

УДК 631.48

ДИНАМИКА БИОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ В ГЕОХИМИЧЕСКИ СОПРЯЖЕННЫХ ЛАНДШАФТАХ ОЛИГОТРОФНОГО БОЛОТА

Л. И. Инишева¹, Л. Шайдак², М. А. Сергеева¹

¹Биолого-химический факультет Томского государственного педагогического университета,
634021, Томск, ул. Киевская, 60

²Научно-исследовательский центр сельскохозяйственной и лесной экологии Польской академии наук,
60-809, Польша, Познань, ул. Буковска, 19
e-mail: agroecol@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.05.2014 г.

Изучена биохимическая активность в олиготрофных торфяных залежах сопряженных ландшафтов на отрогах Васюганского болота. Установлено, что биохимические процессы разной направленности проявляются в торфяном профиле до подстилающих пород. Степень проявления их активности различна. Обосновывается положение, что понятие “деятельного и инертного слоя” относится только к водному режиму торфяных болот. Отмечено, что степень биохимической активности определяется физическими свойствами и биохимическими процессами, в результате которых под переувлажненным поверхностным слоем торфяных залежей формируется микрозоичная анаэробно-аэробная среда, содержащая газовую фазу, в том числе кислород. Делается заключение, что органическая и минеральная части торфяных болот – субстантивно-функциональная система, представляющая собой генетически единый торфяной профиль с фиксированной в нем историей развития.

Ключевые слова: Васюганское болото, торфяная залежь.

DOI: 10.7868/S0032180X16040055

ВВЕДЕНИЕ

За последнее время появилось много работ, касающихся кинетики биохимических процессов в торфяных залежах (ТЗ) болот, что значительно продвинуло наше представление и позволило прийти к выводу, что торфяные почвы – это генетически единый торфяной профиль до подстилающей породы с фиксированной историей развития [26, 28]. Верхний (деятельный) слой профиля торфяных болот правильнее рассматривать как фрагмент торфяного (почвенного) профиля современной стадии почвообразования. Степень же проявления биохимических процессов в торфяном профиле определяется ботаническим составом торфов и возрастом каждого слоя [7, 9, 10, 15]. Продолжая эту тему, в статье анализируются особенности биохимического и окислительно-восстановительного состояния олиготрофных торфяных почв, расположенных в системе катены.

Торфяные болота, особенно верхового типа, характеризуются большим содержанием растительных остатков. При образовании торфа рас-

тения после отмирания попадают в сильно увлажненную среду и частично разлагаются. При этом образуются вещества твердых высокополимеров целлюлозной природы и другие высокомолекулярные продукты распада разного состава. Все это переплетается (включая минеральные вещества и водный раствор низкомолекулярных веществ), образуя в ТЗ макро- и микроструктуры. Микроструктуры торфа дают надмолекулярные образования соединений, которые могут переходить в ассоциаты и образовывать структуры разной компактности. Например, в верховых залежах плотность сложения составляет менее 0.1 г/см³, а в низинных до 0.4 г/см³. Также важно учитывать, что растения-торфообразователи отличаются друг от друга по химическому составу, что и обуславливает неоднородность ТЗ и ее режимов.

Цель работы – выявление особенностей формирования биохимического режима и аэробно-анаэробных условий в торфяных залежах олиготрофного болота.

Таблица 1. Углеродный баланс в геохимически сопряженных ландшафтах олиготрофного болота, г С/м² в год

Биогеоценоз	Поступление	Выделение	Депонирование
Сосново-кустарничково-сфагновый с высокой сосной (п. 2)	267.3	97.6	169.7
Сосново-кустарничково-сфагновый с низкой сосной (п. 3)	235.2	66.9	168.3
Среднее	251.2	82.2	169.0

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на катене (в пределах отрогов Васюганского болота), представляющей собой по болотному районированию [17] эталонную для бакчарского болотного округа систему олиготрофно сопряженных биогеоценозов: сосново-кустарничково-сфагновый с низкой сосной (низкий рям, автономная часть, пункт 3 (п. 3)), сосново-кустарничково-сфагновый с высокой сосной (высокий рям, трансаккумулятивная часть, пункт 2 (п. 2)). Профиль протяженностью 800 м закрепляли реперами и выполняли нивелировку поверхности. Более подробно физико-географическая характеристика объекта приведена ранее [24].

Торфяная залежь низкого рьяма достигает мощности 3 м и имеет смешанный топяной вид строения. В основании залежи лежит слой низинного торфа, перекрытый 1.5 м слоем верхового торфа. На контакте низинного и верхового пластов располагается тонкая прослойка переходного древесно-сфагнового торфа. Высокий рям представляет собой окраину верхового водораздельного массива. Торфяная залежь топяного типа имеет мощность 1 м. В основании залежи лежит слой низинного осокового торфа высокой степени разложения, затем идут переходные виды торфов: древесно-сфагновый и древесно-травяной. Верхний слой представлен сосново-пушицевым торфом. В геохимически сопряженных ландшафтах олиготрофного типа развитие болота начиналось с эвтрофной стадии с господством древесно-травяной растительной ассоциации, которая постепенно сменилась олиготрофной сосново-кустарничково-сфагновой ассоциацией. В каждом биогеоценозе ландшафтного профиля изучали уровни болотных вод каждую декаду месяца. Наблюдения за окислительно-восстановительным и температурным режимами проводили по 10-сантиметровым слоям до глубины 1 м с помощью стационарно составленных датчиков. Групповой химический состав органического вещества (ОВ) торфов исследовали по методу Инсторфа [3]. Содержание железа в гуминовых кислотах определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа.

