

Шхапацев А.К., Казеев К.Ш. Сравнительная устойчивость биологических свойств
почв разных типов Западного Кавказа к рубкам и пожарам

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

УДК 630; 631.46, 574.42

Сравнительная устойчивость биологических свойств почв разных типов Западного Кавказа к рубкам и пожарам

Шхапацев А.К.¹, Казеев К.Ш.²

¹*Майкопский государственный технологический университет*

²*Южный федеральный университет*

Аннотация

В результате уничтожения лесов в среднегорьях и низкогорьях Западного Кавказа почвы и почвенный покров значительно изменяются. Причинами деградации лесной растительности могут быть рубки, пожары и ветровалы. Изначальное изменение почв может быть различным: перемешивание и скальпирование почвы при рубках и трелевке леса, пирогенное воздействие, вывалы с корнями растений и др. При отсутствии или слабой эрозии дальнейшая эволюция послелесных почв происходит по сходному сценарию. Движущей силой этого является повышенная инсоляция поверхности почв при ликвидации сомкнутых крон деревьев, которая приводит к изменению микроклимата и восстановительным сукцессиям. Изменения в составе и свойствах почв сохраняются на годы и десятилетия. Наиболее динамичны и информативны биологические параметры, которые позволяют быстро и эффективно оценивать экологическое состояние деградированных почв. Обобщение многолетних полученных результатов с использованием интегрального показателя биологического состояния почв 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 ≥ серые лесные ≥ дерново-карбонатные > буроземы.

Ключевые слова: АНТРОПОГЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ, РУБКА ЛЕСА, ПОЖАРЫ, БИОИНДИКАЦИЯ, БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ, ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ

Введение

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 изучены в литературе [1–8].

По степени участия человека сукцессии подразделяют на антропогенные, вызванные влиянием человека, и природные, происходящие по естественным причинам [9]. В.Ю. Нештаев [5] установил, что в таежной зоне наибольшее распространение имеют антропогенные сукцессии, связанные с рубками, пожарами и осушением. Согласно Ю. Одуму [10] движущей силой сукцессии является неравенство расходов на дыхание (R) и валовой продукции (P) в экосистеме. Он подразделяет экологические сукцессии на автотрофные ($P > R$) и гетеротрофные ($P < R$). При $P = R$ наступает состояние зрелого сообщества – климакса [10]. К гетеротрофным относят сукцессии после сплошных рубок, т.к. они начинаются в условиях полного уничтожения продуцентов древостоя и частичного – живого напочвенного покрова, обилия мёртвого органического вещества в виде порубочных остатков, наличия пней и корневых систем в почве [11].

Сукцессии после пожаров чаще являются гетеротрофными, но могут быть и автотрофными, в зависимости от типа и интенсивности пожара [5]. При низовом пожаре на минеральных почвах они являются автотрофными, т.к. происходит сгорание мёртвого органического вещества и частичное разложение гумуса, а древостой повреждается лишь частично. При верховом пожаре обычно происходит гибель деревьев, но не наблюдается их полное сгорание, поэтому послепожарная сукцессия начинается с разложения мёртвой органики, и сукцессия может рассматриваться в большинстве случаев как гетеротрофная.

Почвы вырубок значительно изменены при работах лесозаготовительной техники. А.А. Дымовым [12] 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 свойств почв зависят от количества проходов форвардера, а также последующего выравнивания волоков для сглаживания колеи [13].

Сукцессии после пожаров, могут быть как антропогенными, так и природными. Восстановление лесного фитоценоза после сплошных рубок рассматривается как вторичная

эндозоогенетическая или аллогенная сукцессия. В настоящее время на территории Европейской части России периодичность лесных пожаров составляет от 30–50 до 500 и более лет [14]. В горных лесах Прибайкалья пирогенная деструкция лесных экосистем неизбежно ведет к деградации горных почв, на восстановление которых после низовых пожаров уходят многие десятилетия [15]. Пирогенные признаки сохраняются в почвах лиственничников Средней Сибири более 100 лет после прохождения пожара [16].

