УДК 631.46: 574.4: 630*43

Влияние пирогенного воздействия на биологическую активность чернозема обыкновенного в модельных экспериментах

Вилкова В.В.¹, Казеев К.Ш.¹, Шхапацев А.К.², Нижельский М.С.¹, Колесников С.И.¹

¹Южный федеральный университет

²Майкопский государственный технологический университет

Аннотация

Исследовано влияние пирогенного воздействия на биологическую активность чернозема обыкновенного. Для этого была поставлена серия модельных экспериментов с имитацией пожаров различной длительности и интенсивности. Было установлено значительное изменение биологических свойств почв, а также различия в реакциях биологических показателей на пирогенное воздействие. В разных опытах установлены различный характер изменений реакции почвенной среды и содержания органического углерода, увеличение содержания легкорастворимых солей. Во всех опытах отмечено ингибирование активности каталазы, изменения активности пероксидазы были противоречивее. В одном из опытов обнаружено стимулирование активности пероксидазы. С целью изучения способов восстановления биологической активности постпирогенных почв проведен модельный опыт с использованием гумата калия, комплексного минерального удобрения и фиторекультивации. При этом не было получено однозначных результатов, позволяющих рекомендовать методы ускоренного восстановления постпирогенных почв.

Ключевые слова: БИОДИАГНОСТИКА, ПОЖАРЫ, ПОСТПИРОГЕННЫЕ ПОЧВЫ, ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ, ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПОЧВ

Введение

Лесные пожары являются одним из наиболее опасных видов нарушений естественных экосистем не только в региональном, но и в глобальном масштабе. Пожары влияют на динамику растительных ассоциаций, биохимические циклы, биоразнообразие и состояние почвенного покрова [1, 2]. Так, эмиссия углерода и парниковых газов от лесных

пожаров приводит к глобальным изменениям климата: повышению летних температур, длительным периодам засухи, перераспределению осадков. Подобные изменения климата, в свою очередь, могут привести к изменению пожарных режимов [3, 4]. Поэтому сейчас, как никогда, актуально изучение влияния пирогенного воздействия на компоненты экосистемы, в частности, на почву.

В экосистемах почвы занимают важное положение и отвечают за формирование растительного покрова и устойчивость экосистем, а также являются средой обитания для многих организмов. Как часть экосистемы почва также подвергается разностороннему влиянию пожаров. Пирогенный фактор не только нарушает химический состав почв, ухудшает водопроницаемость, влияет на реакцию среды, но и уничтожает часть микроорганизмов на определенное время [5, 6]. Негативное воздействие на биоту оказывает не только тепловой фактор, но и токсичные продукты горения [7-9]. Несомненно, пирогенное воздействие имеет комплексный характер, и снижение значений биологических параметров зависит сразу от нескольких факторов: температуры, продолжительности и интенсивности воздействия, а также от продуктов горения и влажности почв [10].

Влияние различной интенсивности пирогенного воздействия на физико-химические свойства почв изучали и другие исследователи [11-15]. Было выявлено, что кислотность почвы, как правило, снижается с увеличением интенсивности пирогенного воздействия. В почвах, пройденных сильными пожарами, увеличиваются значения реакции почвенной среды поверхностных горизонтов из-за нейтрализации органических кислот щелочноземельными элементами, содержащимися в золе. Установлена высокая степень зависимости ферментативной активности от длительности воздействия огня [9]. Биологические процессы на гаях при низкой интенсивности пожаров увеличиваются, а при высокой интенсивности снижаются [7]. При этом степень варьирования показателей зависит от вида и характеристик пожара, а также от наличия растительных остатков на поверхности почвы. Однако многие вопросы, связанные с оценкой влияния разных параметров пирогенного воздействия на биологические свойства почв, остаются открытыми.

Следует отметить, что модельные лабораторные опыты имеют целый ряд преимуществ по сравнению с полевыми исследованиями [16]. 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, как, например, длительности и интенсивности, что далеко не всегда представляется возможным при полевых исследованиях.

Целью работы является исследование влияния пирогенного воздействия на биологические свойства чернозема обыкновенного в модельных экспериментах, а также оценка способов восстановления биологической активности постпирогенных почв.