Для изучения биологической активности проводили отбор проб торфа торфяным буром в соответствии с ботаническим составом. Общую численность и биомассу микроорганизмов определяли прямым методом с использованием люминесцентной микроскопии. При количественном учете клеток почвенных бактерий и мицелия актиномицетов препараты окрашивали водным раствором акридина оранжевого, для окраски мицелия и спор грибов применяли калькофлуор белый [8, 18].

Численность аммонификаторов и амилолитиков изучали классическими методами путем высева почвенных суспензий на диагностические среды: мясо-пептонный агар и крахмало-аммиачный агар [18].

Определение респирометрических микробиологических показателей (базального дыхания, микробной биомассы, микробного метаболического коэффициента) проводили методом субстрат-индуцированного дыхания на газовом хроматографе Кристалл-5000.1 [1, 21].

Из показателей ферментативной активности определяли активность каталазы газометрическим методом в модификации Круглова и Пароменской [14] и полифенолоксидазную активность — методом Карягиной и Михайловской [16]. Каталазную активность выражали в мл О₂/г за 2 мин, полифенолоксидазную активность — в мг 1,4-п-бензохинона/30 мин.

Статистическую обработку данных выполняли при помощи программы Microsoft Office Excel с доверительным интервалом 0.95. Все лабораторные исследования проводили в Испытательной лаборатории Томского государственного педагогического университета (№ РОСС RU.0001.516054).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В составе катены исследованные участки, расположенные в верхней (п. 3) и нижней (п. 2) ее частях, взаимозависимы, что позволяет проследить балансовые и миграционные потоки. Кроме того, торфяная залежь п. 2 является продолжением торфяного профиля п. 3 в процессе наступления болота на прилегающую территорию. Активное раз-

вите заболачивания на исследуемой территории подтверждается преобладанием аккумуляции углерода в среднем по катене в ТЗ (169.0 гС/м^2 в год, табл. 1). Более активно процесс протекает в п. 2.

Природные процессы, происходящие в ТЗ этих пунктов, существенно различаются. Высокий рям (п. 2) расположен на окраине болота и представляет трансаккумулятивную часть олиготрофного болота. В эту часть направлены потоки с автономной части катены (п. 3), и протекающие здесь биохимические процессы свидетельствуют об активности болотообразовательного процесса. Например, несмотря на молодой возраст ТЗ высокого рьяма, она характеризуется наибольшей степенью разложения – 35–55%, и в климатических условиях современного геологического периода процесс формирования залежи проходит с большой скоростью. Изначально заболачивание здесь началось сразу с переходной стадии и после образования 75-сантиметрового слоя (что составляет примерно 700 лет) процесс торфообразования перешел в олиготрофную стадию. Надо полагать, что этому благоприятствовало и положение в ландшафте, позволяющее аккумулировать мигрирующие потоки поверхностных и болотных вод из поверхностного слоя ТЗ п. 3. В результате в торфах трансаккумулятивной части катены отмечается увеличение содержания легкогидролизуемых веществ и соответственно зольности (в п. 2 она имеет экстремальные значения 5.2–9.8%, а в п. 3 в слое 0–100 см – 2.0–2.7%), что свидетельствует о наличии латерального сноса подвижных веществ в этом направлении. В направлении к трансаккумулятивной части катены мигрируют макро- и микроэлементы в свободном и в связанном с гуминовыми кислотами состоянии. Содержание железа в гуминовых кислотах торфяной залежи автономной части катены составляет 0.10–0.25%, а в трансаккумулятивной части достигает 1.25%. Это прослеживается и в динамике содержания гуминовых кислот. В метровом слое низкого рьяма оно изменяется от 19.8 до 25.2%, а в этом же слое высокого рьяма составляет 22.7–39.8%. Все это вместе стимулирует ускорение процесса формирования олиготрофной залежи в п. 2, практически минуя эвтрофный тип развития [24].

Химические свойства сопряженных ландшафтов олиготрофного болота оказали влияние на его биологическую составляющую. Проведенные многолетние исследования динамики микрофлоры методом посева на питательные среды показали, что и аммонификаторы, и амилोलитики, разрушающие ОВ торфов, имеют тренд к увеличению численности в нижних слоях ТЗ, характеризующихся высоким уровнем гумификации, но их большое содержание отмечается только в случае длительной истории формирования торфяного профиля. Как пример, приведем среднесуточные показатели, свидетельствующие, что актив-

ность аммонификаторов характеризуется наибольшими значениями в п. 3, возраст торфяного профиля которого 5200 ± 180 лет (СОАН-8041), в то время как в п. 2 – 650 ± 80 (СОАН-8042). Вместе с тем, верхний слой п. 3 (0–50 см) по содержанию аммонификаторов практически идентичен всему профилю п. 2. Такая закономерность наблюдается и по амилолитикам в разное время вегетационного периода, что свидетельствует о равнозначности процессов, происходящих в последнее тысячелетие в метровом слое обеих ТЗ.

