

БИОЛОГИЯ

УДК 579.64:631.484

В.А. Дырин*, Е.П. Красноженов**

ДИНАМИКА МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЦЕЛИННОМ И РЕКУЛЬТИВИРУЕМОМ УЧАСТКАХ БОЛОТНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ НИЗИННОГО ТИПА

* Томский государственный педагогический университет

** Сибирский государственный медицинский университет

Остаточный торф выработанных болотных экосистем (БЭС) содержит в себе еще значительные запасы органического вещества, которое, как известно, является аккумулятором разнообразнейших веществ, полезных для растений; это и определяет ценность торфяных почв при использовании их в качестве сельскохозяйственных угодий.

Опыт рекультивации выработанных торфяников в Сибири, в том числе и в Томской области, незначителен. В связи с этим отсутствует ответ на главный вопрос: что будет происходить с органическим веществом остаточного слоя выработанных БЭС, если их использовать как сельскохозяйственные угодья, не грозит ли им исчезновение (так называемое срабатывание), как, например, аналогичным экосистемам в странах с более теплым климатом. Таким образом, необходим прогноз изменения состояния органического вещества выработанных торфяников под воздействием их окультуривания. Это, в свою очередь, позволит определить пути оптимизации микробиологических процессов, которые и являются основной причиной трансформации органического вещества торфа [1].

Ниже приведены результаты исследований в 2004 г. активности целлюлозоразрушающего, аммонифицирующего и нитрифицирующего процессов в неосушенной торфяной залежи и в рекультивируемой торфяной почве, что может служить отражением интенсивности происходящих в них минерализационных процессов.

Методика исследований

Объектами исследований были рекультивируемый и целинный (неосушенный) участки низинной БЭС «Таган» (Томский район). Рекультивируемый участок расположен на месте добычи торфа на удобрение (1963 г.). При заготовках торф снят на глубину 2–3 м, в результате средняя толщина остаточного торфа составила 1 м, местами – 0.5 м. В 1985 г. здесь был заложен опыт по влиянию минеральных удобрений на урожай многолетних злаковых трав. До 1991 г. на всем участке, площадью 60 м², проводились исследования биологической активности торфа. Затем участок стал использоваться как сенокос и пастбище. С 1995 г. наблюдения за биологической активностью возобновились на ограниченной

площади участка (15 м²), но в соответствии с первоначальной схемой опыта: 1) контроль (посевы без удобрений), остаточный слой торфа (ост) – 1 м; 2) N₆₀P₆₀K₆₀, ост – 1 м; 3) N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀, ост – 1 м; 4) ост – 0.5 м (посевы без удобрений). Удобрения вносились в начале вегетационного периода – в мае – в виде аммиачной селитры, хлористого калия и простого суперфосфата. В опыте использовалась смесь многолетних трав (костра безостого, тимофеевки луговой и овсяницы луговой).

Целинный участок расположен в 2 км от осушенного, занят древесным (из сосны, березы) и травяным (в основном из осок) покровом; толщина торфа в нем равна в среднем 3 м [2].

Активность микробиологических процессов оценивалась по динамике: 1) целлюлозоразрушающих микроорганизмов, 2) разложения клетчатки, 3) аммиачной (N-NH₃) и нитратной (N-NO₃) форм азота, 4) аммонифицирующих и нитрифицирующих микроорганизмов. Параллельно определялись влажность, рН солевое и температура торфа. В исследованиях использовалась общепринятая методика [3–5]. При этом целлюлозоразрушающая активность в естественных условиях определялась по разложению льняного полотна, в лабораторных условиях – по разложению фильтровальной бумаги. Активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов оценивалась также по проценту обрастания ими комочков торфа на твердой агаризованной среде Гетчинсона. Аммонифицирующие микроорганизмы выращивались на мясо-пептонном агаре (МПА), нитрифицирующие – на кремнекислых пластинках со средой Виноградского.

Образцы торфа для анализов отбирались до глубины 120 см на целине и до глубины 60–100 см – на рекультивируемом участке 4 раза за вегетационный период. Анализы выполнялись в 3-кратной повторности. По содержанию микрофлоры приведены средние арифметические по повторностям, биохимические показатели активности микрофлоры обработаны статистически. При этом приняты следующие обозначения: М – среднее арифметическое, ±m – отклонение от среднего, t – достоверность среднего, n – число повторностей анализа. Достоверность полученных результатов оценивалась по критерию Стьюдента на уровне 0.05 [6].

Результаты исследований

Динамика активности процессов трансформации целлюлозы.