Объекты и методы исследований

Объект данного исследования – почва поверхностного слоя 0-20 см, отобранная на территории пахотного участка ботанического сада Южного федерального университета и диагностированная как чернозем обыкновенный карбонатный согласно традиционной классификации [17]. Эти почвы широко распространены на юге России и являются плодородными почвами для большинства полевых культур [18]. Черноземы обыкновенные приурочены к северной части степной зоны с семиаридным климатом. Они характеризуются нейтральной реакцией, высокой емкостью поглощения и полностью насыщенным основаниями поглощающим комплексом. Распределение по профилю илистой фракции, полуторных оксидов и кремнезема равномерное. Хорошо выраженная водопрочная структура обуславливает благоприятный водно-воздушный режим. Однако, несмотря на высокое плодородие этих почв, черноземы обыкновенные бедны подвижными формами фосфора [19].

Для изучения влияния интенсивности и длительности пирогенного воздействия на биологические свойства чернозема обыкновенного были проведены модельные исследования.

Первый модельный опыт представлял собой имитацию пожаров разной интенсивности. Об интенсивности пирогенного воздействия судили по массе растительного материала, используемого в качестве топлива для горения. Чем больше масса топлива, тем горение было более интенсивно. Для модельного опыта в металлические контейнеры объемом 430 мл равномерным слоем высотой в 1 см помещали влажную почву массой 150

г. Высота слоя почвы была выбрана не случайно: по результатам некоторых исследований [9, 20] было отмечено максимальное воздействие пирогенного фактора на верхний слой почвы 0-1 см, по сравнению со слоем 4-5 см. Затем на влажную почву укладывали топливо и поджигали при помощи газовой горелки. В качестве топлива были использованы сосновые шишки, ветки, хвоя, сосновая кора и деревянные бруски. В процессе опыта секундомером осуществляли учет времени сгорания топлива, время последующего тления не учитывали. По окончании эксперимента очищали почвенные образцы от золы, производили взвешивание на весах. Затем после высушивания и просеивания почвы через сито с диаметром отверстий 1 мм исследовали биологическую активность почвенных образцов. Некоторые параметры модельного опыта №1 представлена в таблице 1.

Таблица 1. Условия модельного опыта №1

Интенсивность пирогенного воздействия	Масса почвы (влажной), г	Масса топлива, г	Время горения, мин.	Масса золы, г
Сильная	150	500	55	34
Средняя	150	300	44	10
Слабая	150	200	25	10
Очень слабая	150	100	16	15

Второй модельный опыт проводился с целью изучить влияние длительности пирогенного воздействия на биологические свойства чернозема обыкновенного. Для этого в металлические контейнеры объемом 120 мл помещали 30 г сухой почвы слоем в 1 см, затем обжигали почву пламенем газовой горелки на протяжении 1, 3, 5, 7, 10 и 15 минут. Измеряли температуру поверхности почвы по истечении заданного времени при помощи пирометра. После полного остывания почвы исследовали ее биологическую активность. Параметры опыта №2 представлены в таблице 2.

Таблица 2. Условия модельного опыта №2

Длительность воздействия огня, мин.	Масса почвы (влажной), г	Температура на поверхности почвы, °C
1	30	423
3	30	470
5	30	470
7	30	500
10	30	543
15	30	550

Для восстановления биологической активности чернозема обыкновенного, подавленной после пожара высокой интенсивности в третьем модельном опыте, были испытаны минеральные удобрения, гуминовые вещества и методы фиторекультивации. В качестве комплексного азотно-фосфорно-калийного удобрения использовали удобрение азофоска, а в качестве биологически-активного вещества – гумат калия. Препараты вносили в почву с водой в количестве, превышающем рекомендованные нормы в два раза. Фиторекультивацию проводили вико-овсяной смесью. По схеме постановки модельного опыта №1 были получены почвенные образцы, подвергшиеся пирогенному воздействию сильной интенсивности. В первом варианте изучено влияние гумата калия на биологические свойства почв, во втором варианте – минерального удобрения и в третьем – фиторекультивации вико-овсяной смесью. Все три варианта экспонировали при оптимальной влажности и температуре 25-28 °С в течение 30 суток. В данном эксперименте контролем послужила почва после пожара сильной интенсивности, увлажненная водой без применения каких-либо вышеперечисленных способов восстановления.