Однако более представительными в разрешении вопроса о состоянии микроорганизмов в торфяных залежах были бы показатели активности микробиологических процессов. Поэтому были проведены исследования микробных сообществ в ТЗ пунктов 2 и 3 люминесцентно-микроскопическим методом, который позволяет выявить как активный компонент микромицетного комплекса – мицелий, так и неактивный компонент – споры (табл. 2). Бактерии в п. 2 преобладают в слое 0–25 см, но их содержание уменьшается в нижней части профиля 75–100 см. В п. 3 уменьшение числа бактерий наблюдается на глубине 200–250 см, где средние значения оказываются равными слою 75–100 см п. 2 (соответственно 13.3 и 12.9 млрд/г). Аналогичная закономерность отмечается и по плотности грибных спор. Активный компонент микромицетного комплекса – грибной мицелий приурочен к верхним слоям, учитывая, что грибы строго аэробные организмы, и только немногие виды могут развиваться на больших глубинах. Вместе с тем, и на глубине 200–250 см в п. 3 грибной мицелий присутствует, но его активность в 30 раз меньше, чем в поверхностном слое. Такая же закономерность прослеживается и в распределении актиномицетного мицелия в торфяном профиле. Многие авторы объясняют разными причинами активность микрофлоры в глубоких слоях, в том числе и проникновением в глубину торфяной залежи мигрирующих вод, насыщенных кислородом [11]. Но процесс миграции вод в торфяных залежах довольно длительный (10–20 лет) [4], а изменение активных компонентов микромицетного комплекса можно наблюдать и в течение вегетационного периода.

Например, длина актиномицетного мицелия имеет наибольшие значения в верхней части (0–50 см) ТЗ, но и на глубине 3 м его активность остается высокой практически на протяжении всего вегетационного периода (рис. 2). Здесь активность актиномицетного мицелия связана с гидролитической активностью и участием в процессе минерализации ОВ торфов. Кроме того, известно, что отдельные актиномицеты способны функционировать при содержании кислорода в воздухе 2% и менее. Вместе с тем, лучшая обеспеченность ТЗ питательными и другими элемента-

Таблица 2. Экстремальные и средневегетационные показатели активности микробной биомассы, над чертой – экстремальные значения за несколько лет, под чертой – средневегетационное значение, ± доверительный интервал

Глубина, см	Бактерии, млрд/г	Мицелий, м/г		Споры грибов, млн/г
		актиномицетный	грибной	
Пункт 2				
0–25	36.1–61.3	308.7–445.7	16.7–30.1	29.3–60.3
	51.3 ± 6.6	386.9 ± 20.1	25.0 ± 3.5	48.8 ± 5.7
25–50	8.1–48.6	96.4–205.4	5.4–11.3	14.7–29.4
	18.4 ± 4.5	122.4 ± 11.1	9.3 ± 1.3	21.9 ± 3.3
75–100	6.2–35.9	46.3–96.3	0–3.1	5.3–13.0
	12.9 ± 2.6	62.6 ± 5.8	2.1 ± 0.8	9.1 ± 2.7
Пункт 3				
0–50	35.2–59.3	188.9–556.3	30.2–41.6	33.6–64.3
	12.9 ± 2.6	460.5 ± 14.6	35.3 ± 2.5	54.3 ± 8.7
100–150	18.6–54.3	186.3–369.4	2.3–28.1	24.8–51.3
	33.0 ± 5.0	274.4 ± 10.6	12.3 ± 1.5	40.3 ± 7.4
200–250	3.8–44.1	44.1–109.5	0–5.7	3.9–12.9
	13.3 ± 2.3	55.0 ± 3.1	1.2 ± 0.5	7.7 ± 1.3

ми в п. 2 не явилась причиной увеличения активности актиномицетного мицелия, уже на глубине 25–50 см отмечается снижение его активности примерно в 2 раза. И только в сентябре в этом слое активность актиномицетного мицелия вновь увеличивается. Таким образом, процесс преобразования ОВ торфов микрофлорой в течение вегетационного периода носит пульсирующий характер, независимо от общего переувлажнения торфяного профиля (уровни болотных вод не опускаются ниже 40 см). Причем отмечается это и для аэробной, и анаэробной микрофлоры.

Специфической особенностью водного режима ТЗ болотных экосистем является состояние затопления. Несмотря на это, в ТЗ всегда присутствует свободный кислород, который поступает в нее, в том числе и в результате происходящих в ТЗ биохимических процессов.

Надо полагать, ТЗ в своем составе практически всегда имеют газовую фазу, содержащую кроме углеродных парниковых газов (CO_2 , CH_4), а также свободный кислород. Известно, что содержание кислорода в ТЗ изменяется от 65–80 до 100–150 г/м³ или 5–11% по объему [20].

Среди других факторов, подтверждающих образование кислорода в ТЗ, рассмотрим динамику активности каталазы (рис. 3). Под ее воздействием происходит расщепление перекиси водорода, образующейся в результате других реакций, на воду и свободный кислород. В трехметровой ТЗ п. 3 динамика активности каталазы проявляется в не-

больших значениях 2.4–4.4 мл O_2 /г за 2 мин (низкая активность), в то время как в 1 м слое п. 2 изменялась в пределах 3.0–11.8 мл O_2 /г за 2 мин и характеризуется как средняя. Такая активность фермента объясняется особенностями химического состава ТЗ трансаккумулятивной части катены, приобретенными в условиях латеральной миграции веществ, и положением уровня болотных вод. Эти условия и создают в ТЗ п. 2 переменные аэробно-анаэробные условия, которые обеспечивают прогрессирующее заболачивание территории.

