

В. А. Дырин

АКТИВНОСТЬ ПЕРОКСИДАЗЫ И ПОЛИФЕНОЛОКСИДАЗЫ В ТОРФЕ ЦЕЛИННОГО И РЕКУЛЬТИВИРУЕМОГО УЧАСТКОВ БОЛОТНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НИЗИННОГО ТИПА

В целинной торфяной залежи (3 м) и в остаточном (1 м) торфе низинного типа под многолетними злаковыми травами в микрополевым опыте определялись активность полифенолоксидазы и активность пероксидазы. В целине деятельность энзимов обнаруживалась по всей исследуемой толще (0–100 см), в остаточном торфе – до глубины 60 см – в начале наблюдений (1993 г.) и по всему профилю – в последующие сроки (2002 и 2008 гг.). При этом соотношение «активность полифенолоксидазы : активность пероксидазы» было приблизительно равным 1, что может указывать на относительное равновесие процессов синтеза и распада гумусовых веществ как в целинном, так и в рекультивируемом торфах исследуемой экосистемы.

Ключевые слова: торфяно-болотная экосистема, целинный торф, остаточный торф, микрофлора, ферменты, пероксидаза, полифенолоксидаза.

Введение

Необходимость контроля за состоянием торфяно-болотных экосистем (торфяно-болотных биогеоценозов, или торфяных болот, или торфяников, или торфяных месторождений) очевидна как практикам сельского хозяйства, так и ученым различных специальностей, занимающимся исследованием природных комплексов. С одной стороны, такое внимание обусловлено биосферной ролью болотных биогеоценозов, с другой – их антропогенной уязвимостью, особенно связанной с осушением и последующим использованием под сельскохозяйственные угодья. Из работ почвоведов, микробиологов, посвященных изучению проблем природопользования торфяников, следует, что в ряде случаев осушение и агротехнические мероприятия, необходимые для земледелия на торфяной почве, чрезмерно активизируют ее микрофлору, в том числе специализирующуюся на ассимиляции гумусовых веществ. Это приводит к возникновению дисбаланса между синтезом органического вещества торфа и его деструкцией, а в конечном итоге – к исчезновению торфяного слоя. Перед исследователями стоит задача: определить пути, позволяющие оптимизировать минерализационные процессы в торфе: с одной стороны, активизировать их, с другой – не дать этим процессам зайти слишком далеко – до полного разрушения органического вещества [1, 2].

Сведения о длительном сельскохозяйственном использовании торфяников и его последствиях в Томской области отсутствуют.

Ниже представлены результаты исследований (1993, 2002 и 2008 гг.) активности пероксидазы (ПО) и полифенолоксидазы (ПФО) в торфе целинного и рекультивируемого участков болотной экосистемы (БЭС) эутрофного типа (в условиях микрополевого опыта). Данные энзимы, как известно, участвуют в многоступенчатых процессах разложения и синтеза органических соединений арома-

тического ряда, влияя, таким образом, на образование в почве гумуса [3, с. 59–62, 166, 196, 204; 4, с. 16, 52–89, 134–148; 5, с. 3–5; 6, с. 47–82; 7; 8]. Принято считать, что полифенолоксидазы катализируют синтез гумусовых веществ, а пероксидазы катализируют их минерализацию. Процессы синтеза и распада гумусовых веществ происходят одновременно, в связи с чем темпы накопления гумуса определяются соотношением активности данных ферментов. А. И. Чундеровой [6] впервые, применительно к дерново-подзолистым почвам, интенсивность гумусообразования была охарактеризована через так называемый коэффициент гумусообразования – отношение активности полифенолоксидазы к активности пероксидазы, выраженное в процентах. В настоящее время коэффициент гумусообразования (гумификации) используют при характеристике разных типов почв, в том числе торфяно-болотных [9, с. 78, 137; 10–12]. Ферменты, участвующие в процессах гумусообразования, выделяются многими группами микроорганизмов (бактериями, актиномицетами, грибами), и активность указанных энзимов связана с общей биогенностью почвы [4; 6, с. 47–82]. В связи с этим ферментативная активность может рассматриваться в качестве одного из показателей активности микрофлоры и, соответственно, интенсивности вызываемых ею процессов трансформации органического вещества почвы.

Цель исследований – определить интенсивность минерализационных процессов в торфяной почве, длительно использовавшейся для возделывания многолетних злаковых трав. Полученные результаты вместе с другими данными изучения биологической активности указанной торфяно-болотной экосистемы позволят прогнозировать последствия освоения аналогичных экосистем Томской области.

Материалы и методы

Исследования проводились на рекультивируемом и целинном (неосушенном) участках низин-

ной БЭС «Таган», расположенной в 11 км к юго-западу от г. Томска, в 1,5 км на юго-запад от с. Тахтамышево (в долине р. Черной – левобережного притока р. Томи). Координаты экосистемы: 56°21' с.ш., 84°47' в.д. Площадь торфяного месторождения равна 4 068 га. Самая возвышенная часть – юго-западная – имеет максимальную отметку, равную 127,5 м. Наименьшая отметка поверхности составляет 87,2 м и находится в юго-восточной части месторождения [9, с. 66]. Подстилающая порода БЭС – заиленные пески. Торф по ботаническому составу – преимущественно древесно-осоковый; степень разложения торфа целины равен 30–40 %, рекультивируемого участка – 40–60 %. Научные наблюдения на «Тагане» ведутся с 60-х годов XX в. Разносторонние характеристики экосистемы, в том числе агрохимические и биологические, содержатся в многочисленных публикациях [9, с. 66–96, 98–118; 10, с. 6, 18, 23, 37; 13, с. 18–24, 42–47, 52, 58–61; 14; 15; 16 и др.].