Биологическая активность почв во многом связана с жизнедеятельностью почвенных микроорганизмов. Предполагалось, что внесение таких веществ, как гумат калия, азофоска и вико-овсяная смесь, приведет к увеличению численности микроорганизмов и, следовательно, к ускорению восстановления биологической активности постпирогенных почв.

Гуминовые вещества часто используются при восстановлении нефтезагрязненных почв [21], но в литературе встречаются данные о применении гуминовых препаратов в качестве мелиорантов для рекультивации деградированных постпирогенных почв [22]. Препарат «Азофоска» является комплексным минеральным удобрением, содержащим азот, фосфор и калий, которые, в свою очередь, иммобилизуются микроорганизмами. Но иммобилизация носит временный характер, так как после отмирания микроорганизмов элементы питания высвобождаются в минеральной форме и могут быть использованы растениями в естественной среде. Фиторекультивация – распространенный метод восстановления нарушенных земель с помощью посева травянистых растений. Одним из наиболее распространенных растений для проведения фиторекультивации является вика из семейства бобовых. Но стебли вики очень хрупкие, поэтому ее часто высаживают вместе с овсом.

При получении аналитических данных, используемых в настоящей работе, применяли разработанную методологию исследований [23] с использованием общепринятых в почвоведении и биологии методов [24]. Содержание органического углерода определяли методом И.В. Тюрина в модификации Б.А. Никитина по окисляемости хромовой смесью с фотоколориметрическим окончанием. Принцип метода основан на окислении органического вещества почвы хромовой кислотой до образования углекислоты. Реакцию почвенной среды (рН) определяли потенциометрическим методом в почвенной суспензии.

Количество легкорастворимых солей определяли кондуктометрическим методом. Определение активности каталазы почв произведено волуметрическим методом А.Ш. Галстяна, основанным на учете количества продукта реакции, то есть кислорода, в оптимальных условиях. Активность пероксидазы в образцах была установлена по методу Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловой [25], в качестве акцепторов кислорода использовали гидрохинон. Пероксидазы осуществляют окисление органических веществ почв за счет кислорода перекиси водорода и других органических перекисей, образующихся в почве в результате жизнедеятельности микроорганизмов. Статистическая обработка данных проведена с использованием корреляционного анализа для изучения тесноты и формы связи между биологическими показателями почв. Полученные результаты биологической активности почв модельных опытов сравнивали с контрольными образцами, которые принимали за 100%. Контрольными образцами послужили почвы, не подвергшиеся воздействию огня.

Результаты и обсуждение

При исследовании биологических показателей почвенных образцов модельного опыта №1 установлено, что реакции почвенной среды (рН) с разной интенсивностью практически не отличаются от контрольных значений. Реакция почвенной среды при любой интенсивности пирогенного воздействия осталась нейтральной, в пределах 7,1-7,3 единиц.

Содержание легкорастворимых солей в опытных почвах увеличено относительно контроля: в отношении очень слабой интенсивности – в 1,2 раза (1,38 мг/кг с учетом разбавления), слабой – в 3,5 раз (4,43 мг/кг с учетом разбавления), средней – в 5,4 раза (6,18 мг/кг с учетом разбавления), сильной – в 5 раз (5,9 мг/кг с учетом разбавления) (рис. 1).

Рис. 1. Содержание легкорастворимых солей в почвах модельного опыта №1 в процентах от контроля

Явление увеличения содержания легкорастворимых солей может быть связано с накоплением зольных элементов на поверхности почвы.

В ходе исследования было выявлено сильное ингибирование активности каталазы в почвах опытных образцов в сравнении с контролем: в случае очень слабой степени повреждения на 37%, слабой – на 74%, средней – на 69%, сильной – на 81% в сравнении с контрольными значениями (рис. 2).

Рис. 2. Активность каталазы в почвах модельного опыта №1, мл O₂/г/мин.

Активность пероксидазы также была ингибирована относительно контроля в результате действия пожара: в случае очень слабой степени воздействия на 25%, слабой –

на 14%, сильной – на 11%. В отношении же средней интенсивности пирогенного воздействия наблюдалось, наоборот, стимулирование данного показателя на 28% (рис. 3).