Биологическая диагностика почв успешно применяется для оценки экологического состояния почв, в зарубежной литературе называемого здоровьем почв [17–22]. 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. [17, 23–26]. Биологические параметры, наряду с другими показателями, применимы и к оценке влияния рубок и пожаров на почвы [27–36]. Мета-анализ 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 [37]. В почвах ельников Республики Коми и Красноярского края не обнаружено достоверной разницы в накоплении микробной биомассы и скорости микробного дыхания [38]. При определении реакции микробного сообщества почвы на тепловой стресс информативность изменяется в ряду: активность уреазы > активность кислой фосфатазы > активность β -глюкозидазы >> бактериальной активности [39]. Эти и другие исследования показывают, что из широкого набора показателей более информативны и удобны методы определения ферментативной активности почв [40–44]. Они применяются и в исследуемом регионе в горах Крыма и Кавказа [45–47].

Поскольку разные биоиндикаторы могут реагировать на антропогенные воздействия по-разному в последние годы широко применяется интегрированная оценка биологических свойств почв [17, 26, 48–51]. В обзорной статье В.А. Тереховой [52] 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. Колесников с соавторами [53] показал, что нарушение экологических функций почвы происходит в определенной очередности. По мере увеличения концентрации

загрязняющего почву химического вещества срыв выполняемых ею экосистемных функций (по классификации [54]) 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 экотипов, на 10–25 % — биохимических, физико-химических, химических и целостных, более чем на 25 % — физических [53]. Устойчивость почвы к антропогенным воздействиям определяется устойчивостью именно целостных биогенотических функций, таких как аккумуляция и трансформация веществ и энергии в биогенотическом сообществе, санитарная функция, функция буферного и защитного биогенотического 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.

Объекты исследований

На территории Западного Кавказа были исследованы зональные и азональные почвы, составляющие основу почвенного покрова низкогорий и среднегорий (таксономия согласно классификациям [55-57]): дерново-карбонатные выщелоченные (Rendzic Leptosols); серые лесные и лесостепные (Phaeozems); буроземы типичные, кислые и глеевые; коричневые карбонатные и выщелоченные (Cambisols). Расположение исследуемых нарушенных рубками и пожарами участков представлена на рис. 1. По климатическим условиям и видовому составу растений исследуемые леса можно разделить на мезофитные и ксерофитные (рис. 2). Растительность этой территории представлена широколиственными, хвойными и хвойно-широколиственными лесами [58–62].

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°C. 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. 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 [63, 64]. Для них характерна 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 [63].



Рис. 1. Схема расположения вырубок и гарей: 1) мезофитные леса; 2) ксерофитные леса



А. Государственный природный заповедник «Утриш»



В. Кавказский государственный природный биосферный заповедник

Рис. 2. Ксерофитные (А) и мезофитные (В) леса Западного Кавказа

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 [65]. Мощность гумусовых горизонтов в серых лесных и особенно в лесостепных почвах, более

значительная, чем в буроземах. Профильное распределения 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 [66].

Контрольный участок №1 расположен в дубово-грабовом лесу со слабовыраженным подростом на высоте 540 метров над уровнем моря. Участок разбит на 2 зоны: 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 2 площадки: зарастающая вырубка и повторная вырубка. На площадке повторной рубки растительность представлена луговым злаково-разнотравьем. Почва этого участка серая лесостепная (Greyic Phaeozem Vertic).

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 м над уровнем моря. Почвы исследуемой территории – дерново-карбонатные (рендзины, Rendzic Leptosols) выщелоченные слабокаменистые суглинистые на элювии известняков. По Классификации почв России эти почвы относятся к карболитоземам темногумусовым, если их мощность не превышает 30 см [56]. Эти почвы являются азональными вследствие развития на карбонатных породах, поэтому значительно отличаются от окружающих зональных буроземов [63, 67]. Значительное влияние карбонатность, даже остаточная, оказывает на биологические свойства этих почв [68].

Тип климата района заповедника «Утриш» определяется как переходный между морским средиземноморским и умеренно-континентальным [69]. Лето длится около пяти месяцев, зима – около трех. Зима редко бывает устойчивой. Среди зимы, почти ежегодно, бывают оттепели, температура воздуха повышается до 10–15°C. Средняя годовая температура воздуха в районе заповедника колеблется в пределах 9–11°C. Длительность безморозного периода составляет на восточном побережье 7–8 месяцев. Осенью до ноября сохраняется высокая температура воздуха (14°–16°C). Количество осадков в районе заповедника составляет 550–810 мм, с пиком в ноябре-январе – 180–210 мм.

Коричневые почвы исследованы в западной части Северо-Черноморской провинции Большого Кавказа на Абраусском 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 [70–72]. 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 [63, 64].

В данной статье 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 [17, 73, 74]. По разным частным аспектам этой тематики опубликованы десятки статей и монографий, часть из которых приведена в списке литературы.