Рекультивируемый участок расположен на месте бывшего карьера по добыче торфа. При заготовках торф снят на глубину 2–3 м, в результате средняя толщина остаточного торфа составила 1 м (местами – 0,5 м). С целью изучения возможности земледелия на выработанных торфяниках Томской области здесь, в 1985 г., на площади 66 кв. м, был заложен опыт по влиянию разных доз минеральных удобрений (NPK) и микроудобрений (Cu, Zn, B) на урожай многолетних злаковых трав. NPK брались по 60, 90 и 120 кг/га д. в.; Cu, Zn – по 30 кг/га, B – 10 кг/га д. в. В опыте использовалась травосмесь в составе (кг из расчета на 1 га): Костер безостый – *Bromus inermis* Leyss. (15 кг/га), Овсяница луговая – *Festuca pratensis* Huds. (10 кг/га), Тимофеевка луговая – *Phleum pratense* L. (8 кг/га). Норма высева смеси – 33 кг/га. Посев выполнялся беспокровно [9, с. 93, 118].

На участке, в условиях поддерживаемого опыта, проводились разнообразные исследования, в том числе исследования биологической активности торфа под травами. С 1991 г. участок стал использоваться как сенокос и пастбище. Изучение биологической активности торфа (ее разных параметров) продолжалось в условиях самовозобновления злаков (без их подсева и подкормки).

В 1993 г., в конце 2-й декады мая, в пределах прежнего опыта – на месте варианта «Травы без удобрений», был заложен микрополевого опыт: проведен подсев многолетних злаков на площади 15 кв. м, из них на 7,5 кв. м – с внесением удобрений (смеси NPK). Варианты опыта: 1) травы без удобрений (контроль); 2) травы + N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀. Использовалась травосмесь указанного выше состава, но в половинной дозе (16,5 кг/га). Подсев и внесение удобрений проводились одновременно, по-

верхностно, разбрасыванием. После этого делянки прикапывались деревянным катком. Последующие подсевы трав и внесение удобрений выполнены в 1996, 1998, 2000, 2002, 2004, 2006, 2008 гг. Травы подсевались 1 раз в год (в конце 2-й декады мая), удобрения вносились дважды в год: в конце 2-й декады мая и в конце 2-й декады июля (после укоса трав). Азотные удобрения применялись в виде аммиачной селитры, фосфорные – в виде простого суперфосфата, калийные – в виде хлористого калия. Цель опыта: по разным показателям биологической активности оценить интенсивность минерализационных процессов в остаточном слое выработанного торфяника, длительно используемого для возделывания многолетних злаковых трав. Одновременно проводились исследования на целинном участке (на неосушенной торфяной залежи, занятой сосново-березовым лесом). Средняя толщина залежи равна 3 м.

Для определения активности ферментов брались пробы торфа в указанные выше сроки (1993, 2002, 2008 гг.): в июне, июле, августе и сентябре (в 15–20 числах каждого месяца) на глубине 0–100 см. Образцы отбирались по слоям, в трех повторностях, из двух разрезов, сделанных соответственно вариантам опыта, посередине делянок. При взятии проб измерялась температура торфа по слоям – с помощью лабораторных ртутных термометров. Аналогичными способами отбирались пробы и измерялась температура торфа в целинной залежи. После взятия образцов стратиграфическая целостность делянок и залежи на месте разрезов восстанавливались. Параллельно измерялся уровень стояния болотных вод (УБВ); для этого использовались реперы, заложенные в колодцах, с привязкой к средней поверхности торфяника. Положение уровня вод определялось как разность отметок репера и зеркала болотных вод.

Активность пероксидазы и полифенолоксидазы определялась по методике, рекомендованной К. А. Козловым [5, с. 28, 29]. Она основана на учете количества хинонов – продуктов окисления полифенолов (используемых в качестве субстратов данных ферментов) после их взаимодействия с почвенной суспензией – йодометрическим титрованием. В качестве субстрата пероксидазы и полифенолоксидазы использовался пирокатехин (0,02M раствор). Титрование проводилось 0,01N раствором йода. Контролем служили прокипяченные почвенные (торфяные) вытяжки. При определении пероксидазной активности в почвенную суспензию (в фильтрат), кроме пирокатехина, добавлялся 0,4 % раствор перекиси водорода. Об активности ферментов судили по количеству мл йода, пошедших на титрование фильтрата.

Анализы выполнялись в 3-кратной повторности ($n = 3$); полученный цифровой материал обработан статистически [17]. Принятые обозначения: M – среднее по трем повторностям анализа, $\pm \mu$ – отклонение от среднего. Оценка достоверности результатов проводилась на уровне 0,05 ($t_{0,95}$) [17].

Результаты и обсуждение

Активность обеих оксидоредуктаз (таблица) характеризовалась сопоставимыми, часто почти одинаковыми, значениями во все сроки наблюдений и по всем вариантам – соотношение «ПФО : ПО» приблизительно соответствовало 1. В 2008 г. в торфе рекультивируемого участка разница между значениями активности полифенолоксидазы и активности пероксидазы стала выглядеть еще менее заметной, что наблюдалось по всему профилю остаточного торфа. Так, в 1993 г., в июле, в слое торфа 0–20 см соотношение «активность ПФО : активность ПО» составляло по вариантам: «Целина» – 4,2 : 4,5; «Травы без удобрений» – 3,0 : 3,8; «Травы + НРК» – 4,0 : 4,7. В 2002 г., соответственно, данное соотношение по вариантам составило: 3,8 : 4,0; 4,1 : 4,2; 4,9 : 6,2. В 2008 г., в июле, соотношение «ПФО : ПО» выглядело следующим образом (слой 0–20 см): «Целина» – 4,1 : 4,3; «Травы без удобрений» – 4,1 : 3,9; «Травы + НРК» – 7,5 : 7,4. В этом же году, в остаточном торфе, в варианте «Травы + НРК»: в слое 20–40 см – 3,9 : 3,8; в слое 40–60 см – 3,2 : 3,2; в слое 60–80 см – 2,9 : 2,8; в слое 80–100 см – 3,0 : 2,9. В августе 2008 г.: в слое 0–20 см – 8,1 : 8,2; в слое 20–40 см – 4,5 : 4,4; в слое 40–60 см – 3,6 : 3,5; в слое 60–80 см – 2,7 : 2,7; в слое 80–100 см – 2,7 : 2,5.