Рис. 3. Активность пероксидазы в почвах модельного опыта №1, мг бензохинона/г/30мин.

Снижение ферментативной активности связано напрямую с высокими температурами на поверхности почвы, при которых белковые структуры ферментов разрушаются. Что касается явления увеличения активности пероксидазы в варианте с воздействием средней интенсивности, то это могло произойти в результате использования золы в качестве дополнительного источника углерода. Подобное явление встречается и в литературных данных [26-28].

Содержание органического углерода в опытных образцах было увеличено в сравнении с контролем (Сорг 2,4%): в отношении очень слабой степени на 14%, слабой – на 2%, средней – на 50%, сильной – на 15% (рис. 4). Увеличение содержания органического углерода напрямую зависит от массы и объема сгоревшего растительного остатка на поверхности почвы. В виде золы пирогенный углерод попал в исследуемые почвенные образцы. В данном случае увеличение содержания углерода в пирогенных почвах не связано с процессом гумификации. Увеличение содержания органического углерода почв описано в литературе сразу после низовых пожаров [10, 29, 30].

Для почв модельного опыта №2 с различной длительностью воздействия высокими температурами было обнаружено, что с увеличением времени воздействия огня происходит увеличение значений реакции почвенной среды, вплоть до 7,7-7,8 единиц при 5, 7, 10 и 15

минутах воздействия огнем, что достоверно выше контрольных значений (рис. 5).

Рис. 4. Содержание органического углерода в почвах модельного опыта №1

Рис. 5. Реакция среды, активность каталазы, пероксидазы и содержание органического углерода в почвах модельного опыта №2

Активность каталазы уменьшена по сравнению с контрольными образцами в среднем на 41%, максимальное ингибирование данного фермента произошло при обработке почвы огнем в течение 7 минут (на 71% относительно контроля), при 3 и 5 минутах воздействия отмечено ингибирование фермента на 66%, при 10 минутах – на 55%, при 15 минутах – на 64%, а при 1 минуте – на 29% (рис. 5).

Уровень активности каталазы является эффективным эколого-биологическим диагностическим показателем при изучении различных видов антропогенного воздействия [9, 31]. Активность пероксидазы, наоборот, увеличилась, причем наибольшая активность данного фермента отмечена после 3 минут воздействия огнем и выше контрольных значений на 26%. После 1 минуты воздействия отмечено увеличение активности пероксидазы на 20% относительно контроля, 5 минут – на 16%, 7 минут – на 15%, 10 минут – на 13%, 15 минут – на 18% (рис. 5).

В почвах модельного опыта №2 за счет отсутствия поступления растительных остатков не произошло увеличения содержания органического углерода, как в почвах модельного опыта №1. В исследуемых почвах наблюдается снижение содержания органического углерода на 13, 40, 49, 51, 54 и 77 %, соответственно, для 1, 3, 5, 7, 10 и 15 минут относительно контрольного образца ввиду его термического разложения под воздействием огня (рис. 6). Данное явление подтверждено в других научных работах [32, 33].

Содержание органического углерода и продолжительность воздействия огня связаны тесной линейной зависимостью. Также зависимость обратно пропорциональная, отсюда следует, что чем дольше воздействие, тем меньше содержание углерода (рис. 6).

Рис. 6. Зависимость содержания органического углерода в почве от длительности пирогенного воздействия пламени горелки

В третьем модельном эксперименте при изучении различных способов восстановления биологической активности чернозема обыкновенного после имитации пожара высокой интенсивности было установлено достоверное увеличение значений реакции среды до 7,7-7,8 единиц для всех трех способов восстановления, что несколько выше контрольного значения. Содержание легкорастворимых солей в почвах после внесения гумата калия снизилось на 44% против контрольного значения, а после проведения фиторекультивации – на 57%. Однако после внесения азофоски содержание легкорастворимых солей, наоборот, увеличилось почти в 4 раза, что связано с высокой растворимостью этого удобрения.

