

УДК 631.465

## АКТИВНОСТЬ ОКСИДОРЕДУКТАЗ В ЭВТРОФНЫХ ТОРФЯНЫХ БОЛОТАХ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И ГОРНОГО АЛТАЯ

*Порохина Е.В., Голубина О.А.*

*Томский государственный педагогический университет*

porohkatrin@yandex.ru, mtgolubin@yandex.ru

*Приведены результаты по ферментативной активности в торфяных залежах эвтрофных болот Таган (Томский район, Томская область, Западная Сибирь) и Турочакское (Турочакский район, Республика Алтай), различающихся по условиям торфообразования. Установлено, что более высоким показателями активности каталазы и пероксидазы отличается торфяная залежь болота Таган, в то время как активность полифенолоксидазы выше в торфяной залежи болота Турочакское. Наибольший уровень пероксидазной активности наблюдается в глубоких слоях торфяной залежи обоих болот (по сравнению с верхним слоем 0-25 см). Выявлено, что в течение избыточно влажного вегетационного периода сезонная динамика активности каталазы в залежи болота Таган проявляется слабо, а в динамике активности пероксидазы отмечается максимум в сентябре. В торфяной залежи болота Турочакское наиболее выраженная сезонная динамика активности каталазы наблюдается только в слоях 0–25 и 150–175 см и характеризуется двумя пиками активности - в мае и сентябре. В сезонной динамике полифенолоксидазы в верхней двухметровой части залежи болота Турочакское зафиксирован летний максимум активности фермента, в то время как в нижней части залежи активность полифенолоксидазы увеличивается от мая к сентябрю.*

**Ключевые слова:** *эвтрофное болото, торфяная залежь, ферменты, оксидоредуктазы, биохимическая активность.*

**Цитирование:** Порохина Е.В., Голубина О.А. 2014. Активность оксидоредуктаз в эвтрофных торфяных болотах Западной Сибири и Горного Алтая // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. Т. 5. № 1 (9). С. 17-25.

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время, в связи с изменением климата, исследователи большое внимание уделяют изучению углеродного баланса торфяно-болотных экосистем. Биохимические процессы, протекающие в торфяных залежах, определяют газовый режим болот и эмиссию парниковых газов. Немаловажное значение принадлежит ферментам из класса оксидоредуктаз, которые участвуют в окислительно-восстановительных процессах синтеза гумусовых веществ [Щербакова, 1983, с. 64-65; Гулько и Хазиев, 1992, с. 55; Инишева с соавт., 2003, с. 14, 87]. Уровень и соотношение активности ферментов контролируются гидротермическими условиями природных зон, химическими, физико-химическими свойствами торфов и торфяных залежей. Накопление ферментов в почве, а также торфяной залежи происходит, в первую очередь, за счет внеклеточных ферментов, выделенных микроорганизмами, поступивших после отмирания растений и других организмов, населяющих торфяную залежь. При этом часть их связывается с минеральными и органическими компонентами залежи, т.е. находится в иммобилизованном состоянии [Гулько и Хазиев, 1992, с. 57, 60; Инишева с соавт., 2003, с. 11; Sinsabauch, 2010, p. 392, 393].

Одним из хорошо изученных ферментов класса оксидоредуктаз является каталаза. Каталаза расщепляет перекись водорода, ядовитую для живых организмов и образующуюся при разложении органического вещества, и одновременно высвобождает кислород, который принимает участие в дальнейшем окислении органических соединений [Хазиев, 2005, с. 28, Савичева и Инишева, с. 42].

В отличие от каталазы, которая изучена достаточно подробно, исследованию активности полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПДО), посвящено небольшое количество работ [Гулько и Хазиев, 1992; Инишева с соавт., 2003; Михайловская и Миканова, 2008; Sinsabauch, 2010; Jasey V.E.J. et al, 2012; Якушев с соавт., 2014]. Деятельность этих ферментов направлена на разложение лигнина и синтез вторичных соединений, участвующих в гумификации. Полифенолоксидаза и пероксидаза катализируют окисление моно-, ди-, трифенолов до хинонов в присутствии кислорода воздуха или перекиси водорода [Хазиев, 2005, с. 37-38, 41]. Хиноны при конденсации с

аминокислотами при определенных условиях формируют первичные молекулы протогуминовых кислот и тем самым связывают углерод в гумусе, препятствуя его накоплению в атмосфере в виде углекислого газа [Якушев с соавт., 2014, с. 591]. Согласно С. Freeman с соавт. [Freeman et al, 2004, p. 1663], именно фенолоксидазы играют важную регуляторную роль в процессах разложения торфов, так как конденсированные формы фенольных соединений, которые накапливаются в анаэробных условиях, ингибируют деятельность гидролитических ферментов. При усилении аэрации активность фенолоксидаз возрастает, что приводит к увеличению активности гидролаз.