Результаты

Деградационное воздействие рубок и пожаров совмещает прямое (непосредственные) и косвенное воздействия. Прямое воздействие относительно кратковременно и заключается в механическом воздействии машин, уплотнении, перемешивании, скальпировании поверхностных горизонтов, пирогеомном воздействии, которые приводят к уничтожению растительности и нарушению почвенного покрова. Экосистемные изменения включают эрозию почвы, регенерацию растительности, восстановление структуры сообщества, реклонизацию фауны и множество связанных с этим различных изменений почв [75].

Восстановительные сукцессии после рубок в исследуемом регионе подробно описаны в ряде научных работ [76–79]. После исчезновения древесной растительности происходит ряд последствий, связанных в первую очередь, с освобождением территории от затенения, сопровождаемого изменением инсоляции, температуры и влажности почв [12, 80, 81]. В результате сукцессии на исследуемой территории чаще всего происходят прогрессивные [по 9] 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. Нами были исследованы разные хроноряды после сведения леса при рубках и пожарах (рис. 3, 4). Изменения почв после рубок и пожаров могут приводить к повышению или снижению биологической активности в зависимости от условий рельефа, почв и растительности [36, 80]. В некоторых случаях на крутых склонах сведение лесов может привести к полной деградации почв.

Шхапацев А.К., Казеев К.Ш. Сравнительная устойчивость биологических свойств
почв разных типов Западного Кавказа к рубкам и пожарам

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»



0 лет



1 год



8 лет



25 лет



50 лет



100 лет

Рис. 3. Последовательность изменения растительности на вырубках Западного Кавказа

Шхапацев А.К., Казеев К.Ш. Сравнительная устойчивость биологических свойств
почв разных типов Западного Кавказа к рубкам и пожарам

Электронный научно-производственный журнал
«АгроЭкоИнфо»

