВЫРУБКИ ОКОЛО СУХОГО  
ЛИМАНА ГПЗ «УТРИШ», 28.09.2019 Г.**

**Разрез Р1**

Заповедник «Утриш». Хребет над Сухим Лиманом. В 10 м от ясеня с параллельной поверхности почвы веткой, покрытой мхом. Географические координаты – 44°45.142' с.ш., 37°27.438' в.д. Номер точки – 806. Высота над уровнем моря – 310 м. Угодье и его состояние – грабовый лес с редким подрастая ясеня, злаки занимают 10% от объема растительного покрова. Рельеф – выровненный участок перед склоном. Крутизна склона – 3-5° З. Каменистость покрытие – 20%. Мелкозем не вскипает от 10% раствора соляной кислоты. Полевое название почвы – коричневая выщелоченная каменистая на элювии песчаников.

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	сухой, коричневато-серый, порошисто-зернисто-комковатый, плотный; включения – корни, щебня 10–20% от объема почвы.
АВ	10-21	сухой, коричнево-серый, комковатый, плотный; включения – щебня 20% от объема почвы.

**Разрез Р2**

Заповедник «Утриш». Хребет над Сухим Лиманом. В 30 м от точки 806, в 15 м от одиноко стоящего дерева. Географические координаты – 44°45.151' с.ш., 37°27.468' в.д. Номер точки – 807. Высота над уровнем моря – 310 м. Угодье и его состояние – зарастающая вырубка, густой подрост ясеня высотой около 4,5 м, поросль шиповника. Рельеф – хорошо выражен микрорельеф; борозды, гряды. Крутизна склона – 5° З. Каменистость покрытие – 5–10%. Мелкозем не вскипает от 10% раствора соляной кислоты.

Полевое название почвы – коричневая выщелоченная каменистая на элювии песчаника.

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	сухой, палево-светло-серый, порошисто-комковатый, не прочный, плотный; включения – корни, щебня 5% от объема почвы.
АВ	10-15	сухой, палево-светло-серый, комковатый, плотный; включения – щебня 10–15% от объема почвы.

### Разрез РЗ

Заповедник «Утриш». Хребет над Сухим Лиманом. В 8 м от точки 807, между точками 806 и 807. Географические координаты – 44°45.151' с.ш., 37°27.458' в.д.

Номер точки – 808. Высота над уровнем моря – 316 м. Угодье и его состояние – поляна с травянистой растительностью и кустарниками (ежевика, шиповник), высота травы около 0,5 м, под пологом зеленый мох. Рельеф – поляна 5–7 м шириной и 20–30 м длиной; гряды, борозды. Крутизна склона – примерно 5° З.

Каменистость покрытие – 20%. Подстилка покрытие – 80%. Мелкозем не вскипает от 10% раствора соляной кислоты.

Полевое название почвы – коричневая выщелоченная каменистая на элювии песчаников.

Горизонт	Глубина, см	Морфологическое описание почвы
А	0-10	сухой, палево-серый, порошисто-зернисто-комковатый, плотный; включения – корни, щебня 10% от объема почвы.
АВ	10-20	сухой, серый, комковатый, не прочная, плотный; включения – щебня 20% от объема почвы.



Рис. Вырубка у Сухого лимана, контрольный лес, 2019 г.



Рис. Почва на вырубке у Сухого лимана, контрольный лес, 2019 г.



Рис. Вырубка у Сухого лимана, подрост ясеня, 2019 г.



Рис. Вырубка у Сухого лимана травянистая растительность, 2019 г.



Рис. Коричневая почва вырубки, поляна, Утриш, 2019 г.

Приложение 7

Ведомость образцов почв Кавказского природного биосферного заповедника, 2019 г.

№	Шифр	Глубина, см	Участок	Высота, м	Координаты	Растительность	Почва
1	M1/1	0-5	Гарь 20 лет	889	44°12.602ϕ с.ш., 040°11.543ϕ в.д.	восстановительная сукцес- сия после низового пожара	Бл каменная вторично-дерно- вая
2	M1/2	0-5					
3	M1/3	0-5					
4	M2/1	0-5	лес, контроль	848	43°59.130ϕ с.ш., 040°09.022ϕ в.д.	мертвопокровный лес 9П 1Б	БЛк каменная
5	M2/2	0-5					
6	M2/3	0-5					
7	M3/1	0-5	лес 1	720	44°12.602ϕ с.ш., 040°11.543ϕ в.д.	буково-пихтовый лес 3-ярус- ный мертвопокровный	БЛк слабокаме- нистая
8	M3/1	5...15					
9	M3/2	0-5					
10	M3/3	0-5					
11	M7/1	0-5	Окно 4–6 лет	717	43°59.689ϕ с.ш., 040°08.499ϕ в.д.	травянистая стадия сукцес- сии	БЛк слабокаме- нистая
12	M7/1	5...15					
13	M7/2	0-5					
14	M7/3	0-5					
15	M4/1	0-5	лес 2	703	43°59.531ϕ с.ш., 040°08.160ϕ в.д.	пихто-букняк 3-ярусный мертвопокровный, 7Б 3П	БЛк перерытая
16	M4/2	0-5					
17	M4/3	0-5					
18	M8/1	0-5	Окно 3–4 года	738	43°59.533ϕ с.ш., 040°08.175ϕ в.д.	восстановительная сукцес- сия, подрост бука, граба, па- поротник	БЛк
19	M8/1	5...15					
20	M8/2	0-5					
21	M8/3	0-5					
22	M5/1	0-5	лес 3	692	44°00.000ϕ с.ш., 040°08.544ϕ в.д.	буко-пихтарник, 6П 4Б, мертвопокровный	БЛк
23	M5/1	5...15					
24	M5/2	0-5					
25	M5/3	0-5					