Особый интерес представляет исследование ферментативной активности торфяных залежей, различающихся по условиям торфообразования, химическим свойствам в комплексе с другими показателями функционирования болот (уровнем болотных вод, температурой и др.), что достигается при помощи стационарных методов наблюдений. Следует подчеркнуть, что в настоящее время по разным причинам исследованию динамики биохимических процессов, происходящих в естественных торфяных залежах, уделяется недостаточное внимание.

Целью работы является изучение активности оксидоредуктаз эвтрофных болот, различающихся по условиям торфообразования.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводились на территории южно-таежной подзоны Западной Сибири (эвтрофное болото Таган, Томская область) и Горного Алтая (эвтрофное болото Турочакское, Республика Алтай).

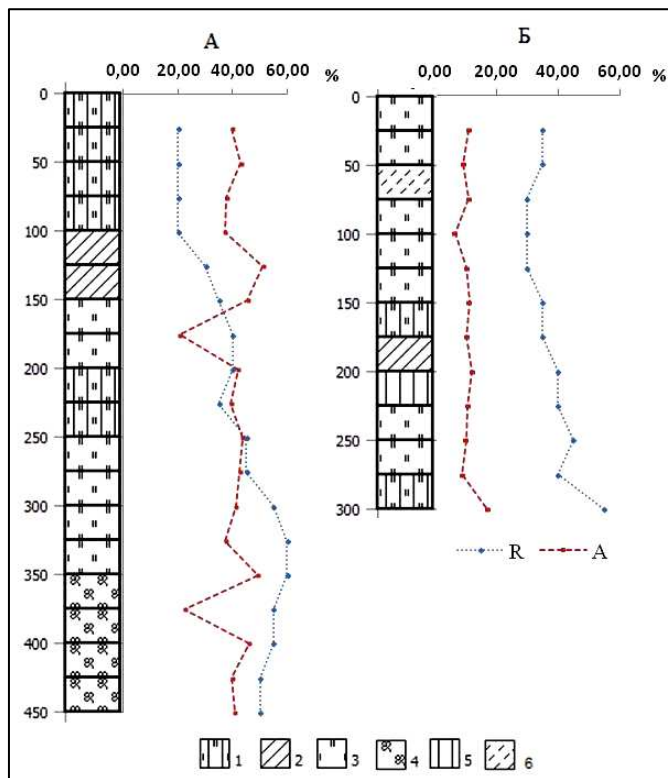
Болото Таган расположено в пределах подзоны эвтрофных древесно-травяно-моховых болот [Лисс с соавт., 2001, с. 420-421], в ложбине древнего стока р. Томи. Подстилающими породами служат пески, супеси и суглинки. Источником водно-минерального питания являются атмосферные осадки и склоновые воды. Вся территория болота занята низинными и верховыми фитоценозами древесно-топяных и топяных групп [Инишева с соавт., 2007, с. 70]. Пункт наблюдений за биохимической активностью является естественным участком (координаты: 56°21' с. ш., 84°47' в. д.). Древесный ярус представлен берёзой (*Betula* sp.), редкими угнетёнными соснами (*Pinus sylvestris* L.), в травянистом ярусе преобладают осоки (*Carex* sp.), папоротники (*Thelypteris* sp.), крапива (*Urtica* sp.). Мощность торфяной залежи (ТЗ), которая подстилается заиленными песками, составляет 3 м, возраст – 3445±50 лет. Торфяная залежь (ТЗ) болота Таган сформирована травяным и древесно-травяным торфами (рис. 1). Торфа слабокислые, хорошо разложившиеся (25-55%), зольность варьирует от 6,6 до 17,2 %, рН солевой вытяжки изменяется в пределах 5,6–6,1 [Инишева с соавт., 2010, с.78-79].

Болото Турочакское располагается в Турочакском районе в 1,69 км к югу от районного центра Турочак. Болото является пойменным и вытянуто вдоль водотока реки Бия. Растительность характеризуется древесно-осоковым фитоценозом. Преобладающий тип торфяной залежи – эвтрофный. Возраст болота 7060±90 лет. Основным источником водно-минерального питания болота являются поверхностно-сточные воды с водосборной площади. Значительное влияние на него оказывают также весенние и летние паводковые воды. Паводковые воды приносят на болото значительное количество аллювия, переходящего в торфяную залежь [Инишева с соавт, 2011, с. 60]. Это проявляется в значительной зольности торфа Турочакского болота, которая составляет 18–43%. Исследования проводили на пункте наблюдений (координаты: 52°13' с. ш., 87°06' в. д.). Мощность торфяной залежи в этом пункте составляет – 4,7 м. Древесный ярус представлен берёзой (*Betula alba* L.), редкими небольшими соснами (*Pinus sylvestris* L.), черемухой (*Padus avium* Mill.). Подлесок образован ивой (*Salix* sp.), средняя высота до 2 м. В наземном ярусе доминирует осока пузырчатая (*Carex vesicaria* L.) высотой до 50 см. В понижениях встречается хвощ болотный (*Equisetum palustre* L.), подмаренник северный (*Galium boreale* L.), лабазник вязолистный (*Filipendula ulmaria* L.), мышиный горошек (*Vicia cracca* L.). Микрорельеф кочковатый. Торфяная залежь сложена преимущественно травяным, древесно-осоковым и древесно-травяным торфами (рис. 1) со степенью разложения от 20 до 60%. Торфа высокозольные, слабокислые (рН 4,6–4,7).