Для всех трех способов восстановления обнаружено сильное ингибирование активности каталазы и пероксидазы. Максимальное ингибирование активности каталазы (в 2 раза по сравнению с контролем) отмечено в случае использования гумата калия. Наибольшее ингибирование активности пероксидазы произошло при использовании минерального удобрения: в 7 раз по сравнению с контролем. Ингибирование ферментативной активности при повышенном содержании в почвах легкорастворимых солей было отмечено ранее [34, 35]. Содержание органического углерода после окончания опыта было увеличено на 8% для гумата калия, на 20% для удобрения и 25% в ходе фиторекультивации против контрольного значения.

Для определения взаимосвязи между исследованными показателями был проведен корреляционный анализ. Обнаружена сильная положительная корреляция содержания органического углерода с активностью пероксидазы и реакцией почвенной среды ($r=0,90-0,92$) для почв модельного опыта №1 с разной интенсивностью пирогенного воздействия. Для почв модельного опыта №2 с разной длительностью пирогенного воздействия также обнаружена средняя положительная корреляция содержания органического углерода с активностью каталазы и пероксидазы ($r=0,69-0,35$). Однако была отмечена сильная отрицательная связь между содержанием углерода и реакцией среды для почв модельного опыта №2.

Выводы

В ходе проведения модельных экспериментов для оценки пирогенного воздействия различной интенсивности и длительности было обнаружено значительное изменение

биологических свойств почв. Отмечаются различия в реакции биологических показателей почв для двух опытов по причине использования в модельном опыте №1 растительного топлива, которое в виде золы попало в исследуемые образцы и оказало влияние на исследуемые параметры. В этом опыте обнаружено увеличение содержания легкорастворимых солей, органического углерода и ингибирование активности пероксидазы. После воздействия пламени газовой горелки в другом опыте, наоборот, выявлено уменьшение содержания органического углерода и стимулирование активности пероксидазы. В обоих экспериментах отмечено достоверное ингибирование активности каталазы.

Ни один из способов восстановления биологической активности постпирогенных почв не оказался однозначно эффективным. Отмечено еще большее ингибирование активности ферментов на фоне увеличения содержания органического углерода относительно контрольных значений, а также подщелачивание почвенной среды. Для восстановления биологической активности почв необходимо изучить влияние других концентраций препаратов, использованных в данной работе, а также изучить эффективность применения других способов мелиорации.

Исследования выполнены при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-2511.2020.11).

Список использованных источников

1. Просеков А.Ю., Домрачева А.И. Характеристика уровня залесенности и охотничьих ресурсов в Кемеровской области [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №4. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/1/st_116.pdf.
2. Санникова Н.В. Особенности восстановления растительного покрова после низовых пожаров в березовых лесах [Электронный ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. - 2018. - №4. - Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2018/4/st_403.doc.
3. Зырянов В.С. Оценка воздействия на атмосферу продуктов горения лесных материалов в зонах техногенного загрязнения (на примере Иркутской области): автореф. дис. канд. техн. наук. – Братск. – 2006. – 21 с.
4. Куценогий К.П., Валендик Э.Н., Буфетов Н.С. Эмиссии лесного пожара в

Центральной Сибири [Электронный ресурс] // Интерэкспо Гео-Сибирь. - 2012. - №3. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/dymovaya-aerolnaya-emissiya-pri-lesnyh-pozharah-v-tsentralnoy-sibiri>

5. Barcenos-Moreno G., Baath E. Bacterial and fungal growth in soil heated at different temperatures to simulate a range of fire intensities// Soil Biol. Biochem. - 2009. - V.41. - P. 2517-2526.

6. Dunn P.H., Barro S.C., Poth M. Soil moisture affects survival of microorganisms in heated chaparral soil // Soil Biol. Biochem. – 1985. - V.17. - P. 143-148.

7. Вальков В.Ф., Казадаев А.А., Креница А.М., Супрун В.А., Суханова В.М., Тациев С.С. Влияние сжигания стерни на биоту чернозема // Почвоведение. - 1996. - №12. - С. 1517–1522.

8. Кулешова Л.В., Коротков В.Н., Потапова Н.А., Евстигнеев О.И., Козенко А.Б., Русанова О.М. Комплексный анализ послепожарных сукцессий в лесах Костомукшского заповедника (Карелия) // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отдел биологический. - 1996. - Т.100. - № 4. - С. 3–15.

9. 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.