Максимальные значения активности обеих ферментов были зафиксированы в верхних слоях (0–40 см) и приходились на июль и август, когда отмечались наиболее высокие температуры воздуха и минимальные уровни стояния болотных вод, а торфяная толща прогревалась в наибольшей степени. Например, в 1993 г. среднемесячная температура воздуха в районе исследований составляла: в июне 16 °С, в июле – 19 °С, в августе – 16,5 °С, в сентябре – 8,7 °С; в июле отмечался и самый низкий уровень стояния болотных вод: в целинном торфе – 65 см, в остаточном (рекультивируемом) – 90 см. В 2002 г. температура воздуха была равна: 15,2 °С – в июне, 17,5 °С – в июле, 15,3 °С – в августе, 10 °С – в сентябре; УБВ в июле: 60 см – в целинном торфе, 95 см – в рекультивируемом. В 2008 г.: 14,2 °С – в июне, 18,5 °С – в июле, 15 °С – в августе, 9 °С – в сентябре; УБВ в июле: 70 см – в целинном торфе, 100 см – в рекультивируемом [18].

Наибольшими значениями в июле и августе характеризовалась и средняя температура слоев торфа. Так, в 2008 г. она была равна в целинной зале-

жи: в июле – 10,94 °С, в августе – 10,44 °С (с минимумом в сентябре: 7,1 °С); в остаточном торфе под травами: в июле – 12,3 °С, в августе – 11,96 °С (с минимумом также в сентябре 8,06 °С). Такая же закономерность отмечалась и в остальные сроки наблюдений (1993, 2002).

С глубиной активность энзимов снижалась, что наиболее заметно происходило опять-таки в июле и августе, когда температура верхних слоев была наибольшей, а температура нижних слоев оставалась приблизительно на уровне июня. В июне активность ферментов снижалась очень постепенно или имела почти одинаковые значения по всему исследуемому профилю торфяника. В торфе целинного участка в сентябре отмечалась тенденция вначале некоторого увеличения показателей активности оксидоредуктаз с глубиной (до 40–60 см), а затем – уменьшения их значений. Осенняя вариативность активности энзимов по торфяному профилю соответствовала изменению температуры торфа с глубиной: верхние горизонты охлаждались, в то время как нижние еще сохраняли летние значения температур.

Деятельность фенолоксидаз в «Целине» проявлялась по всему исследуемому профилю (0–100 см) во все сроки наблюдений. В остаточном торфе рекультивируемого участка в первый год освоения (1986) деятельность фенолоксидаз выявить методом йодометрического титрования не удалось или же полученные значения их активности были не достоверны [19]. Недостоверность полученных значений в данном случае можно рассматривать как отсутствие стабильных ферментных реакций, как начало пока еще слабой деятельности указанных ферментов. В 1993 г. деятельность ферментов была зафиксирована указанным методом – до глубины 60 см. В последующие годы (2002 и 2008) активность обоих энзимов стала обнаруживаться по всему профилю остаточного торфа начиная с июля 2002 г. При этом если в начале наблюдений (1993) активность ферментов в остаточном торфе характеризовалась меньшими величинами, по сравнению с целинным торфом, то начиная с июля 2002 г. их значения в верхних горизонтах по вариантам выравниваются, а в торфе под травами с НРК становятся наибольшими.

Меньшие значения ферментативных реакций или даже их отсутствие в остаточном торфе, по сравнению с целинным, в начальные сроки освоения выработанного участка БЭС можно объяснить тем, что слои остаточного торфа – это самые нижние слои ранее неосушенной залежи, характеризовавшиеся невысокими значениями разных показателей биологической активности, в том числе слабым ростом микрофлоры на питательных средах [14, с. 3–27; 16]. Возможно, что корневые

системы лесных растений, пронизывающие весь исследуемый профиль целинного торфа, а также их остатки, являются более существенными, по сравнению с корнями выращиваемых злаков (и их остатками), источниками ферментов. Подобные предположения делались и по отношению к каталазной активности, которая была выше в целинном торфе [18].

Удобрения, вносимые в торф, засеянный травами, не оказывали воздействия на активность фенолоксидаз в июне и сентябре и повышали ее в июле и августе, что отмечалось во все сроки наблюдений (1993–2008). Наиболее заметно влияние удобрений проявилось в 2008 г. в слое 0–20 см: значения пероксидазы и полифенолоксидазы возросли почти в 2 раза, по сравнению с торфом под травами без удобрений, и составили в июле 7,4 и 7,5 единицы, в августе – 8,2 и 8,1 единицы. Вероятно, этому способствовал более благоприятный гидротермический режим, прежде всего пониженный уровень стояния болотных вод (100 см) в июле–августе 2008 г., так как температура торфа по вариантам (в слое 0–20 см) в указанные месяцы различалась не существенно. Но даже приведенные возросшие показатели ферментативной активности, при сравнении их с таковыми 1993 г., возможно, указывают на слабое воздействие удобрений на процессы, связанные с деятельностью обсуждаемых ферментов в исследуемом торфе.