Более подробная характеристика пунктов наблюдений на болотах Таган и Турочакское приведена в работах [Инишева с соавт., 2010, с. 75-84, 114, 116-119; Сергеева с соавт., 2013, с. 131].

На исследуемых пунктах в мае, июле и сентябре 2013 г. проводился отбор проб торфа при помощи бура ТБГ-1 по слоям в соответствии с ботаническим составом. Каталазную активность

определяли газометрическим методом в модификации Ю.В. Круглова и Л.Н. Пароменской [Инишева с соавт., 2003, с.50-51] в мл  $O_2/g$  за 2 мин (далее по тексту - ед.). Активность полифенолоксидазы (ПФО) и пероксидазы (ПДО) определяли в трех повторностях по методу Л.А. Карягиной и Н.А. Михайловской [Карягина и Михайлоуская, 1986, с. 40-41] в мг 1,4-бензохинона/г за 30 мин (далее – ед.). Лабораторные исследования проводились в Испытательной лаборатории (№ РОСС RU.0001.516054). Параллельно проводили наблюдения за гидротермическим режимом ТЗ [Инишева и Голубина, 2010, с. 27-29, 38-43]. Статистическая обработка данных проведена при помощи пакета Microsoft Office Excel (Microsoft Corporation, США). Датирование торфяных залежей выполнено на радиоуглеродной установке «QUANTULUS-1220» (фирма Wallac, Финляндия) в институте геологии СО РАН (г. Новосибирск).



**Рис. 1.** Общетехнические свойства торфов болот Турочакское (А) и Таган (Б). Условные обозначения: Низинные виды торфа (1-5): 1 – древесно-травяной, 2 – осоковый, 3 – травяной, 4 – вахтовый, 5 – древесный, 6 – гипновый, R – степень разложения, %; А – зольность, %.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что скорость и направленность биохимических превращений, происходящих в торфяной залежи, во многом определяется ее гидротермическим режимом и погодными условиями в течение вегетационного периода. На территории Томской области, где располагается болото Таган, особенностями вегетационного периода 2013 года значений были очень влажные и прохладные май и июнь, когда осадков выпало значительно больше среднееголетних и засушливый теплый июль (рис. 2). В целом вегетационный период на данной территории характеризуется как избыточно влажный (ГТК-2,6). В северо-восточной части Республики Алтай вегетационный период 2013 г. можно охарактеризовать как влажный (ГТК-1,6) и теплый. Выделяются избыточно влажный май и теплый, очень сухой июнь (36,3 мм осадков при среднееголетних – 115,0 мм).

Среди исследуемых пунктов наблюдений наиболее низкие УБВ наблюдаются в залежи болота Турочакское (25–46 см от поверхности). В торфяной залежи болота Таган УБВ весной и в первой половине лета находились выше поверхности и в конце июля опустились на максимальную глубину (37 см от поверхности). Исследование температурного режима торфяных залежей показывает, что в погодных условиях 2013 года прогревание верхних слоев ТЗ болота Таган с весны протекает интенсивно и уже в третьей декаде июня здесь были зафиксированы активные температуры (более

10 °С), а с середины июля – летние температуры (более 15°С), которые сохранялись до середины сентября. В ТЗ болота Турочакское температуры более 10°С наблюдаются в слое 0–40 см в начале июня и только к первой декаде августа слой 0–120 см прогревается до активных температур. Летние температуры наблюдались на глубине 20 см к середине июня и сохранялись до начала сентября. В погодных условиях влажного 2013 года температуры более 20°С наблюдаются в поверхностном слое залежи (0 – 10 см) только в течение одной недели (с 27 июня по 8 июля).