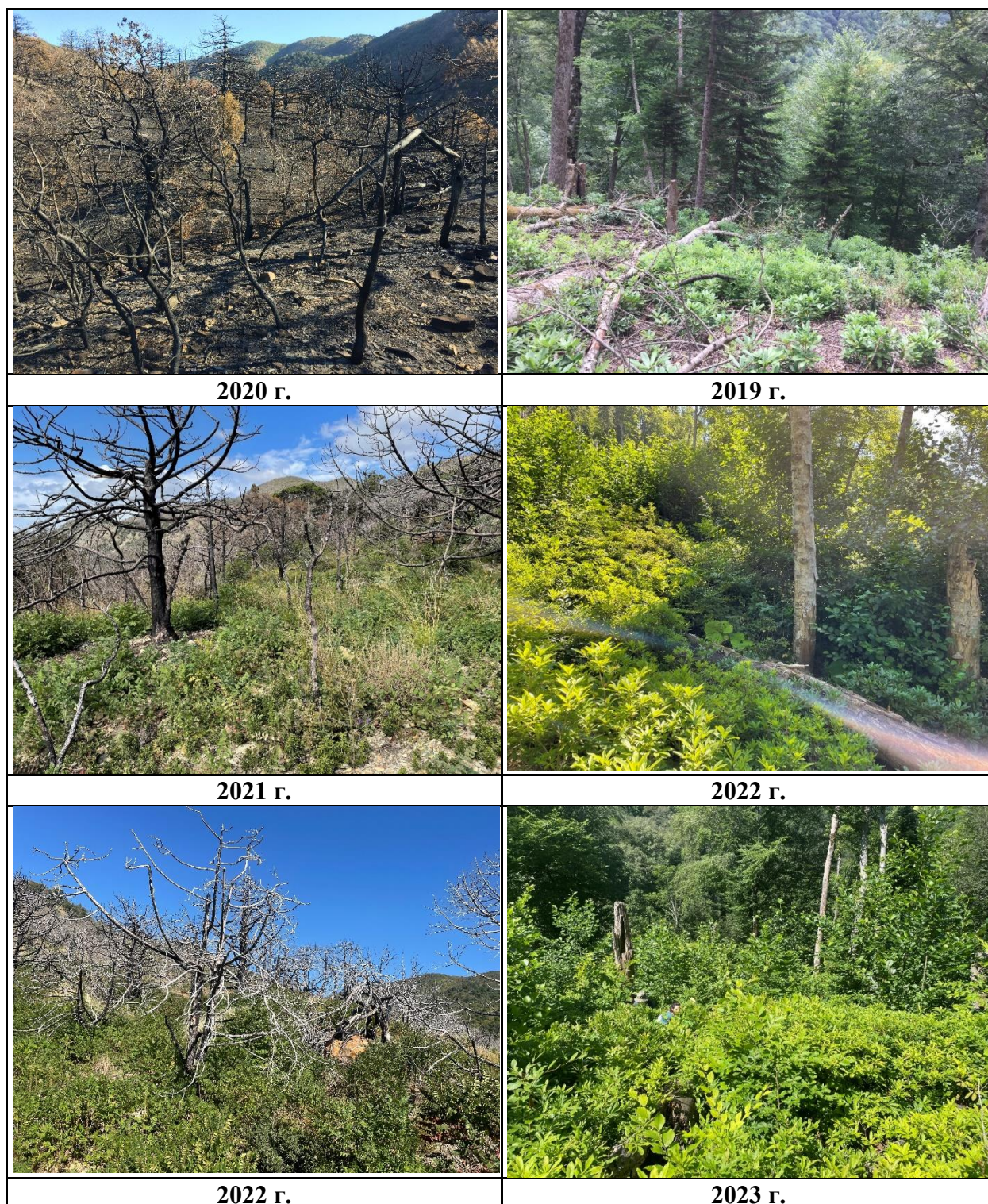


Рис. 4. Заращение гарей в заповедниках: «Утриш» (слева) и Кавказском биосферном (справа)

Изучаемые контрольные почвы разных типов под лесами имеют разные фоновые уровни биогенности и биологической активности, отраженных в ИПБС. Наибольшая

биологическая активность выявлена для дерново-карбонатных и серых лесостепных почв. Минимальные значения характерны для буроземов, в которых вся активность приурочена к тонкому поверхностному слою. Его активность может быть высокой. Эти результаты подтверждаются и другими исследованиями [18, 20].

Используя предложенную методику интегрированной оценки биологических свойств почв [17]. А.И. Поляков [82] установил, что наиболее устойчивыми к рубке леса являются серые лесные почвы, а наибольшая деградация проявляется в бурых лесных почвах. Для оценки последствий рубки в горных условиях лучше использовать профильный подход с учетом мощности всех горизонтов. Максимальное снижение значений ИПБС при этом отмечены для бурых лесных почв (на 67–75%), минимальные – 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%. Основной причиной этого стало значительное укорочение профиля почвы на вырубке вследствие интенсивной эрозии. Аналогичные процессы привели и к 3–4 кратному снижению значений ИПБС почвенного профиля бурой лесной почвы, в то время как верхние горизонты в лесу и на вырубках различались значительно меньше. Только для дерново-карбонатных почв в связи с равномерным профильным распределением получены близкие результаты изменения ИПБС для верхних горизонтов и всего профиля – уменьшение на 28 и 24% соответственно. Уже через год вырубка покрывается практически полностью густым покровом лугового высокотравья и через несколько лет начинает дифференцироваться на участки с различными по свойствам почвам [76, 83].

Спустя 10 лет после рубки леса вырубки на участках с дерново-карбонатными почвами дифференцируются в зависимости от степени развития травянистой луговой флоры и подроста деревьев и кустарников (рис. 5).

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 [36, 80, 84]. 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%.

Для серых лесостепных почв низкогорий Адыгеи выявлены незначительные различия в ИПБС вырубок и фонового леса (рис. 6). В зависимости от времени наблюдения различия ИПБС могут быть отрицательными (–13%) и положительными (+14%).