В торфе рекультивируемого участка, под травами без удобрений (в контроле), целлюлозоразрушающая активность, определяемая по скорости разложения льняного полотна, была наибольшей в первый срок наблюдений – с 5 июня по 7 июля (табл. 1). Это соответствовало наиболее благоприятным гидротермическим условиям в указанный период (по данным гидрометеослужбы г. Томска). С меньшей скоростью полотно минерализовывалось в августе-сентябре, при-

чем в глубже лежащих горизонтах это происходило интенсивнее, чем в верхних. Относительно активная деятельность микрофлоры в нижних горизонтах ближе к осени и осенью объясняется, с одной стороны, прогреванием к концу лета и глубже лежащего торфа, а с другой – охлаждением верхних слоев осенью.

Влияние удобрений на деятельность целлюлозоразрушающей микрофлоры в июне-июле отсутствовало или было незначительным, что видно по степени разложения полотна: она почти одинакова в неудобренном торфе и в торфе с удобрениями. Возможно, что в первые два летних месяца удобрения использовались преимущественно травами, вегетирующими более

Таблица 1

Интенсивность минерализации целлюлозы в рекультивируемом участке «Таган»

Вариант опыта	Глубина, см	Процент разложения льняной ткани по срокам:					
		С 5 июня по 7 июля	t	С 7 июля по 9 августа	t	С 9 августа по 12 сентября	t
Контроль, ОСТ=1м.	0 – 20	33.2±2.2	15.0	28.0±6.3	4.4	10.0±1.3	7.6
	20 – 40	25.2±6.5	3.8	24.6±6.0	4.1	14.3±2.5	5.7
	40 – 60	6.0±1.5	4.0	4.8±1.1	4.3	15.8±4.2	3.7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ , ОСТ=1м.	0 – 20	26.5±4.1	6.4	28.0±4.5	6.2	44.9±9.2	4.8
	20 – 40	13.1±3.2	4.1	12.7±2.3	5.5	23.2±4.5	5.1
	40 – 60	6.3±1.3	4.8	3.9±1.2	3.2	6.6±1.1	6.0
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ , ОСТ=1м.	0 – 20	36.1±8.2	4.4	30.1±5.8	6.0	55.8±6.2	9.0
	20 – 40	13.9±2.7	5.1	22.8±4.5	5.0	49.0±5.9	8.3
	40 – 60	6.8±1.4	4.8	10.2±2.2	4.6	12.0±2.1	5.7
ОСТ=0.5м, без удобрений.	0 – 20	27.2±5.1	5.3	25.2±5.2	4.8	6.7±1.3	5.1
	20 – 40	26.4±4.8	5.5	23.3±4.7	4.9	8.3±1.8	4.6
	40 – 60	22.6±4.7	4.8	20.1±4.2	4.7	8.4±2.0	4.2

Примечание: при n = 3, на уровне 0.05, t = 4.3.

активно в указанный период; это могло привести к выравниванию условий для деятельности целлюлозоразрушающей микрофлоры как в удобренном, так и неудобренном торфе. В последующие сроки наблюдений – с 9 августа по 12 сентября – воздействие удобрений (особенно их удвоенных доз) на деструкцию целлюлозы было заметным; последнее можно объяснить снижением активности прекращающих вегетировать растений при использовании удобрений и преимущественной ассимиляцией их целлюлозоразрушающей микрофлорой.

На конкуренцию растений и микроорганизмов при усвоении питательных веществ, находящихся в почве, указывают многие авторы [7, 8]; отмечено это и в наших исследованиях, проведенных на данной БЭС ранее [9].

В целом минерализация целлюлозы в торфе рекультивируемого участка в указанные сроки происходила относительно быстрыми темпами. Например, максимум разложения ткани, зафиксированный в торфе с удвоенными дозами NPK, был равен 55.8 % (с 9 августа по 12 сентября в слое 0 – 20 см). И в неудобренном торфе (в контроле) этот процесс протекал до-

вольно интенсивно: с 5 июня по 7 июля убыль льняного полотна в весе составила 33.2 %.

Сравнительно высокая степень разложения полотна отмечена в торфе с остаточным слоем 0.5 м. Здесь торф частично перемешан с песчаным грунтом, который подстилает данную БЭС. Вероятно, песчаный компонент повышает теплопроводность торфа, что активизирует в нем микробиологические процессы летом, включая и характеризуемый процесс. На изменение теплопроводности торфа с песчаной примесью указывает и резкое снижение скорости минерализации клетчатки в сентябре, когда понижение температуры воздуха более заметно отразилось на ее утилизации в торфе именно этого варианта опыта.

