

УДК 577.15:504.53:502.4

DOI: 10.36305/0513-1634-2021-138-71-77

ФЕРМЕНТАТИВНАЯ АКТИВНОСТЬ ПОСТПИРОГЕННЫХ ПОЧВ ЗАПОВЕДНИКА «УТРИШ»

**Валерия Валерьевна Вилкова, Камиль Шагидуллович Казеев, Виктория
Владимировна Шабунина, Сергей Ильич Колесников**

Южный федеральный университет, Академия биологии и биотехнологии им
Д.И. Ивановского
344090, Россия, г. Ростов-на-Дону, Стачки 194/1,
E-mail: lera.vilkova.00@mail.ru

Проведено исследование ферментативной активности почв двух участков Абраусского полуострова в приморской части заповедника «Утриш». Участки различаются периодом послепожарного восстановления. Показано долговременное значительное влияние пожаров на ферментативную активность (каталаза, инвертаза, пероксидаза, уреазы) коричневых субтропических почв. Активность различных ферментов коричневых почв снижена по сравнению с почвами контрольных участков. Степень инактивации ферментов зависит от вида фермента и времени постпирогенного восстановления экосистем.

Ключевые слова: почвенные ферменты; пирогенное воздействие; пожары; коричневые почвы

Введение

В настоящее время одним из наиболее опасных и распространенных антропогенных факторов, нарушающих природные экосистемы, являются пожары. На территории России чаще всего пожарам подвергаются фисташково-дубово-можжевельниковые леса, а также другие насаждения. Запасы большого количества сухого материала, высокая степень воспламенения самих растений за счет выделения легко возгораемых веществ (смолы, эфирные масла) обеспечивают высокую степень пожароопасности. Пирогенный фактор оказывает влияние на все компоненты экосистемы, в частности, на почву и является актуальной темой исследования для ученых во всем мире. Но нет единого мнения о воздействии пожаров. В литературных данных можно встретить как положительные, так и отрицательные последствия пирогенного воздействия [3, 6, 11, 13, 15]. Регулярно повторяющиеся лесные пожары нарушают естественное равновесие наземных экосистем, влияют на изменение типа растительности, динамику растительных ассоциаций, а также на состояние почвенного покрова. Пожар не только нарушает химический состав почв, ухудшает водопроницаемость, влияет на pH, но и уничтожает часть микроорганизмов на определенное время [12, 16]. Уменьшение доли травянистой растительности в напочвенном покрове, господство мхов, лишайников и кустарничков характерно для лесных территорий, многократно подвергавшихся пирогенному воздействию [11]. Тепловой фактор и токсичные продукты сгорания оказывают негативное воздействие на биоту. Выявлено, что пожары негативно влияют на структуру, ферментативную активность и микробную биомассу почв [3, 6, 13, 15].

Пирогенное воздействие имеет комплексный характер, и снижение значений биологических параметров зависит от нескольких факторов: температуры, продолжительности, интенсивности воздействия, дыма и золы продуктов горения,

влажности почв [3]. Максимальное воздействие отмечено для верхнего слоя почвы 0-1 см, по сравнению со слоем 4-5 см [13]. Выявлена высокая степень зависимости ферментативной активности от длительности воздействия огня. Биологические процессы на горячих при низкой интенсивности пожаров увеличиваются, а при высокой интенсивности снижаются [6]. Степень снижения показателей зависит от вида и характеристик пожара, наличия растительных органических остатков на поверхности почвы.

Для диагностики деградации почвы в результате лесных пожаров можно использовать показатели уровня ферментативной активности почвы. Определение активности внеклеточных ферментов позволяет судить об интенсивности и направленности биохимических процессов, протекающих в почве, дает возможность составить представление о качестве и здоровье почв при антропогенной трансформации [1, 4, 5].

Постпирогенные экосистемы и почвы изучены недостаточно, особенно на территории южной части России. К тому же большинство почв юга страны лишены целинных эталонов сравнения, что сильно затрудняет проведение исследований почвенного покрова и его мониторинга. Особенно это касается ксерофитных лесных почв Крыма и Кавказа. По этой причине почвы заповедника «Утриш» представляет собой объект охраны и вызывает большой интерес для организации биологической диагностики восточно-средиземноморских ландшафтов.