Подобная динамика, показывающая сезонную выраженность ферментативной активности в рекультивируемом торфе, прежде была выявлена в отношении каталазы [18]. В связи с этим увеличению продукции фенолоксидаз в июле и августе в варианте «Травы + NPK» можно дать объяснение, аналогичное таковому повышению каталазной активности: более благоприятные гидротермические условия, создававшиеся в торфяной толще летом, активизировали ассимиляцию NPK как микроорганизмами, так и возделываемыми растениями. В результате возросла численность микроорганизмов и, соответственно, количество синтезируемых ими ферментов (в том числе фенолоксидаз). Одновременно усилившийся рост трав мог вызвать выделение ферментов их корнями, хотя бы в незначительном количестве [3]. Вместе с тем корневые выделения трав в виде аминокислот, сахаров, витаминов, других веществ тоже могли, наряду с NPK, привести к росту численности микроорганизмов [20, с. 19, 38–46, 115 и т. д.] и количеству продуцируемых ими ферментов. Предполагается и опосредованное влияние удобрений на продукцию ферментов растениями: от предыдущего урожая в удобренном торфе, по сравнению с неудобренным, оказывается большая масса разлагающихся растительных остатков – один из источников почвенных энзимов [3, с. 150–204; 5, с. 17; 6, с. 48, 59, 67]. Ин-

тенсификация разложения остатков в условиях более благоприятного гидротермического режима БЭС, складывавшегося в июле–августе, вероятно, также способна повлиять на пополнение торфяной почвы энзимами.

Таким образом, относительно возросшие значения активности полифенолоксидазы и пероксидазы в торфе под травами с удобрениями в июле и августе представляются как суммарный результат процессов усиления вегетации растений, роста численности микроорганизмов, интенсификации разложения растительных остатков.

Заключение

Соотношение «ПФО : ПО» в целинном торфе в течение всего периода наблюдений (1993–2008) и по всему исследуемому профилю характеризовалось величинами, приблизительно равными 1 (с незначительными отклонениями в стороны больших или меньших значений). Аналогичные результаты получены при исследовании остаточного торфа. Однако в начальные сроки наблюдений (1993) и в первый летний месяц 2002 и 2008 гг. деятельность оксидаз обнаруживалась только до глубины 60 см. В последующие месяцы 2002 и 2008 гг. она стала выявляться по всей толще опытного участка, что может указывать на активизацию микрофлоры в нижних, ранее относительно инертных, в плане биологической активности слоях торфяника.

Величина соотношения «ПФО : ПО», приблизительно равная 1, может показывать, что процессы синтеза и распада гумусовых веществ находятся в относительном равновесии. Следовательно, длительное использование выработанного участка экосистемы «Таган» для возделывания многолетних злаковых трав не сопровождается разрушительной минерализацией органического вещества торфа.

Динамика активности пероксидазы и полифенолоксидазы в торфяной почве исследуемой БЭС вероятностно связана с процессами роста растений, а также с вариабельностью численности микроорганизмов и их активности, проявляющейся в большей или меньшей интенсивности вызываемых ею процессов деструкции свежих растительных остатков, синтеза и распада гумусовых веществ.

В конечном итоге активность всех перечисленных процессов (деятельности ферментов, микроорганизмов, вегетации трав) в торфе БЭС «Таган» определяется, вероятно, комплексным воздействием ряда факторов: местными метеоусловиями, температурой торфа, уровнем стояния болотных вод, наличием питательных веществ (в виде минеральных удобрений и корневых выделений растущих трав), длительностью опыта.

Таблица

Активность пероксидазы (ПО) и полифенолоксидазы (ПФО) в торфе целинного и рекультивируемого участков болотной экосистемы «Таган»