Для определения целлюлозоразрушающей активности в лабораторных условиях образцы торфа, взятые в указанные выше сроки, смешивались – соответственно вариантам опыта и глубине взятия образцов – для получения средних проб. Средние пробы торфа с кружками фильтровальной бумаги помещались в чашки Петри и выдерживались в термостате в течение 35 дней при температуре 27–30 °С и естественной (средней) влажности) образцов. Влажность сред-

них проб по слоям 0–20, 20–40 и 40–60 см соответственно составила: из контроля и удобренного торфа – 59.65 и 71 %, из торфа с остаточным слоем 0.5 м – 52.6 и 67 %.

Наблюдения над характеризуемым процессом в усредненных образцах выявили значительное влияние на него удобрений, особенно их удвоенных доз (табл. 2). При этом не отмечено разницы в активности ассимиляции клетчатки микрофлорой из разных слоев торфа. Очевидно, постоянные температура и

влажность, создаваемые и поддерживаемые в лабораторных условиях, существенно активизировали микрофлору и нижних горизонтов, в результате чего показатели минерализации целлюлозы сравнялись по слоям. Последнее может свидетельствовать о высокой потенциальной активности микрофлоры остаточного торфа.

Как и в естественных условиях, клетчатка весьма интенсивно разрушалась в торфе, перемешанном с песчаным грунтом (вариант ОСТ=0.5 м, без удобрений).

Таблица 2

Интенсивность разложения клетчатки в лабораторных условиях

Глубина, см	Процент разложения фильтровальной бумаги:							
	Контроль, ОСТ=1м	t	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ , ОСТ=1м	t	N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ , ОСТ=1м	t	ОСТ=0,5 м, без удобрений	t
0-20	24.7±5.2	4.7	40.2±6.3	6.3	58.6±8.3	7.0	32.0±7.1	5.5
20-40	20.2±6.1	3.3	39.3±7.1	5.5	60.1±9.0	6.6	30.7±6.3	4.8
40-60	25.1±6.0	4.1	41.2±7.0	5.8	59.2±9.1	6.5	32.1±7.2	4.4

Примечание: при n=3, на уровне 0.05, t=4.3.

ний). Препными исследованиями, проведенными на данном участке [10], были установлены сравнительно высокие значения и других показателей биологической активности. Так, микроорганизмы, трансформирующие минеральные формы азота, здесь доминировали над микроорганизмами, трансформирующими органические формы азота, в то время как в других вариантах опыта было наоборот или же их соотношение выглядело как 1:1. Продукция CO₂ и каталазная активность здесь также отличались большими значениями.

Определение активности целлюлозоразрушающей микрофлоры по ее росту на питательной среде показало (табл. 3), что она не зависела от удобрений: содержание целлюлозоразрушителей во все сроки наблюдений было почти одинаковым во всех вариантах

опыта. Это согласуется и с данными по минерализации целлюлозы в естественных условиях. При посеве микрофлоры из образцов торфа, взятых в сентябре, обнаруживается ее более высокое содержание в глубже лежащих горизонтах, что, как уже отмечалось, является следствием более резкого охлаждения верхних горизонтов. В варианте «ОСТ=0.5 м, без удобрений» охлаждение торфяных горизонтов, вероятно, произошло сильнее; это привело к резкому снижению содержания целлюлозоразрушающих микроорганизмов по профилю остаточного торфа. Сравнительно одинаковым было распределение микроорганизмов по слоям в июле и августе, что также можно объяснить лучшей теплопроводностью торфа, содержащего песчаный компонент.

Таблица 3

Динамика целлюлозоразрушающих микроорганизмов в рекультивируемом участке БЭС «Таган»

Вариант опыта	Глубина, см	Целлюлозоразрушающие микроорганизмы, процент обрастания комочков торфа по срокам взятия образцов:			
		5 июня	7 июля	9 августа	12 сентября
Контроль, ОСТ=1м	0 – 20	10.0	18.0	31.0	4.0
	20 – 40	5.0	12.0	18.0	16.0
	40 – 60	2.0	4.0	5.0	12.0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ , ОСТ=1м	0 – 20	11.0	20.0	29.0	5.0
	20 – 40	8.0	9.0	16.0	16.0
	40 – 60	2.0	2.0	4.0	5.0
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ , ОСТ=1м	0 – 20	9.0	20.0	27.0	6.0
	20 – 40	10.0	15.0	15.0	19.0
	40 – 60	1.0	2.0	4.0	12.0
ОСТ=0.5 м, без удобрений	0 – 20	11.0	16.0	28.0	3.0
	20 – 40	6.0	17.0	23.0	4.0
	40 – 60	2.0	17.0	22.0	6.0

Примечание: приведены среднеарифметические данные по трем повторностям.