## Ведомость образцов почв Кавказского природного биосферного заповедника, 2019 г.

№	Шифр	Глубина, см	Участок	Высота, м	Координаты	Растительность	Почва
26	M6/1	0-5	Окно 2-летней давности			Начальные стадии зарастания ежевики	БЛ глеевая
27	M6/2	0-5					
28	M6/3	0-5					
29	M6	5...15					
30	M6	20-30					
31	M6	50-60					
32	M9/1	0-5	Гарь 2 лет	642	44°03.459¢ с.ш., 040°10.588¢ в.д.	Сукцессия сплошного зарастания кустарниками после низового пожара 7БЗГ+ИП+Клен	БЛк
33	M9/2	0-5					
34	M9/3	0-5					
35	M10/1	0-5	Лес, контроль	637	44°03.318¢ с.ш., 040°10.723¢ в.д.	Пихто- букняк. 9Б1П+клен+граб	БЛк
36	M10/2	0-5					
37	M10/3	0-5					

## Ведомость образцов буроземов старовозрастных вырубок, пос. Отдаленный, Краснодарский край, 2.08.2019 г.

№	шифр	шифр	глубина, см	участок	высота, м	координаты	растительность	почва
1	kav1_1	M1	0-5	Вырубка 40–50 лет	532	44°04.001ϕ с.ш., 039°42.949ϕ в.д.	осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес	бурая лесная кислая
2			0-5					
3			0-5					
4			5_15					
5	kav1_2	M2	0-5	Вырубка 40–50 лет	510	44°04.151ϕ с.ш., 039°42.782ϕ в.д.	осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес	бурая лесная кислая
6			0-5					
7			0-5					
8	kav1_3	M3	0-5	Вырубка 40–50 лет	507	44°04.001ϕ с.ш., 039°42.649ϕ в.д.	осиново-грабовый жимолостно-разнотравный лес	бурая лесная кислая
9			0-5					
10			0-5					
11	kav2_1	M4	0-5	Вырубка 90–110 лет	511	44°03.785ϕ с.ш., 039°42.793ϕ в.д.	буково-пихто-грабовый мелко-травный лес	бурая лесная кислая
12			0-5					
13			0-5					
14	kav2_2	M5	0-5	Вырубка 90–110 лет	517	44°03.942ϕ с.ш., 039°42.869ϕ в.д.	буково-пихто-грабовый мелко-травный лес	бурая лесная кислая
15			0-5					
16			0-5					
17			5_15					
18	kav2_3	M6	0-5	Вырубка 90–110 лет	545	44°03.690ϕ с.ш., 039°43.063ϕ в.д.	буково-пихто-грабовый мелко-травный лес	бурая лесная кислая слабощебенчатая
19			0-5					
20			0-5					

Ведомость образцов серых лесных почв окрестностей станицы Даховской, август 2019 г.

№	Местоположение	Географические координаты	Высота н.у.м.	Возраст вырубки	Глубина, см
1	Восточный склон хребта Уна-Коз (средняя часть). Дубово-грабовый лес	44°13.832' 40 °13.918'	671	лес, контроль	0-10
					20-30
					40-50
2	Восточный склон хребта Уна-Коз (средняя часть). Грабовый лес	44°13.772' 40 °13.910'	675	40	0-10
					20-30
3	Южный склон хребта Уна-Коз (нижняя часть).Грабинник после рубки	44°13.425' 40 °14.236'	558	25	0-10
					20-30
4	Средняя нижняя часть южногo склона хребта Уна-Коз. Грабинник после рубки.	44°13.321' 40 °14.932'	552	22	0-10
					20-30
5	Северный склон горы Гуд. Самовосстан. вырубка. Смешанный широколиственный лес	44°12.699' 40 °14.414'	508	10 12	0-10
					20-30
					40-50
6	Контрольный участок у реки Сюк. дубово-кленово-ясеневый лес	44°11.099' 40 °09.658'	502	лес, контроль	0-10
					20-30
7	Зарастающая вырубка 2007г.Лесовосстановление, ясень, клен, граб, лещина, вяз	44°11.081' 40 °09.750'	501	12	0-10
					20-30