Рассмотрим динамику полифенолоксидазы за вегетационный период этого же года. Теоретически при высокой обводненности полифенолоксидазная активность снижается, так как окисление фенолов может происходить только в присутствии кислорода [19]. Высказывается мнение [23, 25], согласно которому конденсированные формы фенольных соединений, накапливающиеся в анаэробных условиях, являются ингибиторами различных энзимов. Экспериментально доказано, что при усилении аэрации фенолоксидазная активность увеличивается в 7 раз. Наблюдаемые высокие значения полифенолоксидазной активности в исследуемой ТЗ также свидетельствуют об отсутствии здесь облигатных анаэробных условий (рис. 4).

Таким образом, в торфяном профиле формируется микромозаичность аэробно-анаэробных условий. Наличие кислорода в затопленной ТЗ объясняется протекающими здесь биохимическими процессами, ботаническим составом тор-

Таблица 3. Окислительно-восстановительный потенциал

Глубина, см	Вид торфа, тип залежи	$\frac{R}{A}$	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Пункт 2							
10	Сосново-пушицево-сфагновый, В	$\frac{45}{6.5}$	615	644	564	621	342
20	»	$\frac{45}{6.5}$	744	794	749	804	742
40	»	$\frac{45}{6.5}$	-135	351	416	256	164
80	Древесно-пушицевый, П	$\frac{55}{8.0}$	-158	-168	-175	-167	-180
100	»		-168	-174	-181	-171	-182
Пункт 3							
10	Фускум торф, В	$\frac{5}{3.7}$	667	642	708	679	609
20	»	$\frac{5}{2.7}$	391	253	533	576	403
40	»	$\frac{5}{2.7}$	-75	-80	-71	-59	-62
60	Медиум торф, В	$\frac{5}{2.1}$	-88	-92	-84	-72	-74
100	»	$\frac{5}{2.1}$	-46	-47	-45	-35	-38
160	Сосново-пушицево-сфагновый, П	$\frac{50}{6.0}$	-117	-121	-112	-98	-98
200	Осоковый, Н	$\frac{45}{4.3}$	-122	-122	-108	-91	-89
250	»	$\frac{45}{4.3}$	-160	-171	-176	-168	-179
300	Осоково-папоротниковый, Н	$\frac{45}{10.1}$	-178	-187	-192	-184	-196

Примечание. R – степень разложения, %; A – зольность, %; вид торфа: В – верховой, П – переходный, Н – низинный.

фов, макро- и микроструктурой залежи. В результате затопление с поверхности не создает obligatно анаэробных условий в ТЗ. Каждый нарастающий слой, оказываясь под экранирующим водным слоем, в силу физических свойств сохраняет кислород в микроагрегатах и далее производит его еще за счет биохимических процессов, что обосновывается и другими авторами [5]

В целом весь процесс образования ТЗ можно представить следующим образом: торфяной профиль нарастает, вместе с ним поднимается уровень болотных вод с концентрацией элементов, накопленных в подстилающей породе. Элементы по профилю торфяных почв распределяются с постепенным уменьшением их концентрации ближе к поверхности, вследствие аккумулятивного направления торфообразования вверх (биогенная форма миграции элементов). Поэтому верхний

слой ТЗ соответствует современным условиям, а нижний – предшествующим стадиям развития. И каждый раз под сплошным поверхностным слоем влаги формируется часть ТЗ, содержащая газовую фазу, в том числе и кислород. Каждый слой ТЗ, различающиеся по ботаническому составу, соответственно характеризуются индивидуальным газовым и биохимическим режимом. Таким образом, образующаяся ТЗ часто представляет собой “слоеный пирог”, что и создает трудность при использовании торфа глубокой переработки в производстве.

В качестве примера рассмотрим взаимосвязи величины микробной биомассы и ее дыхательной активности (метод субстрат-индуцированного дыхания), как достоверных показателей активности функционирующей микрофлоры (рис. 5) [1, 22, 27]. Наибольшие значения мик-