Что касается динамики целлюлозоразрушителей по срокам наблюдений, то максимальное их содержание отмечено в образцах, взятых в первой декаде августа; возможно, что в это время в торф началось поступление свежих растительных остатков, являющихся питательным субстратом для данных микроорганизмов, и это поступление совпало с достаточным прогреванием торфяных слоев и улучшением режима их влажности.

Исследования активности минерализации целлюлозы в неосушенном участке БЭС «Таган» показали сильную подавленность этого процесса (табл. 4). Так, льняное полотно, выдержанное в толще торфа с 5 июня по 12 сентября в слое 0 – 20 см, убавилось в весе всего на 11.4 %. Еще слабее оно разлагалось в

слое 20 – 40 см: за указанный период степень разложения полотна составила 2.3 %, причем статистическая обработка показала слабую достоверность этого результата (см. «t»). В глубже расположенном слое – 40–60 см – утилизация полотна весовым методом не выявлялась; следы деятельности микроорганизмов здесь были заметны лишь по нингидриновой реакции. Глубже 60 см нингидриновая реакция на полотне отсутствовала. Вероятно, высокая влажность торфа и из-за этого слабая аэрация его не создали благоприятных условий для деятельности целлюлозоразрушающей микрофлоры в целинном участке БЭС.

Данное предположение подтверждается и слабым ростом целлюлозоразрушающей микрофлоры на питательной среде (табл. 4). Из проб торфа, взятых гл-

Таблица 4

Активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов в неосушенном участке БЭС «Таган»

Глубина, см	Влажность, %	Убыль веса полотна, %	t	Содержание целлюлозоразрушающих микроорганизмов, процент обрастания комочков торфа
0 – 20	79.0	11.4±2.9	3.9	14.0
20 – 40	81.0	2.3±1.3	1.7	4.0
40 – 60	83.0	+	–	0.0
60 – 80	85.6	–	–	0.0

Примечание: 1) при n=3, на уровне 0.05, t=4.3; 2) «+» – есть нингидриновая реакция, «–» – нингидриновая реакция отсутствует; 3) по микрофлоре приведены средние арифметические анализы средних проб; 4) полотно выдерживалось в разрезе с 5 июня по 12 сентября.

же 40 см, микроорганизмы на среде Гетчинсона не развивались.

Слабая активность процессов утилизации клетчатки в неосушенных низинных торфяниках Сибири отмечена в ряде работ [11–13], включая и наши предыдущие наблюдения [14].

Динамика аммонифицирующего и нитрифицирующего процессов.

Определение содержания аммиачного азота показало (табл. 5), что в целинном участке в июне он присутствовал во всех исследуемых горизонтах. С июля по сентябрь эта форма азота не обнаруживалась в верхних горизонтах (0 – 40 см). С глубиной содержание N-NH₃ возрастало: с 23 мг в слое 0 – 20 см (данные за июнь) до 190 мг в слое 100 – 120 см (данные за сентябрь). Нитратный азот в целинном участке отсутствовал во всех слоях во все сроки исследований.

В рекультивируемом участке наблюдалась аналогичная закономерность в распределении N-NH₃. В то же время здесь аммиачного азота содержалось меньше, и, кроме того, распределение его на глубине от 40 до 80 см происходило равномернее, чем в целинном участке. Нитратный азот с июня по сентябрь был обнаружен в виде следов в слое 20 – 40 см; с июля по август N-NO₃ в заметных количествах присутствовал на глубине 40 – 80 см.

Резкое увеличение содержания аммиачного азота с глубиной в целинном участке можно объяснить отсутствием в нижних горизонтах нитрифицирующего процесса из-за высокой влажности торфа, препятствующей активной деятельности нитрифицирующих микроорганизмов. В результате минерализация торфа на большой глубине осуществляется только аммонифицирующими микроорганизмами, и образующийся аммиак сорбируется торфом, но не переводится в нитраты. Отсутствие нитратной формы азота во всех слоях целинного участка может служить подтверждением данному предположению. Подобное мнение высказывают и другие авторы [15]. С другой стороны, полное отсутствие в верхних слоях как аммиачной, так и нитратной форм азота, объясняется, вероятно, использованием их растениями, корневая система которых сосредоточена преимущественно в верхней части залежи.