| Год | Месяц | Глубина, см | Мл J ₂ /100 г абсолютно сухого торфа (M ± μ) по вариантам: | | | | | | | | |
|------|-------|-------------|---|-----------|------|---------------------|-----------|------|----------------------|-----------|------|
| | | | Целина | | | Травы без удобрений | | | Травы + N120P120K120 | | |
| | | | ПО | ПФО | t°C | ПО | ПФО | t°C | ПО | ПФО | t°C |
| 1993 | VI | 0-20 | 2,4 ± 0,3 | 2,2 ± 0,4 | 13,8 | 1,5 ± 0,3 | 1,0 ± 0,2 | 14,2 | 1,3 ± 0,3 | 1,1 ± 0,2 | 14,0 |
| | | 20-40 | 2,4 ± 0,4 | 2,6 ± 0,4 | 11,0 | 1,5 ± 0,3 | 1,0 ± 0,1 | 13,5 | 1,6 ± 0,3 | 1,3 ± 0,3 | 13,3 |
| | | 40-60 | 2,8 ± 0,5 | 2,4 ± 0,3 | 10,0 | 1,3 ± 0,2 | 1,0 ± 0,1 | 11,0 | 1,2 ± 0,1 | 1,0 ± 0,2 | 10,8 |
| | | 60-80 | 2,4 ± 0,4 | 2,2 ± 0,3 | 6,1 | * | * | 8,5 | * | * | 8,3 |
| | | 80-100 | 2,0 ± 0,2 | 2,2 ± 0,3 | 5,0 | * | * | 5,3 | * | * | 5,0 |
| | VII | 0-20 | 4,5 ± 0,8 | 4,2 ± 0,6 | 17,0 | 3,8 ± 0,6 | 3,0 ± 0,4 | 17,7 | 4,7 ± 0,8 | 4,0 ± 0,7 | 17,4 |
| | | 20-40 | 5,0 ± 0,8 | 2,5 ± 0,4 | 12,3 | 2,1 ± 0,3 | 2,0 ± 0,3 | 14,0 | 4,2 ± 0,6 | 3,7 ± 0,6 | 13,8 |
| | | 40-60 | 3,0 ± 0,4 | 2,0 ± 0,2 | 10,0 | 2,0 ± 0,3 | 1,5 ± 0,3 | 13,3 | 1,8 ± 0,4 | 1,5 ± 0,3 | 13,0 |
| | | 60-80 | 2,0 ± 0,2 | 2,0 ± 0,3 | 6,3 | * | * | 7,8 | * | * | 7,6 |
| | | 80-100 | 1,8 ± 0,2 | 2,0 ± 0,4 | 4,9 | * | * | 6,7 | * | * | 6,5 |
| | VIII | 0-20 | 3,0 ± 0,4 | 3,4 ± 0,4 | 12,8 | 4,6 ± 0,8 | 4,0 ± 0,4 | 14,0 | 5,5 ± 0,9 | 5,0 ± 0,9 | 13,7 |
| | | 20-40 | 2,9 ± 0,4 | 4,4 ± 0,9 | 11,3 | 3,0 ± 0,4 | 2,5 ± 0,4 | 12,1 | 3,7 ± 0,5 | 3,0 ± 0,5 | 12,2 |
| | | 40-60 | 3,5 ± 0,5 | 3,6 ± 0,5 | 10,5 | 2,5 ± 0,4 | 2,0 ± 0,4 | 10,0 | 2,5 ± 0,4 | 1,9 ± 0,4 | 9,7 |
| | | 60-80 | 1,9 ± 0,2 | 2,0 ± 0,2 | 8,4 | * | * | 8,0 | * | * | 8,1 |
| | | 80-100 | 2,0 ± 0,2 | 2,0 ± 0,3 | 7,3 | * | * | 7,0 | * | * | 6,7 |
| | IX | 0-20 | 2,0 ± 0,4 | 1,8 ± 0,2 | 7,3 | 2,8 ± 0,4 | 2,0 ± 0,4 | 7,6 | 5,0 ± 0,8 | 4,0 ± 0,8 | 7,3 |
| | | 20-40 | 2,7 ± 0,4 | 3,0 ± 0,4 | 8,0 | 2,8 ± 0,5 | 2,0 ± 0,4 | 8,2 | 2,5 ± 0,4 | 1,7 ± 0,4 | 8,0 |
| | | 40-60 | 3,0 ± 0,4 | 3,0 ± 0,5 | 9,0 | 2,5 ± 0,4 | 2,0 ± 0,4 | 8,0 | 2,0 ± 0,4 | 1,8 ± 0,3 | 7,7 |
| | | 60-80 | 1,8 ± 0,2 | 1,9 ± 0,3 | 8,0 | * | * | 8,1 | * | * | 7,9 |
| | | 80-100 | 2,1 ± 0,3 | 1,9 ± 0,4 | 8,2 | * | * | 6,5 | * | * | 6,2 |
| 2002 | VI | 0-20 | 2,5 ± 0,3 | 2,3 ± 0,3 | 14,2 | 1,7 ± 0,4 | 1,1 ± 0,2 | 15,0 | 1,8 ± 0,3 | 1,2 ± 0,2 | 14,8 |
| | | 20-40 | 2,2 ± 0,3 | 2,1 ± 0,3 | 12,0 | 1,7 ± 0,3 | 1,2 ± 0,2 | 12,5 | 1,5 ± 0,3 | 1,2 ± 0,1 | 12,2 |
| | | 40-60 | 3,5 ± 0,3 | 2,4 ± 0,3 | 11,3 | 2,0 ± 0,3 | 1,5 ± 0,2 | 11,7 | 1,0 ± 0,2 | 0,9 ± 0,1 | 11,5 |
| | | 60-80 | 2,0 ± 0,1 | 2,0 ± 0,1 | 9,0 | * | * | 9,0 | * | * | 8,8 |
| | | 80-100 | 1,5 ± 0,4 | 1,0 ± 0,2 | 6,2 | * | * | 6,5 | * | * | 6,3 |
| | VII | 0-20 | 4,0 ± 0,4 | 3,8 ± 0,4 | 17,3 | 4,2 ± 0,5 | 4,1 ± 0,4 | 17,7 | 6,2 ± 0,9 | 4,9 ± 0,5 | 17,5 |
| | | 20-40 | 3,8 ± 0,4 | 3,8 ± 0,5 | 14,4 | 2,5 ± 0,4 | 2,0 ± 0,3 | 15,0 | 3,0 ± 0,5 | 2,8 ± 0,4 | 14,6 |
| | | 40-60 | 3,0 ± 0,4 | 2,5 ± 0,5 | 11,5 | 2,3 ± 0,4 | 1,9 ± 0,3 | 12,2 | 2,2 ± 0,3 | 1,6 ± 0,3 | 12,0 |
| | | 60-80 | 2,5 ± 0,4 | 2,0 ± 0,4 | 10,0 | 2,5 ± 0,5 | 2,5 ± 0,4 | 10,6 | 2,6 ± 0,4 | 1,9 ± 0,3 | 10,4 |