## Валовой состав почв мезофитных лесов Западного Кавказа, %, 2019 г.

шифр	глубина, см	участок	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
B1-3	0-10	сильное	55,4	8,8	18,5	2,3	1,6	1,8	1,1	0,2
B2-3	0-10	среднее	56,3	6,2	13,3	1,8	1,2	2,2	0,9	0,4
B3-3	0-10	слабое	56,0	6,9	14,9	1,9	1,2	1,9	0,9	0,2
B5-3	0-10	лес, контроль	55,1	8,1	15,1	1,4	1,2	2,1	0,8	0,2
B6-3	0-10	сильное	48,1	6,1	10,4	3,7	1,2	1,5	0,8	0,3
B7-3	0-10	среднее	45,4	8,3	12,5	3,1	1,4	2,1	0,7	0,4
B8-3	0-10	слабое	45,8	7,6	12,9	3,2	1,4	1,8	0,7	0,3
B9-3	0-10	лес, контроль	60,8	8,6	18,1	2,3	1,3	2,1	0,9	0,1
B10-3	0-10	свежая вырубка, сильное	58,3	7,1	17,1	1,2	1,1	2,3	0,9	0,2
B11-3	0-10	лес, контроль Даховская	51,2	5,9	12,5	2,3	1,1	2,2	0,7	0,3
B12	0-10	вырубка повторная Даховская	55,8	7,8	15,3	1,5	1,1	2,2	0,8	0,2
B13	0-10	Вырубка заросшая Даховская	59,8	7,8	18,3	0,7	1,1	2,4	1,0	0,2
M1	0-5	Вырубка 40–50 лет	65,8	6,9	12,4	0,4	0,8	1,4	1,2	0,2
	5...15		68,0	6,7	12,6	0,3	0,7	1,4	1,3	0,2
M4	0-5	Вырубка 90–100 лет	61,3	8,5	12,6	0,7	0,9	1,5	1,0	0,2
	5...15		68,0	8,0	15,3	0,3	0,9	1,6	1,3	0,1
M1/1	0-5	Гарь 20 лет	61,0	6,6	15,3	1,8	1,0	2,2	0,9	0,2
M2/1	0-5	лес, контроль	70,2	5,7	12,6	0,5	0,8	1,7	1,1	0,1

## Продолжение приложения 10

## Валовой состав почв мезофитных лесов Западного Кавказа, %, 2019 г.

шифр	глубина, см	участок	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	TiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
М3/1	0-5	лес 1	67,5	5,4	12,9	0,5	0,9	2,0	1,0	0,2
	5...15		68,5	5,3	12,9	0,4	0,8	2,0	1,0	0,2
М7/1	0-5	Окно 4–6 лет	66,3	5,6	15,0	0,5	0,9	2,2	0,9	0,2
М7/1	5...15		66,2	5,9	16,1	0,4	1,0	2,3	0,9	0,2
М4/1	0-5	лес 2	70,2	6,1	13,7	0,6	0,9	1,8	1,2	0,1
М8/1	0-5	Окно 3–4 года	69,0	5,7	13,8	0,6	0,9	1,8	1,1	0,1
	5...15		68,8	5,2	13,8	0,5	0,9	1,7	1,1	0,1
М5/1	0-5	лес 3	67,5	5,8	13,5	0,5	0,9	1,9	1,1	0,2
	5...15		70,0	5,5	14,3	0,5	0,9	1,8	1,2	0,1
М6/1	0-5	Окно 2-летней давности	64,9	5,8	13,3	0,6	0,9	1,7	1,1	0,2
	5...15		65,4	6,4	15,3	0,4	1,0	1,9	1,1	0,2
М9/1	0-5	Гарь 2 лет	66,6	3,8	11,0	0,4	0,7	1,8	1,0	0,1
М10/1	0-5	Лес, контроль	52,9	8,2	14,1	1,5	1,7	1,8	1,1	0,2

## Содержание микроэлементов в почвах мезофитных лесов Западного Кавказа, мг/кг, 2019 г.

шифр	глубина, см	участок	MnO	Sr	V	Cr	Zn	Ni	Cu	Pb	Co	As
B1-3	0-10	сильное	1661	84	136	135	142	90	78	61	42	18
B2-3	0-10	среднее	1421	99	101	87	116	57	47	47	19	15
B3-3	0-10	слабое	911	82	102	110	120	68	57	61	24	18
B5-3	0-10	лес, контроль	2019	58	98	107	117	72	61	48	30	15
B6-3	0-10	сильное	1527	65	99	94	160	69	59	61	11	18
B7-3	0-10	среднее	3206	63	94	110	202	98	85	67	12	19
B8-3	0-10	слабое	2035	62	90	110	163	88	75	65	10	19
B9-3	0-10	лес, контроль	2027	94	116	109	115	61	52	62	45	18
B10-3	0-10	свежая вырубка, сильное	1229	48	100	103	123	63	53	45	29	14
B11-3	0-10	лес, контроль Даховская	1097	43	79	90	138	62	52	44	12	14
B12	0-10	вырубка повторная Даховская	1963	55	89	116	122	65	55	45	37	14
B13	0-10	Вырубка заросшая Даховская	1443	64	115	125	127	78	67	70	45	20
M1	0-5	Вырубка 40–50 лет	3115	81	135	103	118	50	41	51	23	15
	5–15		3409	65	147	103	106	44	35	42	16	13
M4	0–5	Вырубка 90–100 лет	5351	87	118	97	133	60	50	56	16	17
	5-15		4532	79	159	121	146	63	53	60	37	18
M1/1	0-5	Гарь 20 лет	2570	115	127	109	148	62	52	56	27	-
M2/1	0-5	лес, контроль	1988	87	127	108	109	56	47	38	26	12