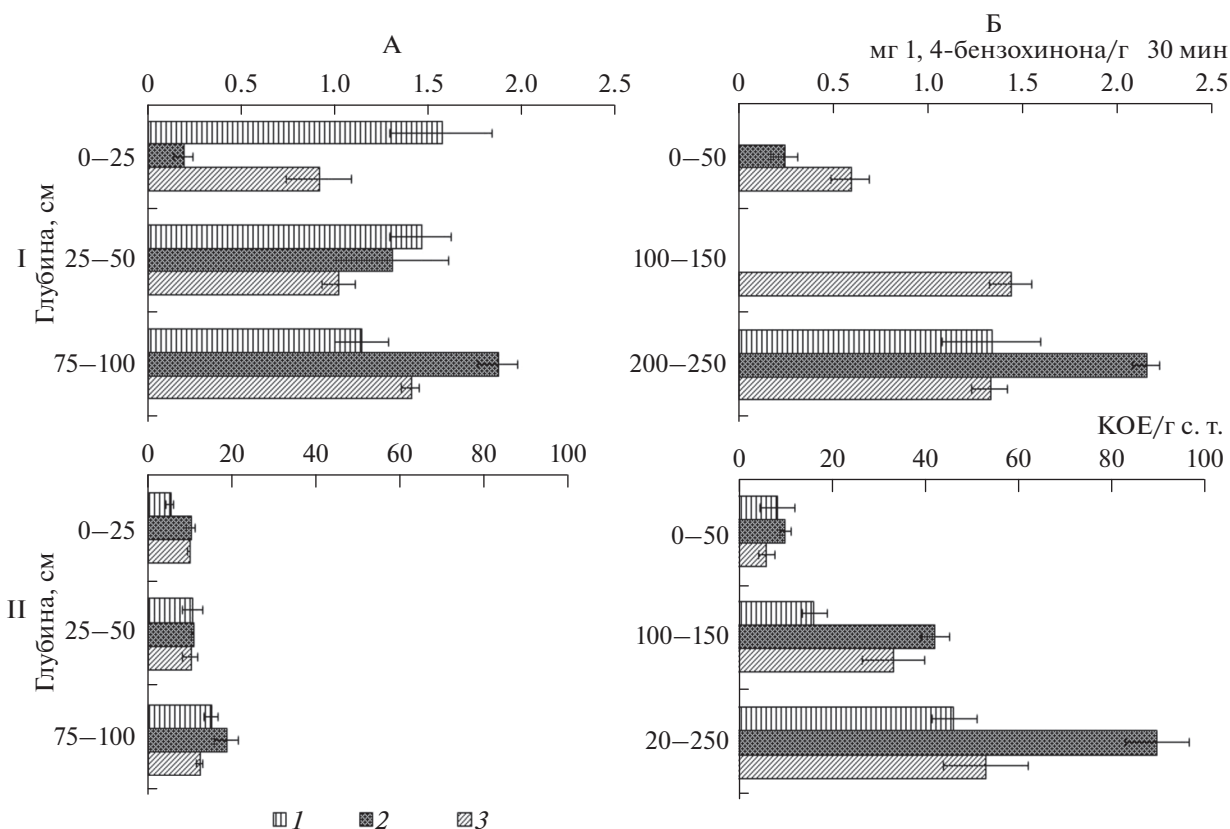


Рис. 1. Динамика аммонификаторов (I) и актиномицетного мицелия (II) в торфяных залежах пунктов 2 (А) и 3 (Б), среднеголетние показатели за май (1), июль (2), сентябрь (3).

робной массы отмечены в поверхностном слое низкого и высокого рьяма (в среднем для вегетационного периода 4.37 и 7.10 мкг/г соответственно). С глубиной содержание биомассы снижается примерно в 3 раза. Скорость базального дыхания микроорганизмов с глубиной изменяется незначительно. Таким образом, в поверхностных слоях трансформация ОВ торфов протекает за счет деятельности аэробной микрофлоры, а на глубине в процессах трансформации участвуют анаэробные и факультативно-анаэробные микроорганизмы.

При увеличении мощности ТЗ окислительно-восстановительные условия на глубине смещаются в сторону преобладания анаэробных процессов. Поэтому в этом направлении отмечается снижение биологической активности микрофлоры, в том числе и непосредственно функционирующей, определяемой методом субстрат-индуцированного дыхания.

Из рассмотренных выше показателей ТЗ следует, что понятие активного и неактивного слоев (также по разным авторам деятельный и недейтельный; акротелм и катотелм) не может быть применимо к биохимическому и газовому режимам ТЗ, так как изменения химического состава

торфообразователей в факультативно анаэробном слое не прекращаются. С глубиной в одних и тех же видах торфов уменьшается содержание водорастворимых и легкогидролизующих веществ, а содержание гуминовых кислот увеличивается. Эти явления не могут быть случайными, так как образование последних происходит за счет процессов превращения некоторых компонентов легкогидролизующих веществ. Это еще раз подчеркивает, что в глубине ТЗ вместо микробиологических процессов аэробного характера (в основном гидролиз) продолжают развиваться другие биохимические процессы, способствующие трансформации ОВ торфов в направлении гумификации. Поэтому понятие “деятельного и инертного слоя”, надо полагать, относится только к поведению водного режима торфяных болот [6, 12].

Обратимся к среднеголетним параметрам окислительно-восстановительных условий в ТЗ катены, динамика которых следует за динамикой уровня болотных вод (табл. 3). Величина окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) выше нуля поддерживается только в слое, освобожденном от гравитационной влаги при снижении уровня болотных вод. Нижняя часть ТЗ по-