10. Kazeev K.Sh., Poltoratskaya T.A., Yakimova A.S., Odabashyan 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. - V.4 (Suppl.1). - P. 93–104.

11. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Направленность изменения лесных почв Приамурья под воздействием пирогенного фактора // Вестник Московского университета. - 2009. - №3. - С. 66–74.

12. Семененко С.Я., Морозова Н.В., Марченко С.С. Исследования влияния пирогенного воздействия на ферментативную активность каштановых и черноземных почв // Аридные экосистемы. - 2020. - Т.26. - №4. - С. 144–149.

13. Сорокин Н.Д. Влияние лесных пожаров на биологическую активность почв // Лесоведение. - 1983. - №4. - С. 24–28.

14. 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.

15. Arturo J.P. Granged, Jordán A., Zavala L.M., Muñoz-Rojas M., Mataix-Solera J. Short-term effects of experimental fire for a soil under eucalyptus forest (SE Australia) // Geoderma. – 2011. - V.167-168. - P. 125-134.

16. 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.

-
17. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 225 с.
 18. Вальков В.Ф., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Почвы Юга России. – Ростов-на-Дону: Изд-во «Эверест», 2008. – 276 с.
 19. Национальный атлас почв РФ. – М.: Астрель: АСТ, 2011. – 632 с.
 20. 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.
 21. 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.
 22. Максимова Е.Ю. Оценка применения гуминовых препаратов в качестве мелиорантов для рекультивации деградированных постпирогенных почв // Агрохимический вестник. – 2018. – №1. – С. 46-51.
 23. Даденко Е.В., Казеев К.Ш., Колесников С.И. Методы определения ферментативной активности почв. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2021. – 112 с.
 24. 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.
 25. Карягина Л.А., Михайлова Н.А. Определение активности полифенолоксидазы и пероксидазы // Вест. АН БССР. Сер. сельскохозяйств. Наук. – 1986. – №2. – С. 40–41.
 26. Краснощеков Ю.Н. Влияние пожаров на свойства горных дерново-таежных почв лиственничников Монголии // Почвоведение. – 1994. – №9. – С. 102–109.
 27. Ефремова Т.Т., Овчинникова Т.М. Оценка методами многомерной статистики состояния органического вещества осушенных торфяных почв в связи с условиями среды // Почвоведение. – 2007. – №12. – С. 1452–1462.
 28. Jimenez-Gonzalez Marco A, De la Rosa Jose Maria, Jimenez-Morillo Nicasio T. Post-fire recovery of soil organic matter in a Cambisol from typical Mediterranean forest in Southwestern Spain // Science of the total environment. – 2016. – V.572. – P. 1414-1421.
 29. Федоров П.В., Тарасов П.А. О пирогенном влиянии на физико-химические характеристики почвы // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки. – Красноярск. – 2013. – Т.1. – С. 3–5.
 30. Jose A. Gonzalez-Perez, Francisco J. Gonzalez-Vila, Gonzalo Almendros, Heike Knicker. The effect of fire on soil organic matter – a review // Environmental International. – 2004. – V.30. – P. 855-870.
 31. 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.

32. 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.

33. Максимова Е.Ю., Абакумов Е.В. Воздействие лесных пожаров на почвенный покров на примере постпирогенных территорий Самарской области [Электронный ресурс] // Известия Самарского научного центра РАН. – 2013. – №3-7. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vozdeystvie-lesnyh-pozharov-na-pochvennyy-pokrov-na-primere-postpirogennyh-territoriy-samarskoy-oblasti>

34. Казеев К.Ш., Стрелкова В.И., Тищенко С.А. Влияние переувлажнения на биоту и свойства почв Юга России. – Ростов н/Д: Ростиздат, 2006. - 143 с.

35. Кузнецова Ю.С., Казеев К.Ш. Влияние засоления на биологические свойства гидроморфных почв ильменей Астраханской области // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. - 2010. - №1. - С. 90-93.

Цитирование:

Вилкова В.В., Казеев К.Ш., Шхапацев А.К., Нижельский М.С., Колесников С.И. Влияние пирогенного воздействия на биологическую активность чернозема обыкновенного в модельных экспериментах [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №5. – Режим доступа: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/5/st_520.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20215520>.