## Содержание микроэлементов в почвах мезофитных лесов Западного Кавказа, мг/кг, 2019г.

шифр	глубина, см	участок	MnO	Sr	V	Cr	Zn	Ni	Cu	Pb	Co	As
M3/1	0-5	лес 1	1755	72	111	96	84	48	40	35	15	12
	5-15		1765	75	117	113	93	55	46	24	20	9
M7/1	0-5	Окно 4-6 лет	1724	89	118	111	121	78	68	45	23	14
M7/1	5-15		1616	91	121	113	119	75	64	56	23	17
M4/1	0-5	лес 2	2216	114	147	119	92	55	47	53	43	16
M8/1	0-5	Окно 3-4 года	1911	102	140	104	86	52	44	38	31	13
M8/1	5-15		1176	105	148	111	94	53	45	35	27	12
M5/1	0-5	лес 3	1623	90	134	105	93	53	44	34	23	12
	5-15		1271	98	152	105	100	50	42	16	24	7
M6/1	0-5	Окно 2-летней давности	1339	83	126	96	98	46	38	53	18	16
	5-15		967	88	137	107	102	55	46	55	32	17
M9/1	0-5	Гарь 2 лет	492	81	112	109	40	35	27	36	11	12
M10/1	0-5	Лес, контроль	2578	116	133	187	109	124	109	36	35	12

## Температура почв, 2019 г., градусы Цельсия

шифр	глубина, см	участок	воздух	0	5	10
M1/1	0-5	гарь 20 лет	14	15	14	14
M2/1	0-5	лес, контроль	16	16	14	14
M3/1	0-5	лес 1	17	17	14	14
M7/1	0-5	окно 4–6 лет	22	19	14	14
M4/1	0-5	лес 2	18	17	15	14
M8/1	0-5	окно 3–4 года	21	17	14	13
M5/1	0-5	лес 3	15	15	14	13
M6/1	0-5	окно 2-х лет	16	15	14	14
M9/1	0-5	гарь 2 лет	24	25	21	20
M10/1	0-5	лес, контроль	22	19	16	15

## Полевая влажность почв КГПБЗ, 2019, %

шифр	участок	повторности										М	дисперсия	m	ошибка
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
M1/1	гарь 20 лет	33,1	28,1	43,6	22,9	18,4	14	32,6	16,2	21,9	26,7	26	81,4	3	12
M2/1	лес, контроль	16,4	15,3	17,5	21,8	21,5	18,3	17,6	14,8	15,4	24,4	18	10,5	1	6
M3/1	лес 1	18,1	15,3	28,1	28,2	33,9	27,3	33,4	28,3	26,1	29,9	27	35,3	2	7
M7/1	окно 4–6 лет	30,7	30	30,9	28,4	39,6	30,3	42,3	41,2	31,3	35,7	34	27,1	2	5
M4/1	лес 2	20,1	27,5	28,1	15	16,6	18,8	27,7	30,4	23,9	17,5	23	31,5	2	8
M8/1	окно 3–4 года	61,3	50,7	58,5	37,4	43,7	36,2	44,5	41,3	44,7	45,1	46	68,2	3	6
M5/1	лес 3	29,5	33,1	24,3	18,4	22,2	22,1	27,6	14,8	20,8	22,7	24	28,8	2	8
M6/1	окно 2-х лет	15	28,5	19,9	23,1	22,5	14,8	19,4	22,2	30	12	21	33,8	2	9
M9/1	гарь 2 лет	23	18,5	18,4	21,4	17,5	26,7	36,8	33,6	16,3	12,5	22	60,3	3	12
M10/1	лес, контроль	25,8	32,5	30,1	38,2	17,6	25,4	24,4	27	26,9		28	32,7	2	7

## Сопротивление пенетрации дерново-карбонатных почв (МПа) на вырубке №2, 2019 г.

№	Участок	Глубина, см										среднее
		2,5	5	10	15	20	25	30	35	40	45	
6	сильное	0,3	0,6	1,0	1,3	0,9	1,0	1,6	1,7	1,6		<b>1,1</b>
7	среднее	0,8	1,7	2,1	1,9	2,6	2,5	2,4	2,4	1,8	1,6	<b>2,0</b>
8	слабое	0,4	1,2	1,8	1,7	1,9	2,0	2,0	2,0	2,2	1,8	<b>1,7</b>
9	лес, контроль	0,2	0,4	0,8	1,2	1,4	1,4	1,1	1,2	1,5	1,8	<b>1,1</b>

## Температура буроземов старовозрастных вырубок, пос. Отдаленный, Краснодарский край, 2.08.2019 г.

номер	шифр	участок	воздух	0	5 см	10 см
kav1_1	M1	Вырубка 40–50 лет	19,7	19,9	17,7	17,5
kav1_2	M2	Вырубка 40–50 лет	21,6	18,2	18	17,9
kav1_3	M3	Вырубка 40–50 лет	22,0	18,2	17,5	17,2
kav2_1	M4	Вырубка 90–110 лет	21,5	19,7	19,1	17,9
kav2_2	M5	Вырубка 90–110 лет	21,4	19,6	17,9	17,6
kav2_3	M6	Вырубка 90–110 лет	21,7	19,7	18,3	17,1

## Температура поверхности почв старовозрастных вырубок, пос. Отдаленный, Краснодарский край, 2.08.2019 г.

шифр	участок	повторности										M	дисперсия	m	ошибка
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
M1	Вырубка 40–50 лет	19	19,2	19,5	19,1	19,1	19,2	19,7	20	19,2	19,1	19	0,1	0	1
M2	Вырубка 40–50 лет	19,7	19,3	19,5	19,6	20,4	19,5	19,7	21,4	19,6	19,3	20	0,4	0	1
M3	Вырубка 40–50 лет	19,9	19,5	19	19,4	19,7	19,3	19,4	18,6	18,5	18,7	19	0,2	0	1
M4	Вырубка 90–110 лет	20,9	20,2	20,1	20,3	20,2	19,8	19,6	20,5	20,6	20,5	20	0,1	0	1
M5	Вырубка 90–110 лет	20,3	20,4	20,3	20,3	21,8	22,2	20,3	20,3	20,8	20	21	0,5	0	1
M6	Вырубка 90–110 лет	20,7	21	20,5	20,2	20,3	19,9	21	19,8	20,2	20,5	20	0,2	0	1