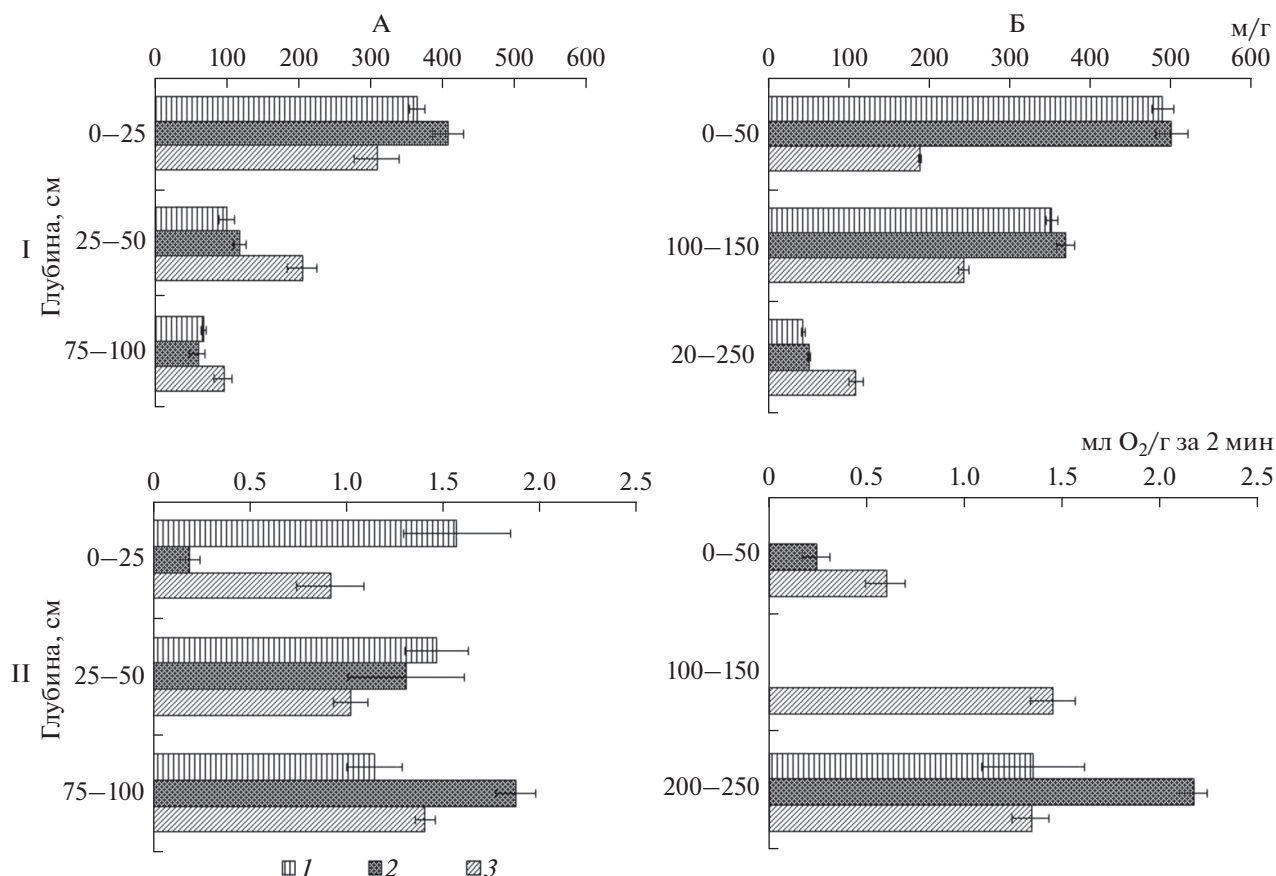


Рис. 2. Динамика общей каталазной (I) полифенолоксидазной (II) активности в торфяных залежах пунктов 2 (А) и 3 (Б) за май (1), июль (2), сентябрь (3) 2013 г.

стоянно характеризуется отрицательными значениями ОВП. Таким образом, этот показатель как бы подтверждает наличие деятельного (аэробного) и инертного (анаэробного) слоев в ТЗ. Следует отметить, что при осушении изменения величины ОВП в торфяном профиле происходят постепенно, и в профиле выделяются окислительные, окислительно-восстановительные (переходный слой) и восстановительные условия. Кроме того, в осушаемых торфяных почвах (имеется в виду сельскохозяйственная мелиорация) практически отсутствуют высокие отрицательные значения ОВП. Другая ситуация просматривается в случае болот в естественном состоянии. Однако биологический режим (рис. 1–3) и физические свойства ТЗ констатируют наличие окислительных условий в естественных залежах. Чем это можно объяснить?

Стационарными исследованиями ОВП в исследуемых торфяных почвах на протяжении многих лет исследований установлено, что граница перехода от положительных значений ОВП к отрицательным очень резкая в п. 2 и более плавная в п. 3. Надо полагать, это объясняется особенно-

стями транзитно-аккумулятивного характера торфяного профиля высокого ярама.

Известно, что реакции окисления и восстановления, как правило, происходят в присутствии кислорода, который содержится в гетерогенной многофазной среде, каким является торфяной профиль почвы, даже в затопленном состоянии. Однако уже на глубине 20–40 см в нативном болоте господствуют восстановительные условия. Преобладание резко восстановительных условий в торфяном профиле при активной биохимической деятельности в этих условиях предполагает другие подходы по оценке ОВП. Это определяется тем, что в ОВ торфов содержится до 40% гуминовых веществ, которые обладают сильно выраженной восстановительной способностью, и, следовательно, известные оценки значений ОВП не приемлемы для ТЗ. Эта оценка происходит в сторону завышения параметров восстановительных условий. Отсюда следует, что предел 200 мВ, являющийся в минеральных грунтах границей перехода к восстановительным условиям, в органогенных почвах должен быть много ниже. Поэтому при описании окислитель-