Отсутствие N-NH₃ и N-NO₃ в верхних горизонтах было характерно и для участка, занятого посевами многолетних злаков. Но, в отличие от целинного (неосушенного) участка, здесь аммиачный азот в заметных количествах обнаруживался уже в слое 20 – 40 см – в июне и сентябре. Вероятно, удобрения на фоне не вполне активной вегетации растений в эти месяцы явились стимулирующим фактором для аммонифицирующих микроорганизмов, и продуцируемый ими

Таблица 5

Динамика аммиачного и нитратного азота в целинном и рекультивируемом участках БЭС «Таган»
(в мг/100 г абсолютно сухого торфа)

Срок взятия образцов	Глубина, см	N-NH ₃	t	N-NH ₃	t	N-NO ₃	t
		Целинный		Рекультивируемый			
5 июня	0 – 20	23.0±4.9	4.6	0.0	0.0	0.0	0.0
	20 – 40	28.0±6.0	4.6	23.5±5.2	4.5	Следы	0.0
	40 – 60	41.2±8.1	5.0	40.0±8.2	4.8	0.0	0.0
	60 – 80	72.0±12.2	5.9	46.8±9.5	4.9	0.0	0.0
	80 – 100	93.0±16.3	5.7	81.5±15.7	5.1	0.0	0.0
	100 – 120	180.0±22.1	8.1	–	–	–	–
7 июля	0 – 20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	20 – 40	0.0	0.0	0.0	0.0	Следы	0.0
	40 – 60	48.0±11.0	4.3	41.2±8.2	5.0	32.1±6.2	5.1
	60 – 80	84.0±12.1	6.9	70.0±15.1	4.7	36.5±8.2	4.4
	80 – 100	88.5±19.6	4.5	72.0±15.1	4.7	0.0	0.0
	100 – 120	153.3±30.2	5.07	–	–	–	–
9 августа	0 – 20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	20 – 40	0.0	0.0	0.0	0.0	Следы	0.0
	40 – 60	102.3±20.0	5.1	60.0±13.6	4.4	50.2±10.2	4.9
	60 – 80	120.0±22.2	5.4	88.2±18.5	4.7	41.5±8.6	4.8
	80 – 100	143.0±26.0	5.5	100.0±23.7	4.2	0.0	0.0
	100 – 120	185.6±28.7	6.4	–	–	–	–
12 сентября	0 – 20	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	20 – 40	0.0	0.0	15.0±3.4	4.4	Следы	0.0
	40 – 60	115.6±24.0	4.8	120.0±26.5	4.5	38.5±8.0	4.8
	60 – 80	116.6±23.0	5.0	115.5±24.0	4.8	40.2±9.2	4.3
	80 – 100	150.0±28.2	5.3	128.6±27.5	4.7	0.0	0.0
	100 – 120	190.2±32.0	5.9	–	–	–	–

Примечание: 1) при n=3, на уровне 0.05, $t_{табл.} = 4.3$; 2) из рекультивируемого участка анализировался торф, взятый под травами из варианта N₁₂₀ P₁₂₀ K₁₂₀.

N-NH₃ слабо используемый или совсем не используемый растениями, накапливался в указанном слое (и глубже).

Нитратный азот в слое 20 – 40 см обнаруживался в виде следов. В начале июня нитратный азот глубже 40 см отсутствовал (как и в торфе целинного участка). В июле, августе и сентябре, как уже отмечалось, N-NO₃ в ощутимых количествах присутствовал на глубине 40 – 80 см. Очевидно, что культивирование растений на остаточном (1м) торфе привело к улучшению в нем условий (например гидротермического и питательного режимов) для деятельности микроорганизмов, трансформирующих N-NH₃ в N-NO₃. По указанной причине содержание аммиачного азота в рекультивируемом участке ниже, чем в целинном, – он переводится в нитратный азот. О более благоприятных для деятельности микроорганизмов условиях в торфе рекультивируемого участка свидетельствует и сумма обеих форм азота.

Динамика N-NH₃ и N-NO₃ хорошо согласуется с динамикой pH (табл. 6). В целинном торфе содержание аммиачной формы азота выше, чем в рекультивируемом, соответственно выше в нем и значения pH.

И в целинной, и в рекультивируемой почве с глубиной содержания N-NH₃ возрастает, соответственно возрастает в них и pH. При этом в рекультивируемой почве с июля по сентябрь pH изменяется по профилю более динамично: до глубины 80 см его значения уменьшаются, а глубже – снова возрастают. Снижение значений pH наблюдалось в тех слоях, в которых обнаруживались нитраты (40–80 см). В июне значения pH по профилю рекультивируемого участка равномерно возрастали, как и в целинной почве, что соответствовало увеличению содержания N-NH₃ с глубиной. Отмеченная закономерность в изменении pH легко объяснима, учитывая свойства аммиака и нитратов: первый подщелачивает среду, а вторые подкисляют ее.