## Влажность почв старовозрастных вырубок, пос. Отдаленный, Краснодарский край, 2.08.2019 г.

шифр	участок	повторности										M	дисперсия	m	ошибка
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10				
M1	Вырубка 40–50 лет	17,2	15,9	17	17,1	15,6	19,2	14,2	19,7	18,3	13,2	17	4,3	1	4
M2	Вырубка 40–50 лет	24,9	20,3	16,2	19,6	16,4	16,3	12	15,6	14,2	19,7	18	13,4	1	7
M3	Вырубка 40–50 лет	25,8	15,7	24,5	25,2	24,5	22,6	23,4	12,7	18	24,5	22	20,8	2	7
M4	Вырубка 90–110 лет	14,6	10,6	18,6	20,5	14,6	12,7	21,9	12	18,3	16,3	16	14,1	1	8
M5	Вырубка 90–110 лет	24,8	22,8	25,4	21,8	23,1	23,7	18,6	18,5	23,1	25,1	23	6,0	1	4
M6	Вырубка 90–110 лет	12,9	11,2	16	12,2	13,6	12	12,5	17,1	16,3	15,7	14	4,5	1	5

Свойства почв старовозрастных вырубок, пос. Отдаленный, Краснодарский край, 2.08.2019 г.

Шифр	Глубина, см	Участок	Влаж- ность в/с	Гиг- ровлага, %	>0,25-10	Водопрочность	ОВП	pHводн	pHсолевой	ЕС, мг/л	Основания	Гидр кислотность
M1	0-5	Вырубка 40-50 лет	35,0	5,7	64	80,5	532	5,6	4,1	3,6	7,5	3,0
	0-5		38,4	6,2	70	65,7	525	5,7	4,2	4,2	8,6	3,0
	0-5		38,2	4,9	85	100	542	5,4	3,8	4,0	10,2	3,5
	5_15		30,7	3,2	61	91,8	566	5,3	3,9	3,6	4,1	3,2
M2	0-5	Вырубка 40-50 лет	31,9	4,1	79	67,2	520	5,8	4,4	7,9	7,3	3,4
	0-5		26,8	4,3	67	58,2	519	6,1	4,8	9,3	6,8	1,8
	0-5		28,0	3,7	70	81,8	562	5,3	3,8	3,9	7,1	3,3
M3	0-5	Вырубка 40-50 лет	30,2	3,7	71	99,1	525	4,5	4,8	6,0	6,7	2,1
	0-5		31,2	3,8	83	98,2	497	5,9	4,3	6,4	8,5	2,2
	0-5		28,4	3,7	85	94,5	545	5,7	4,0	3,1	6,9	2,4
M4	0-5	Вырубка 90-110 лет	30,0	6,0	84	63,5	539	5,8	4,4	8,1	12,7	3,3
	0-5		29,6	5,0	74	72,7	505	6,0	4,4	9,7	8,2	2,7
	0-5		31,6	7,1	75	82,6	478	6,0	4,5	10,5	9,5	2,4
M5	0-5	Вырубка 90-110 лет	31,0	4,8	79	94,5	523	5,4	3,8	2,6	9,7	3,3
	0-5		33,1	5,8	85	64,6	534	5,4	3,7	4,1	15,9	3,0
	0-5		29,5	4,4	67	54,9	518	5,6	3,9	4,1	4,6	3,0
	5_15		21,9	2,6	62	65,3	556	4,3	3,9	4,2	2,3	2,9
M6	0-5	Вырубка 90-110 лет	24,5	4,0	77	95,4	499	6,3	5,0	6,3	8,2	1,8
	0-5		20,9	3,9	81	81	534	5,1	4,1	15,2	12,2	3,1
	0-5		25,5	4,3	81	98,1	528	6,0	4,7	5,3	9,7	2,8

Приложение 19

Биологическая активность почв старовозрастных вырубок, пос. Отдаленный, Краснодарский край, 2.08.2019 г.