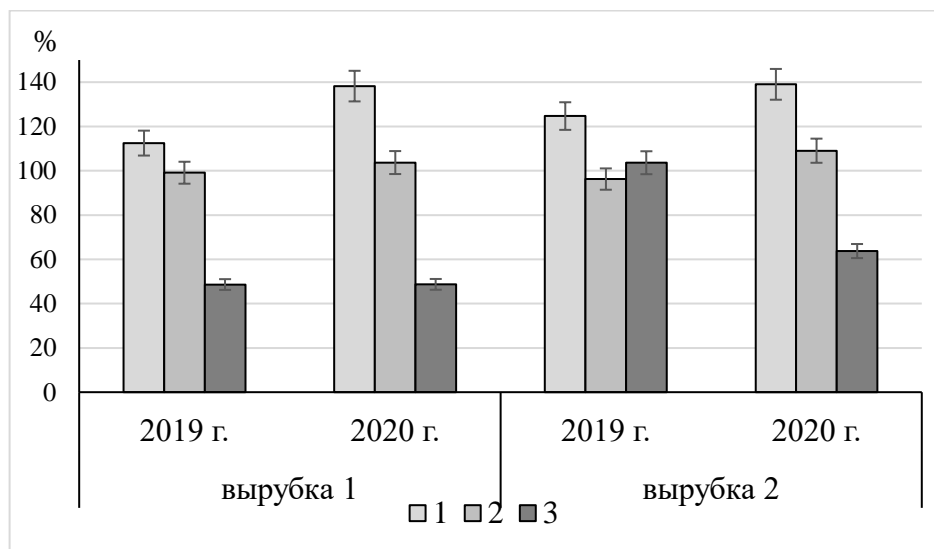


Рис. 5. ИПБС дерново-карбонатных почв среднегорий Адыгеи разной степени нарушения: 1) слабое; 2) среднее; 3) сильное

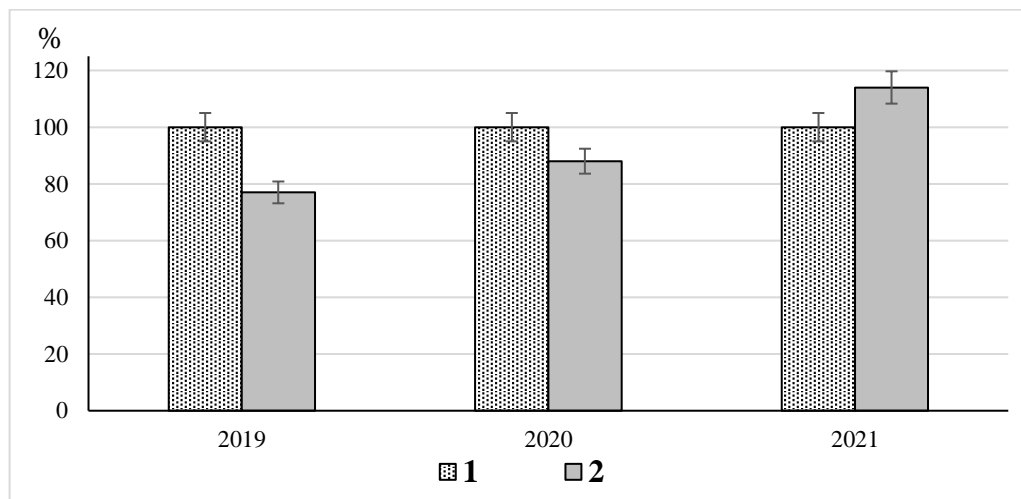


Рис. 6. ИПБС серых лесостепных почв на участке №3, 2019–2021 гг.: 1) контрольный лес; 2) вырубка

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. 7). 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 возраста 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.

В заповеднике «Утриш» в 2015 и 2019 гг. 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 [85].

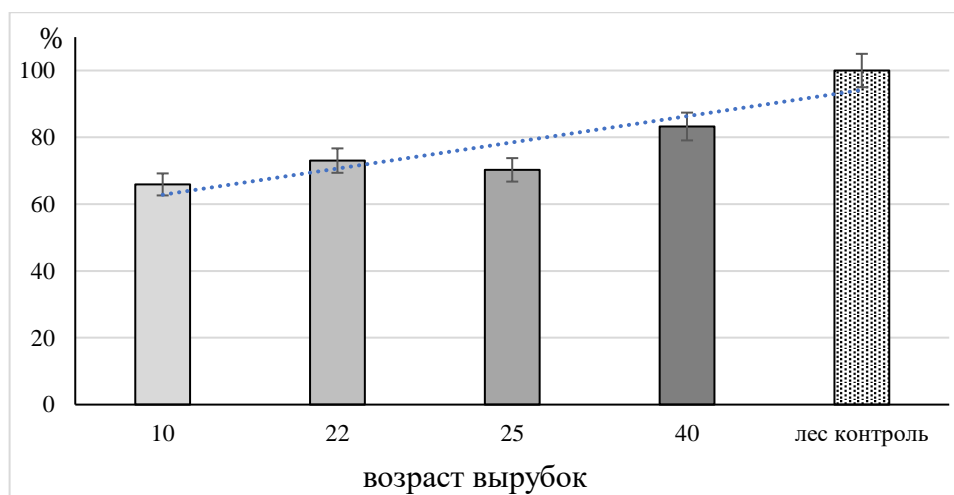


Рис. 7. ИПБС низкогорных серых лесных почв на участках №1 и №2 (подписи столбцов соответствуют возрасту вырубок)

Почва здесь диагностирована как коричневая типичная слабокаменистая тяжелосуглинистая с нейтральной реакцией среды ($pH=6,5-7,1$). Различия биологической активности связаны с природным варьированием показателей, степенью каменистости и мощности почв, а также со степенью антропогенного нарушения почв при вырубке леса [86]. ИПБС почв на вырубке значительно ниже контрольных значений – на 18–37% (рис. 8). При этом увеличение возраста подроста деревьев на вырубке ИПБС повышается, не достигая, однако контрольных значений биологической активности почвы фонового леса.