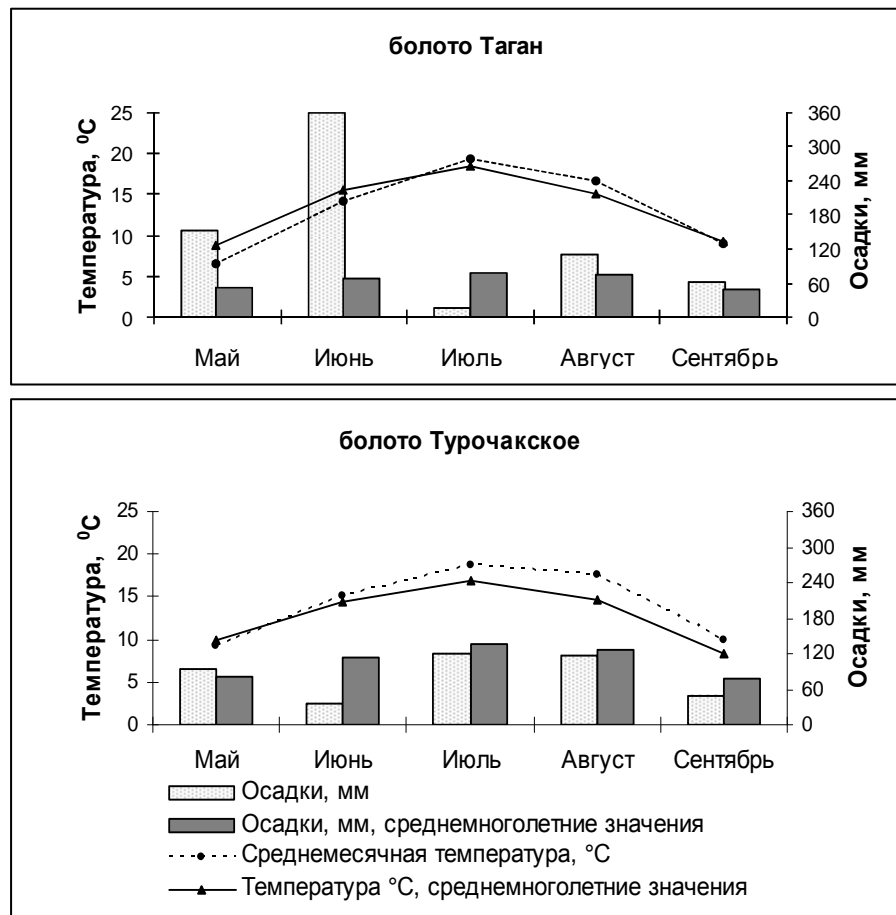


Рис. 2. Погодные условия.

Погодные условия и гидротермический режим обусловили формирование биохимического режима торфяных залежей. Согласно проведенным нами исследованиям, в течение вегетационного периода каталазная активность в торфяной залежи болот Таган и Турочакское изменяется в пределах 5,66–7,32 ед. и 1,12–17,89 ед., соответственно. В ТЗ болот Таган и Турочакское преобладает ферментативный катализ при участии каталазы, а на долю абиотического катализа реакции разложения перекиси водорода приходится, соответственно, 14,5% и 10,4%. Известно, что реакцию разложения перекиси водорода могут осуществлять катализаторы абиогенной природы, в частности каталитической активностью обладают ионы марганца и железа [Зубкова и Карпачевский 1979, с. 117-119; Семиколенных, 2001, с. 90]. В ТЗ болота Турочакское каталазная активность в среднем была ниже в 1,7 раз по сравнению с активностью фермента в ТЗ болота Таган (рис. 3). Исключение составляет верхний слой 0–25 см ТЗ болота Турочакское, где наблюдается максимальное проявление активности каталазы (17,89 ед.). Возможно, невысокие значения каталазной активности в ТЗ болота Турочакское связаны с более низкими показателями рН<sub>сол</sub> в ТЗ (4,36–4,71 ед. рН), которые являются менее благоприятными для действия каталазы. В литературе отмечается, что оптимальный интервал активности каталазы находится в пределах нейтральной и слабощелочной реакции [Савичева и Инишева, 2003, с. 42].

Известно [Савичева, 2003, с. 146-147], что самая высокая активность фермента, как правило, наблюдается в верхних слоях торфяной залежи, которые отличаются более благоприятным водно-воздушным режимом, большим количеством свежих растительных остатков. Ранее проведенные исследования на болотах Турочакское и Таган показали [Добровольская с соавт., 2012, с. 46; Сергеева

с соавт., 2013, с. 132], что именно верхний деятельный слой торфяной залежи характеризуется также и наиболее высокой численностью бактерий, спор грибов, максимальными показателями актиномицетного и грибного мицелия. Но, в отличие от ТЗ болота Турочакское, в ТЗ болота Таган грибной мицелий наблюдался в небольшом количестве. Результаты наших исследований свидетельствуют о том, что активность каталазы на болоте Турочакское снижалась с глубиной в среднем в 6,9 раз. В то же время верхний и нижние слои ТЗ болота Таган, сформированной преимущественно травяными видами торфа, характеризуются практически одинаковой каталазной активностью (рис. 3). Это подтверждает наличие окислительных условий во всей торфяной залежи.