Целью работы является определение влияния лесных пожаров на активность ферментов почв Абраусского полуострова. Для выполнения исследований были проведены экспедиционные исследования биоты, почв заповедника «Утриш» и определение активности почвенных ферментов (каталаза, инвертаза, пероксидаза, уреазы).

Объекты и методы исследования

Полуостров Абрау представляет собой низкогорный массив, ограниченный с северо-запада и севера долиной реки Маскага-Анапка, а с востока и юго-востока – Цемесской бухтой и долиной реки Цемес. Здесь преобладает сухой средиземноморский климат. Однако в различных точках полуострова отмечено изменение климатических характеристик, что связано с особенностями рельефа. Государственный природный заповедник «Утриш» расположен в границах муниципального образования города Новороссийск и города-курорта Анапа на северо-восточном побережье Черного моря. Заповедник был учрежден в 2010 г. с целью сохранения и изучения одного из самых уникальных природных комплексов сухих субтропиков на территории России.

Ранее проведенные исследования показали, что на территории полуострова Абрау, а также на территории заповедника «Утриш» распространены коричневые почвы [9]. Отличительными 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. При этом большинство почв 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 [14].

В 2019 г. были реализованы полевые исследования на 2 участках заповедника (рис. 1). Первый участок – мониторинговая площадка в окрестностях пос. Малый Утриш. Пожар произошел в 2018 г. Рельеф – приморская терраса, склон крутизной 20-25° З, высота над уровнем моря 17-32 м. Участок находится на территории смешанного

леса, где произрастает сосна пицундская, граб, дуб, фисташка, а также иглица и держидерево. Здесь были заложены 4 почвенных разреза и 7 прикопок. Почва была диагностирована как коричневая карбонатная каменистая неполноразвитая на элювии песчаников. Мелкозем сильно вскипает от 10% раствора соляной кислоты, порода слабо вскипает на сколе.

Второй участок представляет собой мониторинговую площадку пожара 2009 г. Высота исследуемого участка в районе Водопадной щели составляет 105-117 м над уровнем моря. Рельеф – начало трети юго-восточного склона от хребта Навагир, в 5 м от верхней границы гари. Крутизна склона – 20-25° ЮВ. Спустя годы появилась густая травянисто-злаковая растительность, древесно-кустарниковый подрост высотой до 3 м, самшит. Для исследования данной территории были заложены 3 почвенных разреза и 9 прикопок. Почва – коричневая каменистая на элювии песчаников. Вскипание мелкозема от 10% раствора соляной кислоты фрагментарное, порода не вскипает. Контрольным участком послужила фоновая территория можжевельного редколесья.