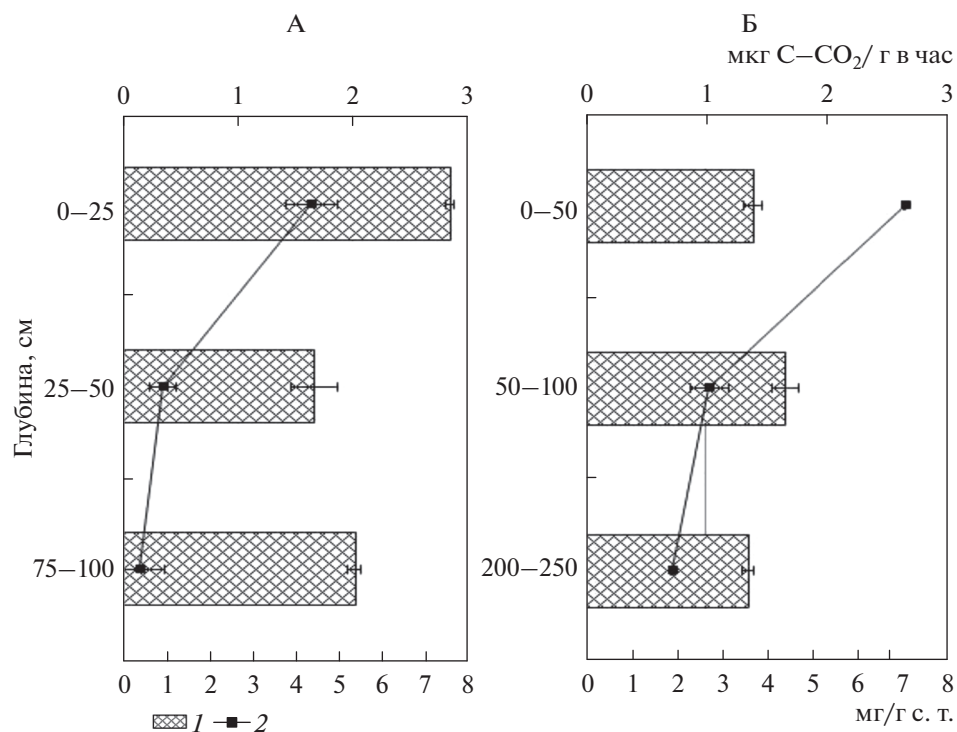


Рис. 3. Изменение интенсивности дыхания (1) и микробной биомассы (2), средневегетационные значения за 2013 г.

но-восстановительных процессов в ТЗ, возможно, будет правильнее принять за границу перехода к восстановительным условиям величину 0 мВ, что ранее уже отмечалось [13]. Но, безусловно, такое предложение можно считать предварительным, так как потребуются проведение дополнительных исследований, в том числе и модельных экспериментов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Природные процессы, протекающие в сопряженных ландшафтах олиготрофного болота, определяются расположением в катене. В транзитно-аккумулятивном положении торфяной залежи (высокий рям) отмечается избыточное весеннее переувлажнение за счет стекающих поверхностных вод. В вегетационный период происходит накопление минеральных, органических и органоминеральных соединений за счет мигрирующих болотных вод. В результате формируется метровый торфяной профиль переходного типа с высокой биохимической активностью по сравнению с трехметровой ТЗ транзитной части катены (низкий рям). Ежегодное подтапливание весенними водами стимулирует захват территории болотообразовательным процессом. Активизация процесса подтверждена изучением углеродного баланса.

Биохимические процессы разной направленности активны в торфяном профиле до подстила-

ющих пород. Но их состав и степень проявления активности различны. В нижнем слое ТЗ, прошедшем стадию болотообразования, происходит замедление и качественное изменение биохимических процессов, а процесс аэробного разложения передвигается вверх вместе с нарастающей ТЗ. Таким образом, весь стратиграфический профиль ТЗ проходит стадию болотного почвообразования. Вместе с тем, степень биохимической активности определяется физическими свойствами и биохимическими процессами, в результате которых в ТЗ формируются микромозаичные анаэробно-аэробные условия, свидетельствующие о наличии в затопленной ТЗ окислительных условий. Активность этих процессов подтверждается, как отмечают многие ученые, формированием под сплошным поверхностным слоем влажных зон, содержащих газовую фазу и аккумулирующих выделяющийся при газогенерации и биохимических процессах кислород, диоксид углерода и метан.

Понятие “деятельного и инертного слоя” относится только к водному режиму торфяных болот. Все рассмотренные биохимические свойства ТЗ, в том числе в системе геохимически сопряженных олиготрофных ландшафтов (низкий рям—высокий рям), подтверждают тот факт, что под переувлажненным поверхностным слоем ТЗ формируется мозаичная окислительно-восстановительная среда, содержащая газовую фазу, в том