<i>Шифр</i>	<i>Глубина, см</i>	<i>Участок</i>	<i>Каталаза</i>	<i>ДГ</i>	<i>Инвертаза</i>	<i>Уреаза</i>	<i>Фосфатаза</i>	<i>С микроба биомасса</i>	<i>Гумус</i>	<i>Активный углерод, мг/кг</i>
M1	0-5	Вырубка 40–50 лет	18,0	7,8	11,5	5,2	4,3	5,2	7,5	1313,5
	0-5		25,5	8,3	13,8	8,1	4,2	6,3	8,6	1499,7
	0-5		24,3	8,1	11,2	8,9	2,7	5,9	10,2	1547,4
	5_15		17,1	7,6	9,8	2,6	3,5	5,1	4,1	1248,4
M2	0-5	Вырубка 40–50 лет	20,8	8,0	8,2	7,7	4,4	4,4	7,3	1598,7
	0-5		16,6	12,1	7,8	11,4	3,2	3,7	6,8	1275,0
	0-5		19,6	8,3	8,9	8,2	4,0	4,1	7,1	1512,3
M3	0-5	Вырубка 40–50 лет	21,1	9,5	10,9	8,3	3,3	4,3	6,7	1259,8
	0-5		18,8	9,0	12,2	7,2	4,6	5,2	8,5	1600,4
	0-5		19,8	7,3	12,4	9,2	4,5	4,6	6,9	1269,6
M4	0-5	Вырубка 90–110 лет	32,0	7,8	10,1	8,5	4,0	6,7	12,7	1267,4
	0-5		29,2	7,4	11,3	6,7	3,5	5,1	8,2	1292,4
	0-5		29,0	8,5	11,5	10,3	3,3	5,7	9,5	1256,8
M5	0-5	Вырубка 90–110 лет	24,9	7,7	12,3	5,1	3,7	6,2	9,7	1266,4
	0-5		20,4	10,1	11,8	12,5	3,4	5,2	15,9	1607,1
	0-5		24,4	9,3	8,4	4,1	3,4	5,0	4,6	1315,2
	5_15		14,8	8,8	3,4	-2,3	3,2	2,2	2,3	1255,3
M6	0-5	Вырубка 90–110 лет	42,8	17,2	6,1	5,0	5,0	4,3	8,2	1508,6
	0-5		32,9	8,6	7,4	8,3	5,1	5,0	12,2	1288,9
	0-5		31,9	8,8	9,3	5,2	4,5	6,1	9,7	1544,3

Приложение 20

Содержание питательных элементов в почвах старовозрастных вырубок, пос. Отдаленный, Краснодарский край,  
2.08.2019 г.

Шифр	Глубина, см	Участок	Подвижный фосфор, мг/100г по Ониани	Поглощенный аммоний, мг/кг
М1	0-5	Вырубка 40–50 лет	7,4	59,4
	0-5		9,6	65,1
	0-5		11,4	72,2
	5_15		7,8	32,1
М2	0-5	Вырубка 40–50 лет	13,5	50,2
	0-5		10,6	35,5
	0-5		13,6	21,1
М3	0-5	Вырубка 40–50 лет	9,6	42,2
	0-5		8,0	58,3
	0-5		7,5	53,9
М4	0-5	Вырубка 90–110 лет	13,7	9,5
	0-5		13,2	19,0
	0-5		15,6	75,3
М5	0-5	Вырубка 90–110 лет	17,7	62,5
	0-5		25,6	12,9
	0-5		11,7	34,0
	5_15		6,3	12,5
М6	0-5	Вырубка 90–110 лет	12,0	2,4
	0-5		10,4	12,4
	0-5		14,1	5,8

## Свойства серых лесных почв окрестностей станции Даховская, август 2020 г.

№ п/п	№ участка	слой почвы, см	% ценных агрегатов	Водопрочность	поглощенные основан	гидролит кислотность	pH водн	pH солев	гумус	активный углерод
1	1	0-10	23,7	65,1	23,1	2,3	7,9	6,8	9,2	249,5
2		20-30	23,1	66,2	18,5	2,3	8,1	6,9	5,7	158,7
3		40-50	21,9	62,6	20,3	1,2	8,1	7,1	4,5	145,2
4		1/3 (0-10 см)	25,5	77,2	20,7	4,9	7,8	6,7	9,6	279,6
5		1/2 (0-10 см)	32,0	53,1	21,0	4,7	7,4	6,2	10,4	232,9
9	2	2/1 (0-10 см)	29,1	64,2	17,5	5,0	7,5	6,1	8,0	169,1
10		2/2 (0-10 см)	26,8	60,8	14,2	4,3	7,4	6,2	5,5	160,2
7		20-30	25,1	67,8	13,6	1,5	7,3	6,8	3,6	137,5
8		2/3 (0-10 см)	28,2	70,6	19,6	1,6	8,0	7,1	8,1	170,6
11	3	3/3 (0-10 см)	33,2	68,6	18,3	2,7	7,7	5,9	7,6	165,7
12		20-30	15,5	68,3	13,8	3,3	7,3	6,6	2,6	133,5
13		3/1 (0-10 см)	26,2	63,2	16,7	4,3	7,4	6,2	7,2	163,0
14		3/2 (0-10 см)	27,8	53,2	18,8	3,9	7,5	6,4	7,7	345,5
15	4	4/3 (0-10 см)	31,3	69,8	19,4	1,6	7,9	6,8	6,7	326,5
16		20-30	15,4	60,8	20,7	1,7	8,5	7,0	3,9	305,0
17		4/1 (0-10 см)	23,0	71,6	17,5	0,8	8,3	7,2	3,8	243,3
18		4/2 (0-10 см)	29,9	74,8	22,1	1,2	8,3	7,5	8,3	442,8

Продолжение приложения 21

Свойства серых лесных почв окрестностей станции Даховская, август 2020 г.