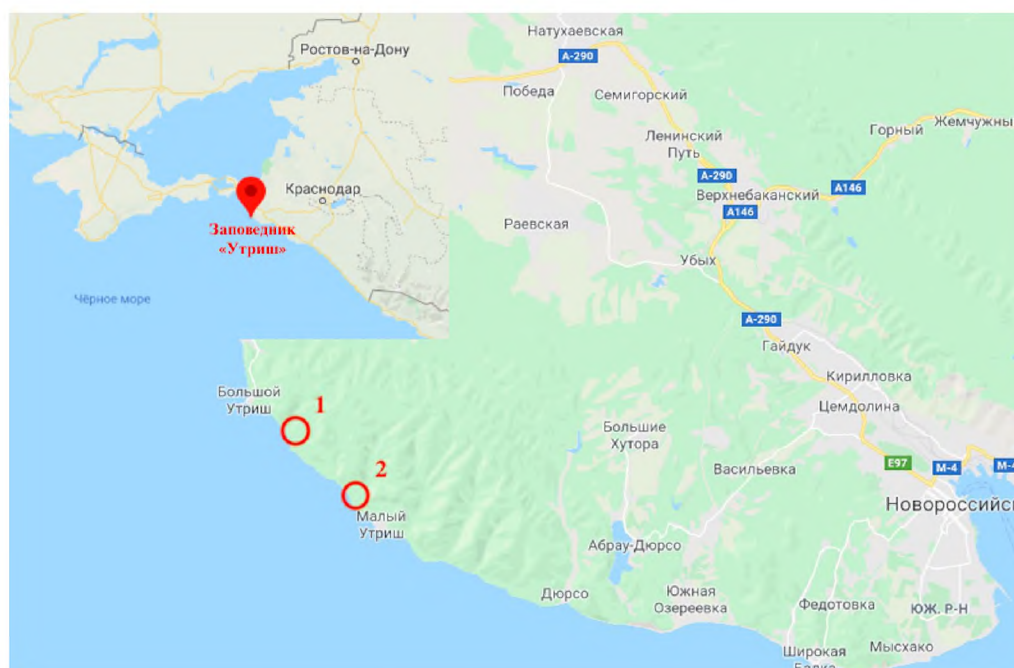


Рис. 1 Местоположение исследуемых участков. Обозначения: 1) Участок № 1; 2) Участок №2

В лабораториях кафедры экологии и природопользования Южного федерального университета были выполнены аналитические исследования с использованием распространенных в биологии и почвоведении методов [8]. Определение ферментативной активности каталазы почв произведено по методу А.Ш. Галстяна и основано на учете количества, переработанного в процессе реакции субстрата или образования продукта реакции в оптимальных условиях температуры, рН среды, концентрации субстрата и навески почвы. Активность пероксидазы в образцах была установлена по методу Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловой [10]. В качестве акцепторов кислорода использовали гидрохинон. Активность уреазы определяли по количеству образующегося при гидролизе мочевины аммиака по методике А.Ш. Галстяна. Активность инвертазы, одного из наиболее устойчивых показателей, обнаруживающий наиболее четкие коррелятивные связи с воздействующим фактором, определяли модифицированным колориметрическим методом с реактивом Феллинга. Активность почвенных ферментов изучали при

естественной pH почвы, как предложено для целей биодиагностики [2, 7, 8]. Субстраты без почвы являлись контрольными образцами для определения активности каждого из ферментов. Статистическая обработка данных выполнена с использованием корреляционного анализа для изучения тесноты и формы связи между показателями эколого-биологического состояния почв.

Результаты и обсуждение

В образцах постпирогенных почв заповедника «Утриш» отмечено отклонение в значениях активности исследуемых ферментов в сравнении с контрольными образцами почв этих участков.

Участок № 2 в окрестностях пос. Малый Утриш пострадал от пожара недавно, за год до проведения исследований. Поэтому показатели ферментативной активности почв данной территории отличаются сильнее по сравнению с постпирогенными почвами второго участка (рис. 2).

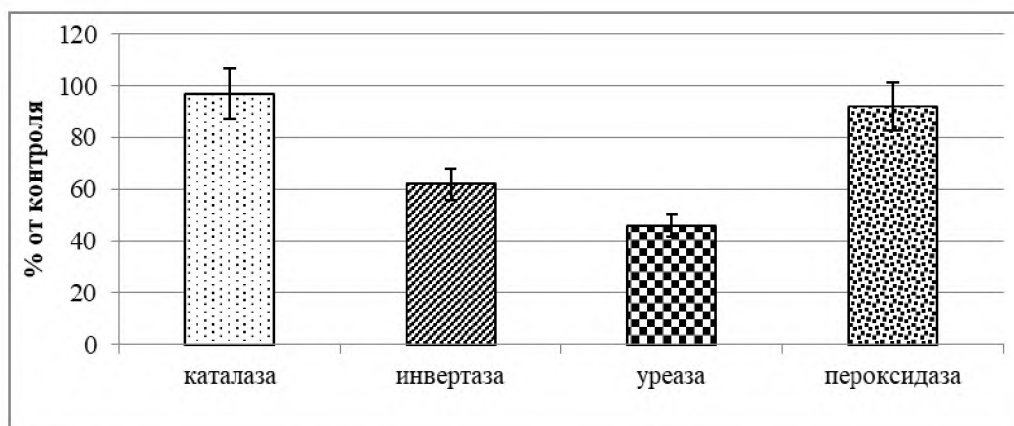


Рис. 2 Ферментативная активность постпирогенных почв на старом пожарище заповедника «Утриш», участок № 1