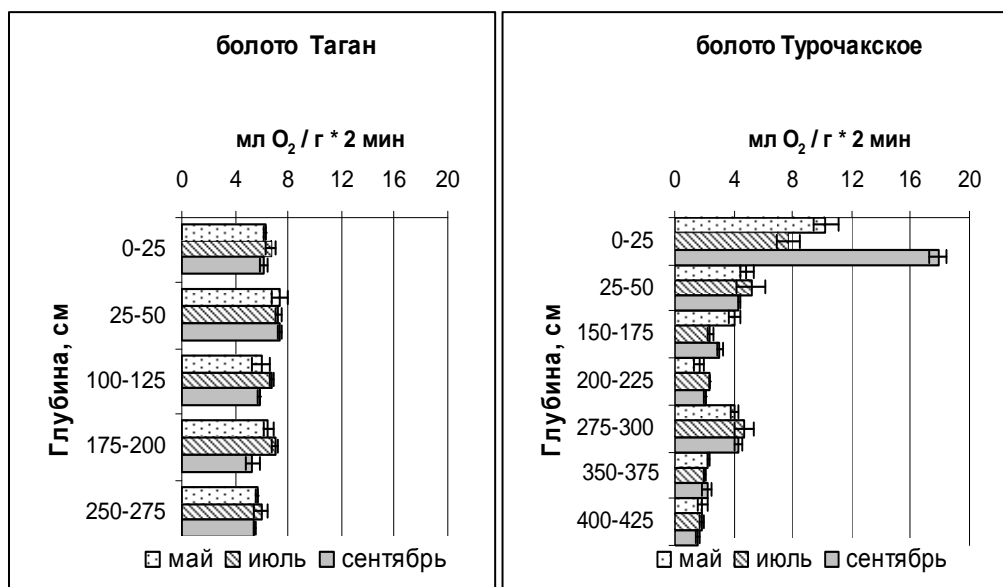


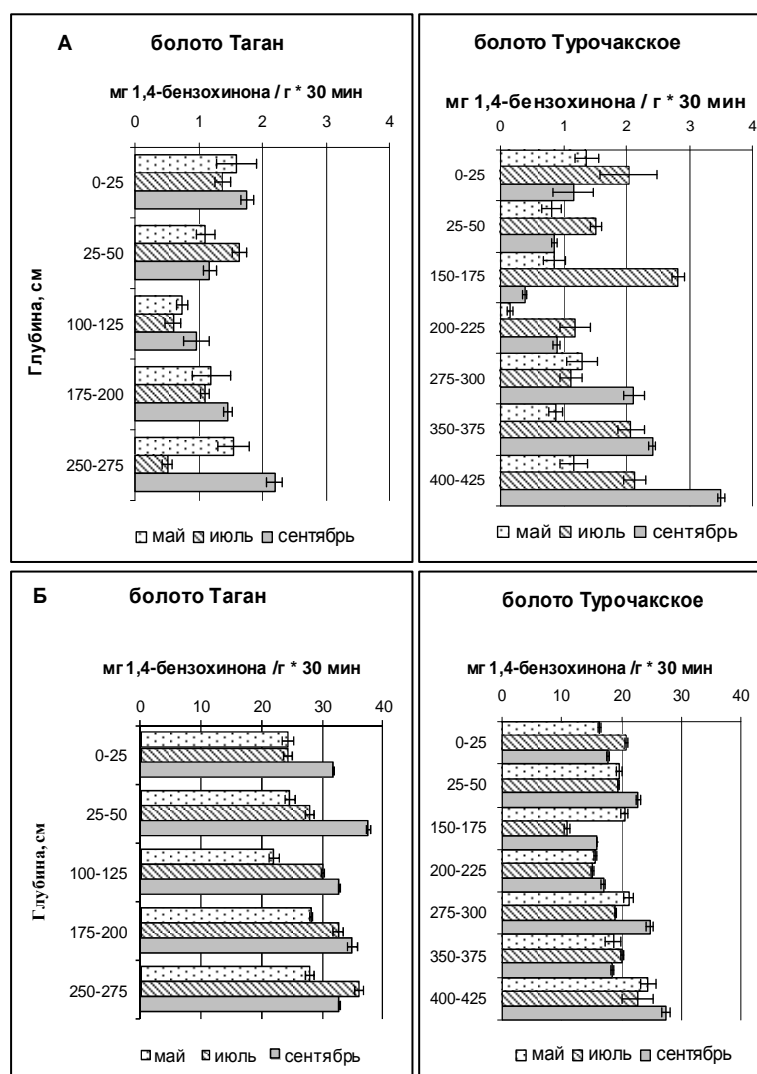
Рис. 3. Динамика каталазной активности в ТЗ, 2013 г.

Активность ферментов в торфяной залежи подвержена сезонной изменчивости, что, прежде всего, обусловлено разными гидротермическими условиями, определяется химическими и физико-химическими свойствами торфов, содержанием органического вещества, жизнедеятельностью микроорганизмов и т.д. [Инишева с соавт., 2007, с. 136-140, 160-163; Ефремова с соавт., 2008, с. 156-157].

Сезонная динамика каталазной активности в ТЗ болота Таган в течение избыточно влажного вегетационного периода проявляется слабо. Проведенные ранее исследования на болоте Таган, показали [Дырин, 2009, с. 123; Порохина и Голубина, 2012, с. 173], что активность каталазы увеличивается, преимущественно, в периоды, которые характеризовались умеренным или недостаточным количеством осадков, при наиболее низких значениях УБВ в ТЗ. В ТЗ болота Турочакское в условиях влажного 2013 года наиболее выраженная сезонная динамика активности каталазы наблюдается только в слоях 0–25 и 150–175 см и характеризуется двухвершинной кривой с максимумом в мае и сентябре (см рис. 3). Июльский минимум активности фермента в слое 0-25 см, возможно, связан с резким увеличением влажности верхнего слоя залежи, вследствие большого количества осадков, выпавших в этот период после засушливого июня, на фоне повышения температуры (свыше 25°C) в этом слое. В целом, полученные результаты по каталазной активности в ТЗ болот Таган и Турочакское сопоставимы с литературными данными, полученными для эвтрофных торфяных залежей болот Западной Сибири [Савичева, 2003, с. 146; Инишева с соавт., 2003, с. 80, 86; Порохина и Голубина, 2012, с. 173].