Наблюдения за содержанием микроорганизмов (табл. 7) также показали, что возделывание многолетних злаковых трав существенно активизировало процессы трансформации азотсодержащих веществ. Например, во все сроки наблюдений в торфе под травами численность аммонификаторов в 2 и более раз превышала таковую в торфе целинного участка. При этом распределение указанных микроорганизмов по всей толще остаточного торфа рекультивируемого

Таблица 6

Динамика рН в целинной залежи и рекультивируемой почве БЭС «Таган»

Срок взятия образцов	Глубина, см	рН _{КС1} в целинной почве	t	рН _{КС1} в рекультивируемой почве (N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀)	t
5 июня	0 – 20	5.52±1.3	4.2	5.25±1.3	4.0
	20 – 40	5.52±1.2	4.6	5.42±1.3	4.2
	40 – 60	5.65±1.3	4.3	5.52±1.3	4.2
	60 – 80	5.72±1.4	4.0	5.65±1.2	4.7
	80 – 100	5.82±1.3	4.4	5.73±1.3	4.4
	100 – 120	6.00±1.4	4.3	–	–
7 июля	0 – 20	5.22±1.2	4.3	5.30±1.3	4.1
	20 – 40	5.20±1.2	4.3	5.12±1.2	4.3
	40 – 60	5.70±1.4	4.1	5.20±1.1	4.7
	60 – 80	5.85±1.3	4.5	5.15±1.2	4.3
	80 – 100	6.00±1.4	4.3	5.65±1.3	4.3
	100 – 120	6.12±1.4	4.4	–	–
9 августа	0 – 20	5.20±1.2	4.3	5.25±1.2	4.4
	20 – 40	5.18±1.2	4.3	5.10±1.1	4.6
	40 – 60	5.92±1.4	4.2	5.10±1.2	4.2
	60 – 80	5.98±1.4	4.3	5.15±1.2	4.3
	80 – 100	6.00±1.3	4.6	5.65±1.3	4.3
	100 – 120	6.12±1.4	4.4	–	–
12 сентября	0 – 20	5.18±1.2	4.3	5.30±1.2	4.4
	20 – 40	5.20±1.1	4.7	5.25±1.3	4.0
	40 – 60	5.90±1.3	4.5	5.12±1.1	4.6
	60 – 80	5.95±1.4	4.2	5.17±1.2	4.3
	80 – 100	6.00±1.3	4.6	5.70±1.3	4.4
	100 – 120	6.15±1.4	4.4	–	–

Примечание: при n=3, на уровне 0.05, t = 4.3.

участка было более равномерным, и даже в нижних горизонтах отмечалось их относительно высокое содержание. Большое содержание аммонификаторов в глубоких слоях торфа, отмеченное в наших наблюдениях, может служить подтверждением взглядов некоторых авторов об активности данных микроорганизмов не только в окислительных, но и в восстановительных условиях [16, 17]. В то же время высокая, в сравнении с целиной, биогенность нижних горизонтов рекультивируемого участка свидетельствует о том, что весь остаточный слой торфа, прежде биологически инертный [10], становится биологически активным, и это не может не отразиться на состоянии его органического вещества.

Нитрифицирующие бактерии при их посеве из целинного торфа на питательной среде не развивались даже после 45 дней культивирования. В торфе под травами нитрификаторы обнаруживались во все сроки исследований; наиболее активный рост этих бактерий на питательной среде отмечен при анализе июльских и августовских образцов, что определялось, вероятно, более благоприятными гидротермическими условиями в этот период (табл. 7).

Корреляция между развитием нитрифицирующих бактерий и содержанием нитратов в почве наблюдалась час-

точно или не наблюдалась совсем. Так, нитраты в заметных количествах, как отмечалось (табл. 5), обнаруживались только с июля по сентябрь на глубине 40–80 см, а бактерии-нитрификаторы развивались во все сроки наблюдений, но относительно активно – лишь в верхних слоях: 0–40 см – в июне и 0–60 см – в июле-сентябре. При посеве из нижних горизонтов торфа нитрификаторы на питательной среде не выявлялись. Присутствие нитрифицирующих бактерий в верхних слоях торфа может служить подтверждением того, что нитраты образуются и здесь, но используются растениями (и поэтому не обнаруживаются в образцах). Указанные бактерии, безусловно, есть и на глубине 60–80 см (о чем свидетельствует наличие здесь N-NO₃), но активность их в нижних горизонтах залежи мала, что, как известно, определяется аэробными свойствами нитрификаторов [18].