| | | 80-100 | 2,0 ± 0,4 | 2,0 ± 0,4 | 8,0 | 1,9 ± 0,4 | 1,5 ± 0,3 | 8,5 | 1,8 ± 0,3 | 1,5 ± 0,3 | 8,3 |
| | VIII | 0-20 | 4,3 ± 0,5 | 4,0 ± 0,8 | 13,0 | 4,4 ± 0,9 | 4,2 ± 0,9 | 13,6 | 6,0 ± 0,9 | 5,0 ± 0,8 | 13,7 |
| | | 20-40 | 3,5 ± 0,4 | 3,2 ± 0,7 | 12,5 | 3,2 ± 0,7 | 2,9 ± 0,6 | 12,6 | 3,0 ± 0,4 | 2,0 ± 0,4 | 12,5 |
| | | 40-60 | 3,2 ± 0,4 | 3,0 ± 0,6 | 11,0 | 2,7 ± 0,6 | 2,4 ± 0,4 | 11,2 | 2,8 ± 0,4 | 2,2 ± 0,4 | 11,0 |
| | | 60-80 | 2,0 ± 0,4 | 2,5 ± 0,5 | 9,5 | 1,5 ± 0,3 | 1,0 ± 0,2 | 10,0 | 1,7 ± 0,2 | 0,9 ± 0,2 | 9,7 |
| | | 80-100 | 2,0 ± 0,4 | 2,0 ± 0,4 | 8,4 | 1,5 ± 0,3 | 1,1 ± 0,2 | 8,4 | 1,4 ± 0,2 | 0,9 ± 0,2 | 8,2 |
| | IX | 0-20 | 2,1 ± 0,4 | 1,5 ± 0,3 | 7,0 | 3,0 ± 0,4 | 1,5 ± 0,3 | 7,0 | 3,3 ± 0,6 | 1,6 ± 0,3 | 6,7 |
| | | 20-40 | 3,2 ± 0,6 | 3,0 ± 0,6 | 7,7 | 3,0 ± 0,5 | 1,8 ± 0,3 | 7,0 | 2,9 ± 0,6 | 1,5 ± 0,2 | 7,1 |
| | | 40-60 | 2,6 ± 0,4 | 2,0 ± 0,4 | 9,2 | 2,8 ± 0,5 | 2,3 ± 0,4 | 9,4 | 3,0 ± 0,5 | 2,5 ± 0,5 | 8,9 |
| | | 60-80 | 1,5 ± 0,3 | 1,5 ± 0,3 | 8,4 | 1,6 ± 0,3 | 1,1 ± 0,2 | 10,2 | 1,5 ± 0,3 | 1,0 ± 0,2 | 9,1 |
| | | 80-100 | 1,5 ± 0,3 | 1,5 ± 0,3 | 8,2 | 1,4 ± 0,3 | 1,0 ± 0,2 | 9,3 | 1,5 ± 0,3 | 1,4 ± 0,3 | 9,0 |
| 2008 | VI | 0-20 | 2,5 ± 0,4 | 2,7 ± 0,5 | 14,5 | 3,5 ± 0,7 | 3,6 ± 0,7 | 15,2 | 3,8 ± 0,8 | 3,9 ± 0,8 | 15,4 |
| | | 20-40 | 2,0 ± 0,4 | 1,9 ± 0,3 | 13,4 | 3,0 ± 0,6 | 2,0 ± 0,4 | 14,0 | 1,5 ± 0,3 | 3,2 ± 0,4 | 14,3 |
| | | 40-60 | 1,5 ± 0,3 | - | 10,0 | 3,2 ± 0,6 | 3,1 ± 0,5 | 12,1 | 1,0 ± 0,2 | 3,2 ± 0,5 | 11,9 |
| | | 60-80 | 2,2 ± 0,3 | 1,5 ± 0,3 | 6,5 | 3,0 ± 0,4 | 3,0 ± 0,5 | 7,0 | 2,5 ± 0,4 | 2,6 ± 0,5 | 7,2 |
| | | 80-100 | 1,5 ± 0,3 | 1,0 ± 0,2 | 4,9 | * | * | 6,0 | * | * | 5,8 |
| | VII | 0-20 | 4,3 ± 0,5 | 4,1 ± 0,4 | 16,3 | 3,9 ± 0,6 | 4,1 ± 0,7 | 17,2 | 7,4 ± 1,0 | 7,5 ± 1,2 | 17,0 |
| | | 20-40 | 4,0 ± 0,4 | 4,1 ± 0,5 | 14,3 | 4,1 ± 0,6 | 4,0 ± 0,6 | 15,5 | 3,8 ± 0,6 | 3,9 ± 0,7 | 15,4 |
| | | 40-60 | 2,1 ± 0,3 | 2,0 ± 0,4 | 11,9 | 3,9 ± 0,5 | 4,0 ± 0,7 | 13,0 | 3,2 ± 0,5 | 3,2 ± 0,6 | 12,8 |
| | | 60-80 | 2,0 ± 0,3 | 1,6 ± 0,3 | 7,0 | 2,9 ± 0,4 | 3,0 ± 0,5 | 8,8 | 2,8 ± 0,6 | 2,9 ± 0,6 | 8,6 |
| | | 80-100 | 1,5 ± 0,3 | 1,4 ± 0,3 | 5,2 | 2,8 ± 0,6 | 2,9 ± 0,6 | 7,0 | 2,9 ± 0,4 | 3,0 ± 0,5 | 7,2 |
| | VIII | 0-20 | 3,7 ± 0,7 | 3,5 ± 0,7 | 14,1 | 4,2 ± 0,8 | 4,3 ± 0,8 | 16,3 | 8,2 ± 1,1 | 8,1 ± 0,9 | 16,1 |
| | | 20-40 | 4,1 ± 0,8 | 3,7 ± 0,8 | 13,7 | 4,5 ± 0,9 | 4,6 ± 1,0 | 15,0 | 4,4 ± 0,9 | 4,5 ± 0,8 | 14,8 |
| | | 40-60 | 3,0 ± 0,7 | 3,0 ± 0,6 | 11,8 | 4,1 ± 0,6 | 4,2 ± 0,8 | 12,5 | 3,5 ± 0,7 | 3,6 ± 0,8 | 12,6 |
| | | 60-80 | 2,5 ± 0,5 | 2,0 ± 0,3 | 7,1 | 2,5 ± 0,4 | 2,7 ± 0,5 | 9,0 | 2,7 ± 0,6 | 2,7 ± 0,5 | 9,0 |
| | | 80-100 | 1,5 ± 0,3 | 1,3 ± 0,2 | 5,5 | 2,7 ± 0,4 | 2,7 ± 0,6 | 7,0 | 2,5 ± 0,5 | 2,7 ± 0,4 | 7,2 |
| | IX | 0-20 | 1,5 ± 0,2 | 1,5 ± 0,3 | 3,9 | 2,6 ± 0,5 | 2,7 ± 0,6 | 4,2 | 2,5 ± 0,5 | 2,8 ± 0,6 | 4,1 |
| | | 20-40 | 3,7 ± 0,6 | 3,5 ± 0,7 | 8,0 | 3,8 ± 0,4 | 3,5 ± 0,3 | 8,5 | 4,0 ± 0,5 | 4,0 ± 0,4 | 8,3 |
| | | 40-60 | 3,0 ± 0,6 | 3,0 ± 0,5 | 10,8 | 4,0 ± 0,4 | 4,1 ± 0,5 | 11,6 | 3,6 ± 0,4 | 3,7 ± 0,3 | 11,3 |
| | | 60-80 | 2,0 ± 0,3 | 2,1 ± 0,4 | 7,4 | 2,3 ± 0,5 | 2,5 ± 0,5 | 9,0 | 3,9 ± 0,5 | 4,1 ± 0,5 | 9,2 |
| | | 80-100 | 2,0 ± 0,4 | 1,8 ± 0,4 | 5,4 | 2,5 ± 0,4 | 2,6 ± 0,6 | 7,0 | 2,6 ± 0,4 | 2,0 ± 0,4 | 7,1 |