Рассмотрим активность ферментов полифенолоксидазы и пероксидазы в течение вегетационного периода 2013 года. Исследования показывают, что пределы изменений активности ПФО в ТЗ болот Таган и Турочакское составляют соответственно 0,51–2,19 ед. и 0,16–3,50 ед. (при средних значениях 1,26 и 1,47 ед.) (рис. 4). Данные согласуются с результатами других авторов, полученными для эвтрофных болот [Савичева, 2003, с. 148-149; Инишева с соавт., 2003, с. 87-89]. В залежи болота Турочакское активность ПФО в среднем выше в 1,2 раза, чем в ТЗ болота Таган. Известно [Савичева, 2003, с. 148-149], что активность ПФО связана с содержанием гуминовых кислот, и по мере того, как происходит накопление гуминовых кислот в торфяной залежи и повышение их конденсированности, наблюдается также увеличение активности ПФО. Проведенные

исследования показывают, что большим содержанием гуминовых кислот характеризуется ТЗ болота Турочакское (43,00–56,50 % от органического вещества), по сравнению с ТЗ болота Таган (16,67–18,55 % от органического вещества), что определяет и более высокие показатели ПФО [Ларина с соавт., 2009 с. 55; Инишева с соавт., 2010, с. 80]. Распределение активности ПФО по залежи исследуемых эвтрофных болот неравномерно, что, вероятно, связано как со сменой вида торфа, так и с соотношением фракций в составе органического вещества торфа, а также с деятельностью микроорганизмов. Минимальные значения активности ПФО наблюдаются в средней части ТЗ болот Таган и Турочакское, а самые высокие показатели – в придонных, хорошо разложившихся слоях (степень разложения составляет 50-60%), характеризующихся, соответственно, более высокими показателями гуминовых кислот, а значит, здесь увеличивается и интенсивность процессов гумусообразования.



**Рис. 4.** Динамика полифенолоксидазной (А) и пероксидазной (Б) активности в ТЗ, 2013 г.

Среди исследуемых эвтрофных ТЗ более выраженной сезонной динамикой ПФО характеризуется ТЗ болота Турочакское: в верхней двухметровой части залежи наблюдается летний максимум активности фермента, в самый сухой и теплый период. В то время как в нижней части ТЗ залежи активность ПФО нарастает от мая к сентябрю, по мере ее прогревания. По литературным данным [Sinsabauch, 2010. р. 394], снижение влажности и увеличение аэрации в торфяниках во время сезонных засух или положительно, или нейтрально сказываются на активности ПФО.

Пределы изменения активности пероксидазы в ТЗ болота Таган составляют 21,94–37,55 ед., при среднем значении 29,8 ед. В ТЗ болота Турочакское активность ПДО в среднем в 1,5 раза ниже (10,95–27,48 ед., при среднем значении 19,47 ед.). Общей закономерностью для ТЗ исследуемых болот является то, что активность ПДО по сравнению с верхним слоем 0–25 см выше в глубоких,

анаэробных слоях, где отмечаются устойчивые восстановительные условия и пониженные температуры. Увеличение активности ПДО с глубиной отмечается и в других работах [Инишева с соавт., 2007, с. 140, 163; Szajdak et al., 2011. p.74; Порохина, Голубина, 2012 с. 174].

Динамика активности ПДО отчетливо выражена в ТЗ болота Таган, и характеризуется более высокими значениями в осенний период, за исключением придонного слоя, где активность фермента выше летом. В ТЗ болота Турочакское максимум активности пероксидазы наблюдается также преимущественно, осенью, за исключением отдельных слоев (0–25 и 150–175 см).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разные условия торфообразования эвтрофных болот Таган и Турочакское определили различную активность и распределение по торфяной залежи оксидоредуктаз, принимающих активное участие в процессах окисления и гумификации органического вещества. Среди исследуемых объектов активность каталазы и пероксидазы выше в малозольных, высокоразложившихся травяных торфах болота Таган соответственно в среднем в 1,7 и 1,5 раза. В то же время, самыми высокими показателями полифенолоксидазной активности характеризуется торфяная залежь болота Турочакское, сложенная, преимущественно, древесными и древесно-травяными торфами, которые имеют более высокую зольность, степень разложения и содержание гуминовых кислот.

Нижние слои торфяных залежей болот Таган и Турочакское отличаются большей активностью пероксидазы (по сравнению с верхним слоем 0-25 см), что свидетельствует об активном течении в анаэробных слоях торфяной залежи процессов гумификации органического вещества. Таким образом, процессы гумусообразования протекают по всей глубине торфяной залежи болот Таган и Турочакское.