№ п/п	№ участка	слой почвы, см	% ценных агрега- тов	Водопрочность	поглощенные основан	гидролит кис- лотность	pH водн	pH солев	гумус	активный углерод
19	5	0-10	49,9	58,1	12,1	2,5	6,9	5,5	9,0	318,2
20		20-30	36,8	73	6,1	9,6	6,0	4,9	3,4	190,3
21		5/40-50	34,8	63,5	9,9	7,8	6,5	5,1	2,3	159,6
22		5/2(0-10 см)	48,0	53,5	16,0	2,9	7,5	6,1	4,7	477,8
23	6	0-10	63,6	71,1	18,9	2,1	7,8	6,4	9,6	774,5
24		20-30	65,2	71,9	13,0	4,5	7,2	5,7	4,7	374,7
25		6/3 (0-10 см)	62,1	64,6	19,8	4,3	7,6	6,5	10,1	918,4
26		6/2 (0-10 см)	75,4	73,9	16,0	5,7	7,6	6,4	7,2	686,4
27	7	0-10	39,8	82,5	11,9	3,8	7,1	6,1	5,2	360,9
28		20-30	41,0	48,8	9,5	4,3	6,9	5,7	3,1	254,1
29		7/3 (0-10 см)	46,4	66	11,2	3,9	7,1	6,0	4,4	295,5
30		7/2 (0-10 см)	43,9	56,2	9,8	5,6	6,8	5,5	4,4	331,1
31	5	5/3 (0-10 см)	34,8	64,6	17,4	3,7	7,6	6,6	5,9	541,3

## Биологическая активность серых лесных почв окрестностей станции Даховская, август 2020 г.

№ п/п		слой почвы, см	каталаза	дегидрогеназы	инвертаза	уреаза	фосфатаза	Азотобактер
1	1	0-10	17,8	35,1	10,4	77,4	152,2	80
2		20-30	16,3	13,9	0,3		148,6	70
3		40-50	18,5	20,2	3,0		136,3	80
4		1/3 (0-10 см)	11,3	13,3	42,9	25,0	148,2	12
5		1/2 (0-10 см)	16,4	16,3	21,9	7,0	147,3	80
9	2	2/1 (0-10 см)	10,5	17,6	31,2		140,0	28
10		2/2 (0-10 см)	9,6	15,0	27,4	25,4	140,3	16
7		20-30	13,9	15,9	4,6		145,6	70
8		2/3 (0-10 см)	12,2	44,1	15,2	89,4	140,0	50
11	3	3/3 (0-10 см)	7,5	23,4	26,0	61,6	139,9	62
12		20-30	5,3	9,8	7,0	19,3	137,0	80
13		3/1 (0-10 см)	7,9	21,0	13,8	102,9	136,8	12
14		3/2 (0-10 см)	7,0	21,6	16,2	77,1	135,4	26
15	4	4/3 (0-10 см)	14,0	43,1	10,4	49,5	135,0	80
16		20-30	14,9	77,8	16,4	65,2	134,2	6
17		4/1 (0-10 см)	13,1	28,8	7,3	7,1	131,2	42
18		4/2 (0-10 см)	15,2	87,0	16,3	51,0	129,6	6

Продолжение приложения 22

Биологическая активность серых лесных почв окрестностей станицы Даховская, август 2020г.

№ п/п		слой почвы, см	каталаза	дегидрогеназы	инвертаза	уреаза	фосфатаза	Азотобактер
19	5	0-10	8,2	9,5	26,2	66,3	132,4	18
20		20-30	4,9	9,2	20,5		129,8	26
21		5/40-50	4,9	11,3	7,7	14,1	128,0	16
22		5/2(0-10 см)	10,5	22,9	19,5	74,3	129,9	20
23	6	0-10	6,9	57,2	21,8	109,9	127,9	48
24		20-30	4,3	8,6	16,5	25,9	126,8	6
25		6/3 (0-10 см)	8,1	55,8	37,9	200,1	127,9	36
26		6/2 (0-10 см)	5,8	26,4	23,3	160,5	125,6	34
27	7	0-10	5,0	10,4	22,4	67,3	124,5	10
28		20-30	4,6	10,1	12,7	26,0	121,0	80
29		7/3 (0-10 см)	6,8	15,8	27,1	86,9	123,1	12
30		7/2 (0-10 см)	5,2	9,4	22,2	53,2	123,3	6
31	5	5/3 (0-10 см)	11,6	41,5	19,5	100,1	117,4	4

## Температура серых лесных почв окрестностей станции Даховская, август 2020г.

№	Участок	воздуха	Глубина, см		
			0	5	10
1	Восточный склон хребта Уна-Коз (средняя часть). Дубово-грабовый лес	19	17	16,7	16,4
2	Восточный склон хребта Уна-Коз (средняя часть). Грабовый лес	23,4	18,6	16,4	16,3
3	Южный склон хребта Уна-Коз (нижняя часть).Грабинник после рубки	22,9	18,6	17	16,7
4	Средняя нижняя часть южногo склона хребта Уна-Коз. Грабинник после рубки.	25	18,5	16,2	16
5	гора Гуд. Самовосстан. вырубка. Смешанный широколиственный лес	25,8	19	15,6	15
6	Контрольный участок у реки Сюк. дубово-кленово-ясеневый лес	27,3	20,7	17,6	17
7	Зарастающая вырубка 2007г.	27,5	21,5	17,6	17

## Температура поверхности серых лесных почв окрестностей станицы Даховская, август 2020г.

№ участка	повторности										М	дисперсия	m	ошибка
1	20,3	20,2	20,5	20,7	20,4	20,7	20,5	19,9	20,3	20,5	20,4	0,1	0	0
2	20,5	21,2	20,7	20,9	21,1	21,5	20,8	21,2	21,5	20,9	21,0	0,1	0	1
3	22,1	23,5	20,2	21,2	22,8	22,3	23,2	23,4	22,5	23	22,4	1,1	0	2
4	23,9	18,1	22,8	21,8	24	23,9	23,1	23,5	24,2	23,9	22,9	3,4	1	3
5	24,3	22,3	25	24,7	24,4	23,2	24,2	24,8	24,6	26,3	24,4	1,1	0	1
6	26,2	26,7	25	24,9	26	24,9	26,8	28,9	25,2	26,2	26,1	1,5	0	2
7	24,5	26,7	25,7	26,9	24,8	28,4	26,9	26,4	28,5	27	26,6	1,7	0	2

Приложение 25

Влажность (полевая, %) серых лесных почв окрестностей станицы Даховская, август 2020г.