Выводы

1. Интенсивность процессов трансформации углеродсодержащих соединений в торфе рекультивируемого участка БЭС «Таган» определяется конкурирующим влиянием друг на друга микроорганизмов и растений при ассимиляции ими питательных веществ,

Таблица 7

Динамика температуры, влажности, аммонифицирующих и нитрифицирующих микроорганизмов в торфе целинного и рекультивируемого участков

Срок взятия образцов	Глубина, см	Целинный участок			Рекультивируемый участок			
		t °C	Влажность, %	Аммонификаторы, млн/1г сухого торфа	t °C	Влажность, %	Аммонификаторы, млн/1 г сухого торфа	Нитрификаторы, % обрастания комочков торфа
5 июня	0 – 20	14.0	72.0	2.9	14.8	68.0	5.3	10.0
	20 – 40	13.0	73.6	1.1	14.0	67.2	2.5	6.0
	40 – 60	11.5	84.6	0.5	11.5	67.3	2.2	0.0
	60 – 80	7.2	85.0	0.3	7.4	72.5	2.1	0.0
7 июля	0 – 20	16.8	75.0	4.3	16.0	69.1	9.0	14.0
	20 – 40	16.4	76.5	2.0	16.5	69.0	3.6	10.0
	40 – 60	12.6	80.0	1.0	16.4	73.2	2.5	6.0
	60 – 80	12.7	81.0	0.3	12.5	75.3	2.5	0.0
9 августа	0 – 20	12.7	65.2	5.3	14.2	60.3	13.4	20.0
	20 – 40	12.0	66.6	4.0	14.0	61.0	5.0	14.0
	40 – 60	11.0	69.6	1.8	10.8	68.7	4.6	14.0
	60 – 80	10.5	71.3	0.4	10.6	67.0	3.8	0.0
12 сентября	0 – 20	7.2	79.0	1.9	9.8	68.3	6.2	6.0
	20 – 40	7.5	81.0	1.5	9.7	68.3	5.5	6.0
	40 – 60	8.3	83.0	1.8	9.5	69.2	5.4	4.0
	60 – 80	8.5	85.6	0.4	10.4	71.8	4.5	0.0

Примечание: 1) приведены средние арифметические по трем повторностям анализа; 2) из рекультивируемого участка анализировался торф, взятый под травами из варианта N₁₂₀ P₁₂₀ K₁₂₀; 3) содержание нитрифицирующих бактерий определялось в 45-дневной культуре (при 27–30 °C).

поступающих в почву, ее гидротермическим режимом и физическими свойствами.

2. Активность целлюлозоразрушающих микроорганизмов при их развитии на питательной среде не зависит от вносимых в почву минеральных соединений, что может служить подтверждением мнения об опережающем потреблении питательных веществ растениями в процессе конкуренции с микроорганизмами; об этом же свидетельствует и сильное положительное воздействие удобрений на деструкцию клетчатки в торфе под травами осенью (когда вегетация растений снижена) и в торфе без растений.

3. В целинной (неосушенной) залежи деятельность целлюлозоразрушающей микрофлоры сильно подавлена из-за повышенной влажности и связанной с ней недостаточной для активности указанной микрофлоры аэрацией торфа.

4. Целинная торфяная залежь БЭС «Таган» (особенно нижние горизонты), по сравнению с ее рекультивируемым участком, характеризуется более высо-

ким содержанием N-NH₃; это связано с отсутствием деятельности нитрифицирующих бактерий в анаэробных условиях неосушенного торфа, в результате чего в нем накапливается данная форма азота.

5. В рекультивируемой почве начальные процессы трансформации азотсодержащих веществ – аммонификация и нитрификация – более активны, чем в целинной, о чем свидетельствует суммарное содержание в торфе N-NH₃ и N-NO₃, а также развитие в нем не только аммонифицирующих, но и нитрифицирующих микроорганизмов.

6. Отсутствие N-NH₃ и N-NO₃ в летние месяцы в верхних горизонтах как неосушенного, так и окультуриваемого участков связано, вероятно, с использованием этих форм азота активно вегетирующими растениями.

7. Более высокие, по сравнению с целинной залежью, показатели микробиологической деятельности в остаточном торфе рекультивируемого участка свидетельствуют о большей интенсивности в нем минерализационных процессов.

Литература

1. Зименко Т.Г. Микробиологические процессы в мелиорированных торфяниках Белоруссии и их направленное регулирование. Минск, 1977.
2. Блинков Г.Н., Козлова С.Е. Химический состав низинных торфов Таганского и Петровского болот // Изв. Томского отд. ВБО. Красноярск, 1964.

3. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М., 1991.
4. Методы стационарного изучения почв / Под ред. А.А. Роде, Н.А. Ногина, И.Н. Скрынниковой. М., 1977.
5. Методы биохимического исследования растений / Под ред. А.И. Ермакова. Л., 1972.
6. Фёдоров А.И. Методы математической статистики в биологии и опытно-деловом деле. Алма-Ата, 1967.
7. Леуто И.Э., Бойко А.Т. Многолетние травы на выработанных торфяниках. Минск, 1979.
8. Федоров А.С. Влияние удобрений и растений на содержание минеральных форм азота в почвах выработанных торфяников // Проблемы использования и реутилизации биофильных элементов. Л., 1980.
9. Дырин В.А. Культивирование трав на выработанном торфянике и его биологическая активность. Деп. во ВНИИТЭИСХ под № 79 ВС-86. Деп., 1986.
10. Дырин В.А., Суворина Е.А. Биологическая активность остаточного торфа под травами // Фундаментальные и прикладные проблемы охраны окружающей среды. Томск, 1995.
11. Жданникова Е.Н. Микробиологическая характеристика торфяно-болотных почв Томской области // Заболоченные леса и болота Сибири. Томск, 1963.
12. Наплекова Н.Н. Аэробное разложение целлюлозы микроорганизмами в почвах Западной Сибири. Новосибирск, 1974.
13. Загуральская Л.М. Определение биологической активности торфяно-болотных почв Томской области // Микроорганизмы в борьбе с вредителями лесного хозяйства. М., 1966.
14. Дырин В.А., Блинков Г.Н. О биологической активности низинных торфов // Вопр. биологии и агрономии. Томск, 1976.
15. Вавуло Ф.П. Микрофлора основных типов почв БССР и их плодородие. Минск, 1972.
16. Инишева Л.И., Славина Т.П. Биологическая активность почв Томской области. Томск, 1987.
17. Санникова Ю.В. Динамика аммонификаторов в олиготрофных торфяных почвах // VIII Всерос. конф. студ., аспирантов и молодых ученых (с междунар. участием). Томск, 2004.
18. Виноградский С.Н. Микробиология почвы. М., 1952.

УДК 581.132: 581.12: 581.1.03

С.А. Войцек

АКТИВНОСТЬ ГЛЮКОЗО-6-ФОСФАТДЕГИДРОГЕНАЗЫ В ПРОРОСТКАХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГИПОБАРИЧЕСКОЙ ГИПОКСИИ

Томский государственный педагогический университет

Познание путей адаптации организмов к воздействию факторов внешней среды – одна из центральных проблем экологической физиологии растений. В природе растения часто оказываются в условиях кислородной недостаточности (гипоксии). Это наблюдается при затоплении, заболачивании почвы, при вымокании растений, образовании ледяной корки на посевах озимых культур, орошаемом землепользовании, в результате создания асфальтовых покрытий в городах. Наиболее часто испытывают недостаток кислорода озимые хлеба (пшеница, рожь, ячмень), рис, соя, хлопчатник, некоторые древесные растения – ель, береза, сосна, ива, ольха. Поскольку кислород необходим для дыхания растений, изменение его парциального давления отражается на уровне и структуре процесса дыхания [1]. Изучение особенностей дыхательного метаболизма при недостатке кислорода у растений, различающихся по устойчивости к данному фактору, является целью проведенного исследования. Экспериментально условия кислородной недостаточности создаются путем затопления, замещения воздуха газообразным азотом, аргоном и т.д. В данном исследовании использован нетрадиционный для физиологии растений методический подход получения разреженной атмосферы, который характеризуется одновременным снижением парциального давления газов, среди которых наибольшее значение для растений имеют O_2 и CO_2 (гипоба-

рическая гипоксия). В природе подобные условия наблюдаются в высокогорных районах, интерес к ним возрастает в связи с развитием космических исследований, созданием искусственных систем жизнеобеспечения, а также решением экологических задач, связанных с формированием климата [2]. Гипобарическая гипоксия позволяет изучать адаптацию целого растения, взаимодействие авто- и гетеротрофных его органов, в то время как при затоплении, например, в условиях кислородной недостаточности оказывается только корневая система. Биохимические приспособления дыхания к условиям кислородной недостаточности в фотосинтезирующих органах растения остаются малоизученными. Поэтому в задачи работы входило исследование влияния гипобарической гипоксии на активность ключевого фермента пентозофосфатного пути дыхания глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (КФ 1.1.1.49) в корнях и листьях растений, различающихся по устойчивости к изучаемому фактору, на свету и в темноте.

Объектами исследования служили 8-суточные зеленые проростки озимого ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Скороход, 7-суточные проростки пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Тулунская и 10-суточные проростки риса (*Oryza sativa* L.) сорта ВНИИР-17, различающиеся по устойчивости к недостатку кислорода. Гипоксические условия достигались помещением