Наблюдения за сезонной динамикой активности оксидоредуктаз в погодных условиях 2013 года показали, что наиболее чувствительными к изменениям гидротермических условий в торфяной залежи оказались ферменты ПФО и ПДО, особенно в залежи болота Турочакское. В верхней двухметровой части торфяной залежи болота Турочакское активность полифенолоксидазы увеличивается в сухой, теплый летний период, а в нижней части залежи активность фермента нарастает от мая к сентябрю. Для пероксидазы в торфяных залежах болот Таган и Турочакское отмечается, преимущественно, осенний максимум активности.

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (госзадание ТГПУ № 174). Авторы выражают признательность сотрудникам лаборатории агроэкологии за проведение полевых исследований.

## ЛИТЕРАТУРА

- Гулько А.Е., Хазиев Ф.Х. 1992. Фенолоксидазы почв: продуцирование, иммобилизация, активность // Почвоведение. № 11. С. 55-67.
- Добровольская Т.Г., Инишева Л.И., Головченко А.В., Сергеева М.А. 2012. Микробные сообщества верховых и низинных торфяно-болотных экосистем // Материалы IV Международной конференции, посвященной памяти Ю.А. Львова (Томск, 28-30 ноября 2012). Томск. С. 46-50.
- Дырин В.А. 2009. Активность каталазы в торфе целинного и рекультивируемого участков болотной экосистемы низинного типа // Вестник Томского государственного педагогического университета. № 6 (84). С. 121-125.
- Ефремова Т.Т., Овчинникова Т.М., Ефремов С.П. 2008. Окислительно-восстановительное состояние лесных торфяных почв осушенных болот Западной Сибири // Вестник экологии, лесоведения и ландшафтоведения. № 8. С. 149-158.
- Зубкова Т.А., Карпачевский Л.О. 1979. Каталитическая активность почвы // Почвоведение. № 6. С.115-122.
- Инишева Л.И., Голубина О.А. 2010. Болотообразовательный процесс. Проведение полевых исследований на болотных стационарах. Томск : Изд-во ТГПУ. 67 с.
- Инишева Л.И., Виноградов В.Ю., Голубина О.А., и др. 2010. Болотные стационары Томского Государственного педагогического университета. Томск: Изд-во ТГПУ. 148 с.
- Инишева Л.И., Ивлева С.Н., Щербакова Т.А. 2003. Руководство по определению ферментативной активности торфяных почв и торфов. Томск: Изд-во Том. Ун-та. 122 с.
- Инишева Л.И., Порохина Е.В., Аристархова В.Е., Боровкова А.Ф. 2007. Выработанные торфяные месторождения, их характеристика и функционирование. Томск: Изд-во ТГПУ. 225 с.
- Инишева Л.И., Шурова М.В., Ларина Г.В., Хмелева И.Р., Инишев Н.Г., Смирнов О.Н. 2011. Торфяные болота Северо-Восточной части территории Горного Алтая. // Известия Бийского отделения Русского географического общества. Вып. 32. / отв. Ред. В.Н. Коржев. Бийск: АГАО им. В.М. Шукшина. С. 59-65.
- Ларина Г.В., Казанцева Н.А., Шурова М.В. 2009. Некоторые характеристики низинного торфа Горного Алтая // Материалы международной заочной научно-практической конференции «Проблемы изучения и использования торфяных ресурсов Сибири» (Томск, 24-27 августа 2009). Томск. С. 53-57.

- Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слука З.А., Толпышева Т.Ю., Шведчикова Н.К. 2001. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула : Гриф и К°. 584 с.
- Михайловская, Н.А. Миканова О. 2008. Взаимосвязь ферментативной активности с содержанием гумуса в дерново-подзолистой супесчаной почве // Вести Национальной Академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. № 4. С. 49-53.
- Порохина Е.В., Голубина О.А. 2012. Ферментативная активность в торфяных залежах болота Таган // Вестник Томского государственного педагогического университета. № 7 (122). С. 171-176.
- Савичева О.Г., Инишева Л.И. 2003. Биохимическая активность торфов разного ботанического состава // Химия растительного сырья. № 3. С. 41-50.
- Савичева О.Г. 2003 Ферментативная активность низинных торфяных почв // Болота и биосфера: Материалы Первой Научной Школы (23-27 сентября 2002 г.). Томск: Изд-во ТГПУ. С.143-151.
- Семиколенных А.А. 2001. Каталазная активность почв Северной тайги (Архангельская область) // Почвоведение. № 1. С. 90-96.
- Сергеева М.А., Порохина Е.В., Голубина О.А. 2013. Биологическая активность торфяной залежи болота Турочак // Вестник Томского государственного педагогического университета. № 8 (136). С.131-136.
- Хазиев Ф.Х. 2005. Методы почвенной энзимологии. М.: Наука, 2005. 252 с.
- Щербакова. Т.А. 1983. Ферментативная активность и трансформация органического вещества. Минск: Наука и техника. 221 с.
- Якушев А.В., Кузнецова И.Н., Благодатская Е.В., Благодатский С.А. 2014. Зависимость активности полифенолпероксидаз и полифенолоксидаз в современных и погребенных почвах от температуры // Почвоведение. № 5. С. 590-596.
- Freeman C., Ostle N.J., Fenner N., Kang H. 2004. A regulatory role for phenol oxidase during decomposition in peatlands // Soil Biology and Biochemistry. 36. P.1663–1667.
- Jassey V.E.J. Chiapusio G., Gilbert D., Toussaint M.L., Binet P. 2012. Phenoloxidase and peroxidase activities in Sphagnum-dominated peatland in a warming climate // Soil Biology & Biochemistry. 46. P. 49-52.
- Карягіна Л.А., Михайлоуская Н.А. 1986. Вызначэнне актыўнасці поліфенолаксідазы і пераксідазы у глебе / Весцы АН БССР. Серыя сельскагаспадарчых навук. № 2. С. 40-41.
- Sinsabaugh R.L. 2010. Phenol oxidase, peroxidase and organic matter dynamics of soil. // Soil Biology & Biochemistry. 42. P. 391-404.
- Szajdak L.W., Inisheva L.I., Meysner T, Gaca W., Styła K. 2011. Activities of Enzymes Participating in Redox potential in the two depths of Tagan peatland // Tomsk State Pedagogical University Bulletin. 8 (110). P. 70-77.

#### ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- ТЗ – торфяная залежь;  
УБВ – уровень болотных вод;  
ПФО – полифенолоксидаза;  
ПДО – пероксидаза.



## OXIDOREDUCTASE ACTIVITIES IN EUTROPHIC PEAT BOGS

*Porohina E.V., Golubina O.A.*

*Tomsk State Pedagogical University, Tomsk, Russia*

*The results of enzymatic activity in peat deposits of eutrophic bogs are described.*

*The formation of bogs depends upon the peat formation, the botanical composition, chemical properties of peat materials and other indicators (marsh water levels, the deposition temperature and etc.) The Tagan Bog is located in Russia, in the Tomsk region, in the hollow of the Tom River ancient outflow. The source of water and mineral nutrition is considered to be precipitation and slope water. The underlying soil or subsurface geological materials are sands, sandy loams and silty clay. The peat deposits of the Tagan Bog are characterized by herbaceous and woody-herbaceous peats with a high degree of the decomposition. The capacity of peat deposits at the observation point is 3 m in thickness with an age of  $3445 \pm 50$  years.*

*The Turochakskoye Bog is located in Russia, in the Altai Republic and is fully inundated. The main source of water and mineral nutrition is surface wastewater. The eutrophic type of peat deposits is recognized as a dominate one. The capacity of peat deposits at the observation point is 4,7 m in thickness with an age of  $7060 \pm 90$  years. The peat deposits of the Tagan Bog have been found to be distinct in a higher activity of catalase and peroxidase.*

*The catalase activity in the peat deposits of the Tagan and Turochakskoye Bogs varies in the range of 5,66-7,32 points and 1,12-17,89 points, respectively. The catalase activity is distributed almost evenly throughout the whole thickness of the peat deposits of the Tagan Bog. The enzymatic activity in the peat deposits of the Turochakskoye Bog decreases with depth. Peroxidase activity changes in both the peat deposits of the Tagan and Turochakskoye Bogs in the range of 21,94-37,55 points and 10,95-27,48 points, respectively. The highest peroxidase activity is indicated in the deep layers of peat deposits of both bogs (as compared with the upper layer at a depth of 0-25 cm). Changes in polyphenol oxidase activities in the peat deposits of the Tagan and Turochakskoye Bogs vary in the range of 0,51-2,19 points and 0,16-3,50 points, respectively. The polyphenol oxidase activity is 1,2 times higher in the peat deposits of the Turochakskoye Bog. A seasonal dynamics of the polyphenoloxidase and peroxidase enzymatic activities in the peat deposits of both bogs is significantly dependent on the properties of the weather conditions.*

*A more pronounced seasonal dynamics of polyphenol oxidase is typical of the peat deposits of the Turochakskoye Bog. In the upper two-meter part of the deposits have been observed summer maximum enzymatic activities. The polyphenol oxidase activity increases in the lower part of the deposits from May till September inclusive when it warms up.*

*In the peat deposits of the Tagan and Turochakskoye Bogs have been observed autumn maximum peroxidase activities in the case with a seasonal variation. In the peat deposits of the Tagan Bog the catalase activity varies slightly during the excessively wet vegetation period. A pronounced catalase activity in the peat deposits of the Turochakskoye Bog in humid period of the year 2013 was observed only at a depth of 0-25 cm and at 150-175 cm which is characterized by two intense peaks in May and September.*

*The research was carried out with the support of the Department of Education and Science (government order TSPU № 174).*

**Key words:** *eutrophic bog, peat deposit, enzymes, oxidoreductases, biochemical activity*

Поступила в редакцию: 29.01.2014  
Переработанный вариант: 12.05.2014