№ участка	повторности										М	дисперсия	m	ошибка
1	17,4	12,7	12,4	13,1	14,9	10,2	13,1	8	11,3	14,4	12,8	6,7	0,9	7
2	18,1	11,3	12,7	14,9	13,4	13,8	10,5	12,2	10,5	11,6	12,9	5,4	0,8	6
3	7,3	7,6	6,9	10,1	13,1	14,9	8,7	6,9	9,5	5,5	9,1	8,8	1,0	11
4	14,2	12,3	12	10,5	13,8	19,6	16,8	17,2	15,2	9,5	14,1	10,0	1,1	7
5	7,3	5,5	6,4	8	7,3	8,7	9,8	6,7	8,1	11,6	7,9	3,1	0,6	7
6	8,9	7,3	8	9,5	6,9	5,8	6,9	7,6	5,8	6,6	7,3	1,5	0,4	6
7	6,9	7,3	5,4	4,4	8,7	7,3	7,3	4,8	7,6	9,8	7,0	2,8	0,6	8



**2004**



**2009**



**2018**



**2019**

Динамика растительности на вырубке около станицы Даховская (Адыгея), по данным Google Earth (Солдатов, 2022)



Вырубка около Яворовой поляны, ноябрь 2010 г. (фото К.Ш. Казеева)



Вырубка около реки Сюк (Адыгея), 2010 г. (фото К.Ш. Казеева)



Вырубка около станицы Даховская (Адыгея), 2010 г. (фото К.Ш. Казеева)



Вырубка около Яворовой поляны, июнь 2011 г. (фото К.Ш. Казеева)



Дерново-карбонатная турбированная почва вырубki около Яворовой поляны, июнь 2011 г. (фото К.Ш. Казеева)



Дерново-карбонатная почва контрольного участка леса около Яворовой поляны, июнь 2011 г. (фото К.Ш. Казеева)



Вырубка между Партизанской поляной и пос. Гузерибль (Адыгея), июнь 2011 г. (фото К.Ш. Казеева)



Вырубка около станицы Даховская (Адыгея), 2011 г. (фото К.Ш. Казеева)



Вырубка около станицы Даховская (Адыгея), 2014 г. (фото К.Ш. Казеева)



Контрольный участок леса, станица Даховская (Адыгея), 2014 г. (фото К.Ш. Казеева)



Серая лесостепная почва на участке у реки Сюк (Адыгея). Слева почва фонового леса, справа – вырубки, 2014 г.

(фото К.Ш. Казеева)



Вырубка у реки Сюк (Адыгея), 2014 г. (фото К.Ш. Казеева)



Контрольный участок к вырубке у реки Сюк (Адыгея), 2014 г. (фото К.Ш. Казеева)



Серая лесная почва на участке у реки Сюк (Адыгея). Слева почва фонового леса, справа – вырубки, 2014 г.

(фото К.Ш. Казеева)



Площадка сильного нарушения с эрозией на вырубке у Яворовой поляны, 2014 г. (фото К.Ш. Казеева)



Площадка среднего нарушения на вырубке у Яворовой поляны, 2014 г. (фото К.Ш. Казеева)



Площадка слабого нарушения на вырубке у Яворовой поляны, 2014 г. (фото К.Ш. Казеева)



Площадка сильного нарушения с эрозией на вырубке у Яворовой поляны, 2018 г.



Площадка среднего нарушения на вырубке у Яворовой поляны, 2018 г.



Площадка слабого нарушения на вырубке у Яворовой поляны, 2018 г.



Площадка с сильным нарушением В6 на вырубке между Партизанской поляной и пос. Гузерибль (Адыгея), 2018 г.



Площадка со средним нарушением В7 на вырубке между Партизанской поляной и пос. Гузерибль (Адыгея), 2018 г.



Площадка со слабым нарушением В8 на вырубке между Партизанской поляной и пос. Гузерибль (Адыгея), 2018 г.



Контрольная площадка в фоновом лесу В9 между Партизанской поляной и пос. Гузерибль (Адыгея), 2018 г.



Высокотравная растительность на вырубках Яворовой и Партизанской полянах, 2021 г.



Состояние растительности на вырубке у Яворовой поляне (Адыгея), 2021 г.



Состояние растительности на вырубке у станции Даховская (Адыгея), 2021 г. (фото В.П. Солдатова)



Участок с повторной рубкой и контрольным лесом (на заднем фоне), станица Даховская (Адыгея), 2021 г.  
(фото В.П. Солдатова)



Вырубка между Партизанской поляной и пос. Гузерибль (Адыгея), 2021 г. (фото В.П. Солдатова)



Состояние поверхности почвы на новой вырубке 2019 г. между Партизанской поляной и пос. Гузерибль (Адыгея), съемка с квадрокоптера 2022 г. (фото В.П. Солдатова)