На исследуемом участке установлено ингибирующее воздействие пожара на ферменты класса оксидоредуктаз и стимулирующее воздействие на активность ферментов класса гидролаз. Активность инвертазы и уреазы выше на 36-37% по сравнению с контрольным участком. Это свидетельствует о происходящем активном перераспределении доступных форм углерода и азота, а также об изменении соотношения этих ферментов относительно друг друга. Активность пероксидазы и каталазы относительно контрольного участка снижена на 13% и 44% соответственно. Снижение ферментативной активности напрямую связано с пирогенным воздействием: увеличением температуры на поверхности почвы, при котором белковые структуры ферментов разрушаются, сгоранием подстилки и гумуса. Помимо этого, на биологическую активность почв также влияют косвенные последствия пожара: уменьшение просачивания воды при повышении гидрофобности почв, повышенные температуры на оголенной поверхности, изменение растительного покрова и другие.

Ферментативная активность почв участка № 2, где пожар произошел в 2009 г., полностью противоположна участку с недавним пожаром. Здесь наблюдали существенные отличия инвертазы и уреазы, значения активности которых были снижены относительно контроля на 42% и 54% соответственно (рис. 3).

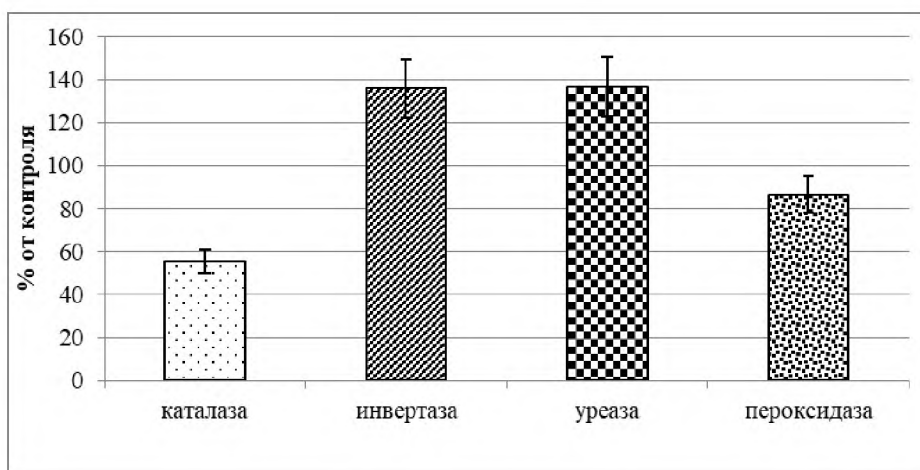


Рис. 3 Ферментативная активность постпирогенных почв в окрестностях пос. Малый Утриш, участок № 2

Активность пероксидазы и каталазы снижена незначительно по сравнению с контролем. С течением времени биологическая активность почвы восстановилась, поэтому активность некоторых ферментов практически неотличима от контрольных образцов. Установлено, что ферменты из класса оксидоредуктаз восстановились быстрее, чем ферменты из класса гидролаз.

По сравнению с контрольными образцами содержание общего органического углерода двух участков пожарищ снижено на 47% для первого и на 24% для второго. Содержание органического вещества в почве второго участка, с большим периодом постпирогенного восстановления, меньше отличается от контрольного участка. Приближение содержания органического углерода к контрольным значениям через 10 лет после пожара связано с трендом повышения биологической активности почв при восстановительной сукцессии.

Результаты проведенных исследований согласуются с литературными данными о существенном изменении экологического состояния почв при пирогенном воздействии и длительности их восстановления, в том числе на юге России [3, 13, 15].

Высокая положительная корреляционная связь отмечается для почв первого участка между активностью ферментов класса оксидоредуктаз (каталаза, пероксидаза) и содержанием гумуса ($r = 0,77-0,81$). Для второго участка отмечена высокая положительная связь между активностью инвертазы, уреазы и содержанием гумуса ($r = 0,86-0,84$) и слабая связь между активностью каталазы, пероксидазы и содержанием гумуса ($r = 0,45-0,14$). На участке с недавним пожаром отмечена средняя и сильная отрицательная корреляционная связь соответственно между активностью ферментов класса гидролаз (инвертаза, уреаза) и содержанием гумуса ($r = -0,64 - -0,97$). В почвах длительного постпирогенного восстановления первого участка такой связи не обнаружено.