числе кислород. Данная ситуация объясняется тем, что в процессе формирования ТЗ вверх, в нижележащих слоях в процессе трансформации и полимеризации продуктов распада растений образуются трудно проницаемые для молекул воды микроструктуры, в которых, в том числе при участии биохимических процессов, образуются окислительные условия. В качестве доказательства существования аэробных условий в ТЗ болот, кроме известных работ по изучению содержания кислорода, необходимо провести исследование изменений ОВП ТЗ как в целом по профилю, так и в микроструктурах торфа.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке Минобрнауки (госзадание ТГПУ № 174) и № N N305 3204 36 (Polish Ministry of Education).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьева Н.Д.* Микробиологические аспекты самоочищения и устойчивости почв. М.: Наука, 2003. 223 с.
2. *Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Гавриленко Е.Г.* Особенности определения углерода микробной биомассы почвы методом субстрат-индуцированного дыхания // Почвоведение. 2011. № 11. С. 1327–1333.
3. *Базин Е.Т., Копенкин В.Д., Косов В.И.* Технический анализ торфа. М.: Недра, 1992. 431 с.
4. *Бахнов В.К.* Биогеохимические аспекты болотообразовательного процесса. Новосибирск: Наука, 1986. 192 с.
5. *Волярович М.П., Лиштван И.И., Терентьев А.А.* Составление высокодисперсной фракции торфа по электронно-микроскопическим данным // Коллоидный журн. 1969. Вып. 2.
6. *Воробьев П.К.* Исследование физических характеристик деятельного горизонта неосушенных болот // Тр. ГГИ. 1965. Вып. 126. С. 65–69.
7. *Головченко А.В., Добровольская Т.Г., Инишева Л.И.* Структура и запасы микробной биомассы в олиготрофных торфяниках южно-таежной подзоны Западной Сибири // Почвоведение. 2002. № 12. С. 1468–1473.
8. *Головченко А.В., Добровольская Т.Г., Звягинцев Д.Г.* Микробиологические основы оценки торфяника как профильного почвенного тела // Вестник ТГПУ. 2008. Вып. 4(78). С. 46–53.
9. *Головченко А.В., Кураков А.В., Семенова Т.А., Звягинцев Д.Г.* Обилие, разнообразие, жизнеспособность и факторная экология грибов в торфяниках // Почвоведение. 2013. № 1. С. 80–97. doi 10.7868/S0032180X13010036
10. *Добровольская Т.Г., Головченко А.В., Кухаренко О.С., Якушев А.В., Семенова Т.А., Инишева Л.И.* Структура микробных сообществ верховых и низинных торфяников Томской области // Почвоведение. 2012. № 3. С. 317–326.
11. *Дырин В.А., Красноженов Е.П.* Активность микрофлоры в целинной и рекультивируемой торфяноболотных почвах // Вестник ТГПУ. 2007. Вып. 6. С. 33–38.
12. *Иванов К.Е.* Водообмен в болотных ландшафтах. Л.: Гидрометеиздат, 1975. 280 с.
13. *Инишева Л.И.* Торфяные почвы: их генезис и классификация // Почвоведение. 2006. № 7. С. 781–786.
14. *Инишева Л.И., Дементьева Т.В., Инишев Н.Г.* Гидротермические и окислительно-восстановительные условия деятельного слоя олиготрофных болот // Вопросы географии Сибири. 2001. Вып. 24. С. 183–189.
15. *Инишева Л.И., Ивлева С.Н., Щербакова Т.А.* Руководство по определению ферментативной активности торфяных почв и торфов. Томск: Изд-во Том. ун-та, 2003. 122 с.
16. *Карягина Л.А., Михайлоуская Н.А.* Визначення актиунасці поліфенолаксидази і пераксидазы у глебе // Весць АН БССР. Сер. сельскагаспадаргных навук. 1986. № 2. С. 40–41.
17. *Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А., Березина Н.А., Инишева Л.И., Курнишкова Т.В., Слука З.А., Толышева Т.Ю., Шведчикова Н.К.* Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: Гриф и К°, 2001. 584 с.
18. *Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева.* М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 303 с.
19. *Савичева О.Г., Инишева Л.И.* Биологическая активность торфов разного ботанического состава // Химия растительного сырья. 2003. № 3. С. 41–50.
20. *Смагин А.В.* Почвенно-гидрофизическое обеспечение исследований газовой функции западносибирских болот в связи с проблемой парникового эффекта // Экологический вестник. Сев. Кавказа. 2007. Т. 3. № 3. С. 46–58.
21. *Anderson J.P.E., Domsch K.H.* A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils // Soil Biol. Biochem. 1978. V. 10. № 3. P. 314–322.
22. *Bouma J.* Environmental quality: a European perspective // J. Environm. Quality. 1997. V. 26. P. 26–31.
23. *Freeman C., Ostle N.J., Fenner N., Kang H.* A regulator role for phenol oxidase during decomposition in peatlands // Soil Biol. Biochem. 2004. V. 36(10). P. 1663–1667.
24. *Inisheva L.I., Zemtsov A.A., Novikov S.M.* Vasyugan Mire (natural conditions, structure and functioning). Tomsk: Tomsk State Pedagogical University Press, 2011. 162 p.
25. *Ling He., Xiang Wu, Xinating Sun.* Effects of temperature and water level changes on enzyme activities in two typical peatlands: implications for the responses of carbon cycling in peatland to global climate change // International Conference on Environmental Science and Information Application Technology. Wuhan, China, 2009. P. 18–22.
26. *Salo K.* The composition and structure of macrofungus communities in boreal upland type forests and peatlands in North Karelia, Finland // Karstenia. 1993. V. 33. P. 61–99.
27. *Sikora L.J., Yakovchenko V., Kaufman D.D.* Comparison of rehydration method for biomass determination to fumigation-incubation and substrate-induced respiration method // Soil Biol. Biochem. 1994. V. 26. № 10. P. 1443–1445.
28. *Thormann M.N., Rice A.V.* Fungi from peatlands // Fungal Diversity. 2007. V. 24. P. 241–299.