Примечания:

1. 1 мл J₂/100 г абсолютно сухого торфа условно равен 1 единице.

2. * – величина не достоверна.

Список литературы

1. Скоропанов С. Г. Мелиорация торфяников и проблема органического вещества // Изменение торфяных почв под влиянием осушения и использования: материалы научно-метод. совещания стран-участниц СЭВ. Минск: Урожай, 1969. С. 21–23.
2. Зименко Т. Г. Микробиологические процессы в мелиорированных торфяниках Белоруссии и их направленное регулирование. Минск: Наука и техника, 1977. 208 с.
3. Пейве Я. В. Биохимия почв. М.: Гос. изд-во с-х литературы, журналов и плакатов, 1961. 422 с.
4. Кононова М. М. Органическое вещество почвы. М.: АН СССР, 1963. 315 с.
5. Хазиев Ф. Х. Ферментативная активность почв. М.: Наука, 1976. 180 с.
6. Чундерова А. И. Биохимическая деятельность микрофлоры и плодородие почвы // Агрономическая микробиология: научные труды ВАСХНИЛ. Ленинград: Колос, 1976. С. 47–82.
7. Щербаклова Т. А. Ферментативная активность почв и трансформация органического вещества. Минск: Наука и техника, 1983. 220 с.
8. Гулько А. Е., Хазиев Ф. Х. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность // Почвоведение, 1992. № 11. С. 55–67.
9. Инишева Л. И., Аристархова В. Е., Порохина Е. В., Боровкова А. Ф. Выработанные торфяные месторождения, их характеристика и функционирование. Томск: ТГПУ, 2007. 225 с.
10. Инишева Л. И., Порохина Е. В., Аристархова В. Е., Деметьева Т. В. Система показателей современного состояния выработанных торфяных почв Сибири и их сельскохозяйственное использование. Томск: ТГПУ, 2005. 54 с.
11. Порохина Е. В., Голубина О. А. Ферментативная активность в торфяных залежах болота Таган // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). 2012. Вып. 7 (122). С. 171–176.
12. Сергеева М. А., Порохина Е. В., Голубина О. А. Биологическая активность торфяной залежи болота Турочак // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). 2013. Вып. 8 (136). С. 131–136.
13. Блинков Г. Н. Торфяники и их использование в сельском хозяйстве. Новосибирск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1975. 65 с.
14. Дырин В. А., Блинков Г. Н. О биологической активности низинных торфов // Вопросы биологии и агрономии. Томск: ТГУ, 1976. С. 3–27.
15. Белова Е. В. Выработанные торфяные почвы южно-таежной подзоны Западной Сибири, свойства и особенности их функционирования: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск: ТГПУ, 2003. 23 с.
16. Дырин В. А., Красноженов Е. П. Динамика некоторых показателей биологической активности в торфе целинного и рекультивируемого участков низинной болотной экосистемы // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). 2009. Вып. 1 (79). С. 95–101.
17. Федоров А. И. Методы математической статистики в биологии и опытно-деловом деле. Алма-Ата: Кайнар, 1967. 163 с.
18. Дырин В. А. Активность каталазы в торфе целинного и рекультивируемого участков болотной экосистемы низинного типа // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). 2009. № 6. С. 121–125.
19. Дырин В. А. Интенсивность минерализационных процессов в остаточном торфе низинной болотной экосистемы «Таган» в начале ее рекультивации // Вестн. Томского гос. пед. ун-та (TSPU Bulletin). 2003. Вып. 4 (36). С. 106–109.
20. Красильников Н. А. Микроорганизмы почвы и высшие растения. М.: АН СССР, 1958. 463 с.

Дырин В. А., кандидат биологических наук, доцент, профессор.
Томский государственный педагогический университет.
Ул. Киевская, 60, Томск, Россия, 634061.
E-mail: VAD60946@yandex.ru

V. A. Dyrin

PEROXIDASE AND POLYPHENOLOXIDASE ACTIVITY IN PEAT OF VIRGIN AND RECLAIMED AREAS OF EUTROPHIC PEAT BOG ECOSYSTEM

Polyphenol oxidase and peroxidase activity was determined in virgin peat deposit (3 m) and residual eutrophic peat (1 m) under permanent grasses in microfield experiment. Enzyme activity in virgin soil was determined through the thickness (0–100 cm); in residual peat – up to 60 cm deep – at the beginning of observations (1993), and through the profile – in subsequent terms (2002 and 2008). While the ratio «polyphenol oxidase activity: peroxidase activity» was approximately equal to 1, that could point to the relational balance of the processes of synthesis and decay of humic substances – both in virgin and reclaimed peat of investigated ecosystem.