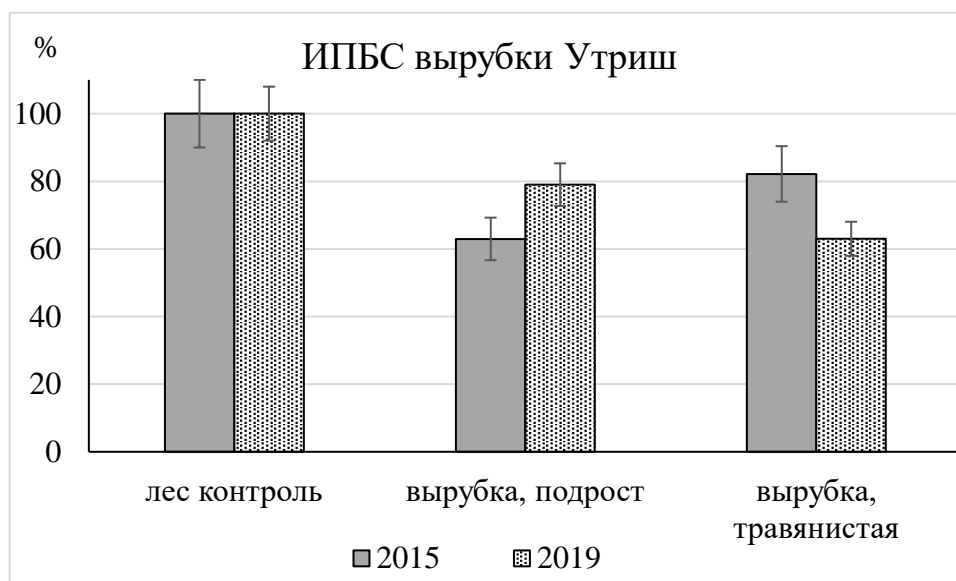


Рис. 8. ИПБС почв вырубki на коричневой почве заповедника «Утриш»

Экологическое состояние коричневых почв заповедника «Утриш» сразу после пожара в 2020 г. определено как неблагополучное, ИПБС снижен на 8–20% для всех степеней пирогенного повреждения [33]. В 2021 г. экологическое состояние почв слабой и средней степени повреждения определено как хорошее. В постпирогенных почвах сильной степени повреждения ИПБС снижен на 12%, что отражает неблагополучное состояние. В 2022 г. экологическое состояние почв для участков слабого повреждения снизилась незначительно, однако все 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 полученных результатов с использованием предложений К.Ш. Казеева об устойчивости почв юга России к антропогенному воздействию [18] и С.И. Колесникова об изменении экологических функций почв по реакции интегрального показателя биологического состояния почв [53, 87] 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 ≥ серые лесные ≥ дерново-карбонатные > буроземы.

*Исследования поддержаны грантом Президента РФ для ведущей научной школы
(НШ-449.2022.5).*

Список использованных источников:

1. Сукачев В.Н. Главнейшие понятия из учения о растительном покрове // Растительность СССР, Т. 1. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1938. С. 15–37.
2. Федорчук В.Н., Кузнецова М.Л. Изменение показателей лесных биогеоценозов на начальных этапах восстановительной сукцессии после сплошных рубок (по материалам постоянных наблюдений) // Бюллетень МОИП. Отд. биол. 1995. Т. 100. Вып. 2. С. 85–99.
3. Маслов А.А. Сукцессионная динамика древостоя и нижних ярусов в послепожарном 100-летнем сосняке лишайниково-зеленомошном // Лесоведение. 2002. № 2. С. 24–30.
4. Нештаев В.Ю. Модель динамики разнообразия растительности Верхне-Тазовского заповедника под влиянием лесных пожаров. // Вестник Томского государственного университета. Приложение № 2. 2002. С. 177–182.
5. Нештаев В.Ю. Антропогенная динамика таёжной растительности Европейской России. Диссертация на соискание ученой степени доктора биологических наук. Санкт-Петербург. 2017. 312 с.
6. 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.
7. Шевченко Н.Е. Послепожарные стадии 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.
8. Буряк Л.В., Каленская О.П. Влияние пожаров на формирование насаждений Нижнего Приангарья. – Пушкино : ВНИИЛМ, 2020. – 140 с.
9. Миркин Б.М., Наумова Л. Г. Наука о растительности (история и современное состояние основных концепций). Уфа: Гилем, 1998. 413 с.
10. Одум Ю. Экология: в 2-х т. Т. 2. Пер. с англ. М.: Мир, 1986. 376 с.
11. Соловьев В. А., Николаев С. В. Роль лесного сектора в бюджете углерода Ленинградской области // Известия вузов. Лесной журнал. 2004, № 5. С.7–15.
12. Дымов А.А. Влияние сплошных рубок в бореальных лесах России на почвы (обзор) // Почвоведение. 2017. №7. С.787–798.
13. 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.
14. Горшков В.В., Ставрова Н.И. Пожары как фактор нарушения бореальных лесов // Проблемы экологии растительных сообществ Севера. СПб: БИН РАН, 2005. С. 237–238.

15. Краснощеков Ю.Н. Влияние низовых пожаров на эрозию почв в горных лесах Прибайкалья // География и природные ресурсы. 2022. Т. 43. № 2. С. 54–64.
16. 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.
17. 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.
18. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биология почв Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во ЦВВР, 2004. 350 с.
19. 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.
20. Kozun Y.S., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I. Climatic gradients of biological properties of zonal soils of natural lands // Geoderma. 2022. Vol. 425, 1, 116031.
21. 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>.
22. Hermans S.M., Lear G., Case B.S., Buckley H.L. The soil microbiome: An essential, but neglected, component of regenerative agroecosystems // Science. 2023. Vol. 26, I. 2. 106028.
23. Казеев К.Ш., Козин В.К., Колесников С.И., Вальков В.Ф. Биологические особенности почв влажных субтропиков // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1474–1478.
24. 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.
25. 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.
26. Thiele-Bruhn S., Schloter M., Wilke B.-M., Beaudette L. A., Martin-Laurent F., Cheviron N., Mougín C., Römbke J. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment // SOIL. 2020. V.6. P. 17–34.
27. Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н. Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2014. № 2. - С. 144–154.
28. 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.

29. 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.
30. Казеев К.Ш., Одабашян М.Ю., Трушков А.В., Колесников С.И. Оценка влияния разных факторов пирогенного воздействия на биологические свойства чернозема // Почвоведение. 2020. № 11. С. 1372–1382.
31. 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.
32. 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, 2022, Т. 28, № 1 (90). С. 107–114.
33. 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).
34. 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.
35. 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.
36. Shkhatatsev A., Vilкова 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.
37. 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. V. 423, 115961.
38. 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.
39. 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.
40. 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.

41. 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.
42. Hugh H.A.L. Soil extracellular enzyme dynamics in a changing climate // *Soil Biology and Biochemistry*. 2012. V.47. P. 53–59.
43. 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.
44. 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.
45. 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.
46. 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.
47. Костенко И.В., Федоренко А.Н., Казеев К.Ш. Ферментативная активность горнолуговых почв Крыма [Электрон. ресурс] // *АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал*. – 2023. – № 3. http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/3/st_301.pdf.
48. 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*. 2015. Т. 22. № 1. С. 112–120.
49. 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.
50. Acosta-Martinez V., Cano A., Johnson J. Simultaneous determination of multiple soil enzyme activities for soil health-biogeochemical indices // *Applied Soil Ecology*, 2018. Vol.126. P. 121–128.
51. 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.
52. Терехова В.А. Биотестирование экотоксичности почв при химическом загрязнении: современные подходы к интеграции для оценки экологического состояния (обзор) // *Почвоведение*. 2022. № 5. С. 586–599.