Заключение

Выявлено значительное влияние пирогенного воздействия на лесные экосистемы и эколого-биологические свойства почв заповедника «Утриш». Степень изменения зависит от продолжительности периода после воздействия. Участки Абраусского полуострова, пострадавшие в результате пожара десятилетней и однолетней давности, восстанавливаются в ходе постпирогенных сукцессий. Но даже спустя 10 лет постпирогенные коричневые почвы отличаются от фоновых почв

заповедника по биологическим параметрам. Активность почвенных ферментов почв исследуемых участков имеет различия. Большие различия наблюдаются для участка, на котором пожар произошел недавно. В целом активность ферментов из класса оксидоредуктаз (каталаза, пероксидаза) в постпирогенных почвах снижена, а поведение активности гидролаз (инвертаза, уреазы) отличается в почвах с разным сроком после пожара.

Исследование выполнено при государственной поддержке ведущей научной школы Российской Федерации (НШ-2511.2020.11)

Список литературы

1. Вальков В.Ф., Казадаев А.А., Креница А.М., Супрун В.А., Суханова В.М., Тащев С.С. Влияние сжигания стерни на биоту чернозема // Почвоведение. – 1996. – № 12. – С. 1517-1522.
2. Галстян А.Ш. Унификация методов исследования активности ферментов почв // Почвоведение. – 1978. – № 2. – С. 107-114.
3. 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.
4. Казеев К.Ш., Черникова М.П., Колесников С.И., Быхалова О.Н. Почвенный покров заповедника «Утриш». Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2015.
5. Карягина Л.А., Михайлова Н.А. Определение активности полифенолоксидазы и пероксидазы // Вест. АН БССР. Сер. сельскохозяйств. наук. – 1986. – № 2. – С. 40-41.
6. 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.
7. Магзанова Д.К., Хияшева Р.Г. Исследование влияния полевых пожаров на состояние микробиоценозов почв // Успехи современного естествознания. – 2013. – № 4. – С. 160-161.
8. 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.
9. 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.
10. Полторацкая Т.А., Якимова А.С., Одабашян М.Ю., Трушков А.В., Казеев К.Ш. Сравнительное исследование содержания органического углерода в постпирогенных почвах юга России / Экология и биология почв. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2017. – С. 124-127.
11. Сорокин Н.Д. Влияние лесных пожаров на биологическую активность почв // Лесоведение. – 1983. – № 4. – С. 24-28.
12. 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. – Vol. 58. – P. 216-234.

13. *German D.P., Weintraub M.N., Grandy A.S., Lauber C.L., Rinkes Z.L., Allison S.D.* Optimization of hydrolytic and oxidative enzyme methods for ecosystem studies // *Soil Biology and Biochemistry*. – 2011. – Vol. 43. – P. 1387-1397.
14. *Kazeev K.Sh., Poltoratskaya T.A., Yakimova A.S., Odobashyan M.Yu., Shkhapatsev 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*. 2019. – № 4(1). – P. 93-104.
15. *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. – Vol. 126. – P. 140-147.
16. *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. – Vol. 11. – P. 1252-1264.

Статья поступила в редакцию 17.09.2020 г.

Vilkova V.V., Kazeev K.S., Shabunina V.V., Kolesnikov S.I. Enzymatic activity of post-pyrogenic soils of the Utrish reserve // *Bull. Of the State Nikita Botan. Gard.* – 2021. – № 138. – P. 71-77

Southern Federal University, Academy of Biology and Biotechnology, Rostov-on-Don, Russia. A study of the enzyme activity of soils in two sites of the Abraus Peninsula in the coastal part of the Utrish reserve was conducted. Sites differ in the period of post-fire recovery. The long-term significant influence of fires on the enzyme activity (catalase, invertase, peroxidase, urease) of brown subtropical soils (Chromic Cambisols) is shown. The activity of various enzymes of soils is reduced compared to the soils of the control sites. The degree of inactivation of enzymes depends on the type of enzyme and the time of post-pyrogenic recovery of ecosystems.

Key words: soil enzymes; pyrogenic effect; wildfire; chromic cambisols