Key words: *peat bog ecosystem, virgin peat, residual peat, microflora, enzymes, peroxidase, polyphenoloxidase.*

References

1. Skoropanov S. G. Melioratsiya torfyanykov i problema organicheskogo veshchestva [Melioration of peatbogs and the problem of organic matter]. *Izmenenie torfyanykh pochv pod vliyaniem osusheniya i ispol'zovaniya: materialy nauchno-metodicheskogo soveshchaniya stran-uchastnits SEV* [Change of peat soils under the influence of drainage and the use: materials of science and methodical meeting of member countries of SEV]. Minsk, Harvest, 1969. Pp. 21–23 (in Russian).
2. Zimenko T. G. *Mikrobiologicheskie protsessy v meliorirovannykh torfyanykakh Belorussii i ikh napravlennoe regulirovanie* [Microbiological processes in meliorated peatbogs of Belarus and their directed regulation]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1977. 208 p. (in Russian).
3. Peyve Ya. V. *Biokhimiya pochv* [Soil Biochemistry]. Moscow, Gos. izd-vo s-kh literatury, zhurnalov i plakatov Publ., 1961. 422 p. (in Russian).
4. Kononova M. M. *Organicheskoe veshchestvo pochvy* [Soil organic substance]. Moscow, AN SSSR Publ., 1963. 315 p. (in Russian).
5. Khaziev F. Kh. *Fermentativnaya aktivnost' pochv* [Enzymatic activity of soils]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 180 p. (in Russian).
6. Chunderova A. I. *Biokhicheskaya deyatelnost' mikroflory i plodorodie pochvy* [Biochemical activity of microflora and soil fertility]. *Agronomicheskaya mikrobiologiya: nauchnye trudy VASKhNIL* [Agronomic microbiology: scientific works of Academy of Agricultural Sciences (VASHNIL)]. Leningrad, Kolos Publ., 1976. 231 p. (in Russian).
7. Shcherbakova T. A. *Fermentativnaya aktivnost' pochv i transformatsiya organicheskogo veshchestva* [Enzymatic activity of soils and transformation of organic substance]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1983. 220 p. (in Russian).
8. Gul'ko A. E., Khaziev F. Kh. Fenoloksidazy pochv: produtsirovanie, immobilizatsiya, aktivnost' [Soil phenol oxidases: production, immobilization, activity]. *Pochvovedenie*, 1992, no. 11, pp. 55–67 (in Russian).
9. Inisheva L. I., Aristarkhova V. E., Porokhina E. V., Borovkova A. F. *Vyrabotannyye torfyanye mestorozhdeniya, ikh kharakteristika i funktsionirovanie* [Developed peat deposits, their characteristics and functioning]. Tomsk, Izdatel'stvo Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta Publ., 2007. 225 p. (in Russian).
10. Inisheva L. I., Porokhina E. V., Aristarkhova V. E., Dement'eva T. V. *Sistema pokazateley sovremennogo sostoyaniya vyrabotannykh torfyanykh pochv Sibiri i ikh sel'skokhozyaystvennoe ispol'zovanie* [The system of indicators of the current state of developed peat soils of Siberia and their agricultural use]. Tomsk, Izdatel'stvo Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta Publ., 2005. 54 p. (in Russian).
11. Porokhina E. V., Golubina O. A. *Fermentativnaya aktivnost' v torfyanykh zalezakh bolota Tagan* [Enzymatic activity in peat deposits of Tagan]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2012, no. 7 (122), pp. 171–176 (in Russian).
12. Sergeeva M. A., Porokhina E. V., Golubina O. A. *Biologicheskaya aktivnost' torfyanykh zalezhi bolota Turochak* [Biological Activity of peat deposits of Turochak]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2013, no. 8 (136), pp. 131–136 (in Russian).
13. Blinkov G. N. *Torfyanyki i ikh ispol'zovanie v sel'skom khozyaystve* [Peatbogs and their use in agriculture]. Novosibirsk, Zap.-Sib. kn. Izd-vo Publ., 1975. 65 p. (in Russian).
14. Dyrin V. A., Blinkov G. N. *O biologicheskoy aktivnosti nizinykh torfov* [About the biological activity of eutrophic peat]. *Voprosy biologii i agronomii* [Questions of biology and agronomy]. Tomsk, Izdatel'stvo Tomskogo gosudarstvennogo universiteta Publ., 1976. Pp. 3–27 (in Russian).
15. Belova E. V. *Vyrabotannyye torfyanye pochvy yuzhno-taehznoy podzony Zapadnoy Sibiri, svoystva i osobennosti ikh funktsionirovaniya: avtoref. dis. kand. biol. Nauk* [Developed peat soils of the southern taiga subzone of West Siberia, properties and peculiarities of their functioning: Abstract of thesis cand. of biol. Sci.]. Tomsk, 2003. 23 p. (in Russian).
16. Dyrin V. A., Krasnozhenov E. P. *Dinamika nekotorykh pokazateley biologicheskoy aktivnosti v torfe tselinnogo i rekul'tiviruемого uchastkov nizinykh bolotnoy ekosistemy* [Dynamics of some indicators of biological activity in peat of virgin and recultivated areas of eutrophic peat bog ecosystem]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2009, no. 1 (79), pp. 95–101 (in Russian).
17. Fedorov A. I. *Metody matematicheskoy statistiki v biologii i opytном dele* [Methods of mathematical statistics in biology and experimental case]. Alma-Ata, Kaynar Publ., 1967. 163 p. (in Russian).
18. Dyrin V. A. *Aktivnost' katalazy v torfe tselinnogo i rekul'tiviruемого uchastkov bolotnoy ekosistemy niznogo tipa* [Catalase activity in peat of virgin and recultivated areas of eutrophic peatbog ecosystem]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2009, no. 6 (84), pp. 121–125 (in Russian).
19. Dyrin V. A. *Intensivnost' mineralizatsionnykh protsessov v ostatochnom torfe nizinykh bolotnoy ekosistemy "Tagan" v nachale ee rekul'tivatsii* [Intensity mineralization processes in the residual eutrophic peatbog ecosystem "Tagan" at the beginning of its recultivation]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta – TSPU Bulletin*, 2003, no. 4 (36), pp. 106–109 (in Russian).
20. Krasil'nikov N. A. *Mikroorganizmy pochvy i vysshie rasteniya* [Soil microorganism, and higher plants]. Moscow, AN SSSR Publ., 1958. 463 p. (in Russian).

Tomsk State Pedagogical University.

Ul. Kievskaya, 60, Tomsk, Rossiya, 634061.

E-mail: VAD60946@yandex.ru