53. 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.
54. Добровольский Г.В., Никитин Е. Д. Функции почв в биосфере и экосистемах (экологическое значение почв). М.: Наука, 1990. - 261 с.
55. Классификация и диагностика почв СССР / Егоров В.В., Иванова Е.Н., Фридланд В.М. М.: Колос, 1977, 225 с.
56. 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.
57. IUSS Working Group WRB. 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. 2015. No. 106. FAO, Rome, Italy. 192 p.
58. Литвинская С.А., Муртазалиев Р.А. Флора Северного Кавказа. М.: Издательство: Фитон XXI. 2013. 688 с.
59. Акатов В.В. Структура доминирования в древостоях лесов Западного Кавказа: факторы и механизмы // Успехи современной биологии. 2014. Т. 134. № 3. С. 257–269.
60. Акатов В.В. Состав, видовое богатство и размер видового пула моно- и олигодоминантных древостоев Западного Кавказа // Растительность России. 2018. № 32. С. 3–18.
61. 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.
62. Литвинская С.А. Флорофитоценоотическое разнообразие Западного Кавказа // Юг России: экология, развитие. 2020. Т. 15. № 1 (54). С. 37–48.
63. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. Ростов-на-Дону: Изд-во Эверест, 2008. 276 с.
64. Казеев К.Ш., Вальков В.Ф., Колесников С.И. Атлас почв Юга России. Ростов н/Д: Изд-во Эверест, 2010. 128 с.
65. 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.
66. 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», 2007. 392 с.
67. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Кутровский М.А. Почвообразование на известняках и мергелях. Ростов н/Д: ЗАО «Ростиздат», 2007. 198 с.
68. 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. 2012. № 3. С. 327–335.

69. Ткаченко Ю.Ю., Денисов В.И. Климат / Государственный природный заповедник «Утриш». Атлас. Научные труды. Том. 2 – Анапа. 2013. С. 32–37.
70. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Быхалова О.Н. Почвенный покров заповедника «Утриш». Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015. – 104 с.
71. Опанасенко Н.Е. Скелетные почвы Крыма и плодовые культуры: монография. – Херсон, 2014. – 336 с.
72. 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.
73. Казеев К.Ш., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Даденко Е.В. Методы биодиагностики наземных экосистем. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2016. 356 с.
74. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методы определения ферментативной активности почв. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2021. – 174 с.
75. 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.
76. 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). 2013. № 91 (07). <http://ej.kubagro.ru/2013/07/pdf/127.pdf>.
77. Ермолаева О.Ю., Хитрина А.К., Казеев К.Ш. Динамика растительного покрова на вырубках на известняковых массивах Западного Кавказа // Актуальные проблемы экологии и сохранения биоразнообразия России и сопредельных стран. Владикавказ: Сев.-Осет. гос. ун-т им. К.Л. Хетагурова. 2015. С. 14–16.
78. 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; URL: <https://jbks.ru/archive/issue-44/article-3>.
79. Шевченко Н.Е., Кузнецова А.И., Тебенькова Д.Н., Смирнов В.Э., Гераськина А.П., Горнов А.В., Грабенко Е.А., Тихонова Е.В., Лукина Н.В. Сукцессионная динамика растительности и запасы почвенного углерода в хвойно-широколиственных лесах Северо-Западного Кавказа // Лесоведение. 2019. № 3. С.163–176.
80. 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.

81. Шхапацев А.К., Казеев К.Ш., Козунь Ю.С., Солдатов В.П., Федоренко А.Н., Колесников С.И. Биологическая активность буроземов старовозрастных вырубок Западного Кавказа // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2023. Т. 27. № 4. С. 47–59.

82. Поляков А.И. Изменение горно-лесных экосистем Северного Кавказа вследствие вырубки леса // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2010. № 4. С. 113–114.

83. 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 Кубанского государственного аграрного университета (Научный журнал КубГАУ). Краснодар: КубГАУ, 2012. №08(82). С. 1059–1069.

84. 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. – 2020, №3. С. 1–20 – http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/3/st_308.pdf.

85. Государственный природный заповедник «Утриш». Атлас. Научные труды. Т. 2. Анапа, 2013. 88 с.

86. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Акименко Ю.В., Козунь Ю.С., Полуянова В.С., Быхалова О.Н. Биологическая диагностика экологического состояния почв мониторинговых площадок заповедника «Утриш» // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2016. № 1 (189). С. 61–65.

87. Колесников С.И., Казеев К.Ш., Вальков В.Ф. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами. Ростов-на-Дону: Изд-во СКНЦ ВШ, 2000. 232 с.

Цитирование:

Шхапацев А.К., Казеев К.Ш. Сравнительная устойчивость биологических свойств почв разных типов Западного Кавказа к рубкам и пожарам [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2023. – № 4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2023/4/st_423.pdf.
DOI: <https://doi.org/10.51419/202134423>.