



Рис. 3. Аппроксимация данных (из рис. 2) функцией $\alpha(t)$ по методу наименьших квадратов (точки соответствуют экспериментальным данным, линия – результатам расчета)

при котором достигается наилучшее соответствие между экспериментальным и теоретическим графиками, оказалось равным $2.7 \times 10^{-18} \text{ м}^2/\text{с}$.

Таким образом, результаты расчета подтверждают предположение о том, что рост тока через МДМ-систему ограничен некоторым диффузионным процессом. В терминах описанной модели «ловушкооб-

Диффузия атомов и молекул в аморфный SiO_x [5].

$$D = D_0 \exp(-E/kT)$$

Вещество	$D_0(\text{м}^2/\text{с})$	$E(\text{эВ})$	$D(300 \text{ К})$
H_0	$1e-8$	0.18	$9.47e-12$
H_2	$5.65e-8$	0.45	$1.56e-15$
H_2O	$1e-10$	0.79	$5.35e-24$

разования» это означает, что водородосодержащее вещество, высвобожденное из областей вблизи границы раздела «анод-диэлектрик», электрически нейтрально и перемещается в объем диэлектрика посредством диффузии. В таблице приведены коэффициенты диффузии в аморфном SiO_x , а также энергии активации для трех нейтральных водородосодержащих веществ, являющихся наиболее вероятными кандидатами на роль вещества, диффузия которого может ограничивать рост сквозного тока через МДМ-систему во время первой стадии формовки.

Сопоставление приведенных в таблице данных с результатами расчета позволяет исключить воду из числа водородосодержащих веществ, могущих отвечать за процесс роста тока через МДМ-систему, наблюдаемый во время первой стадии формовки. Таким образом, наиболее вероятными кандидатами на роль водородосодержащего вещества являются молекулярный водород и атомарный кислород.

Литература

1. Pagnia H., Sotnik N. Bistable switching in electroformed metal-insulator-metal devices // Phys. Stat. Sol. 1988. V. 108. № 11.
2. Крамор С.С., Хаскельберг М.Б. Исследование процессов формовки и деградации эмиссионных параметров тонкопленочных систем металл-диэлектрик-металл // Изв. вузов. Физика. 2000. № 7.
3. Arnold D. et al. Theory of high-field electron transport and impact ionization in silicon dioxide // Phys. Rev. B. 1994. V. 49. № 15.
4. Yankelevitch Yu.B. The thin film metal-insulator-metal system used as a non-heated source of electrons // Vacuum. 1980. V. 30. № 3.
5. Griscom D.L. Diffusion of radiolytic molecular hydrogen as a mechanism for the post-irradiation buildup of interface states in SiO_2 -on-Si structures // J. of Appl. Phys. 1985. V. 58. № 7.

УДК 577.4

В.А. Дырин

ИНТЕНСИВНОСТЬ МИНЕРАЛИЗАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ОСТАТОЧНОМ ТОРФЕ НИЗИННОЙ БОЛОТНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ «ТАГАН» В НАЧАЛЕ ЕЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Томский государственный педагогический университет

Выработанные торфяно-болотные почвы содержат в себе еще огромные запасы органического вещества, которое, как известно, является аккумулятором разнообразнейших полезных для растений веществ, что и определяет ценность этих почв при их использовании под сельскохозяйственные угодья. В то же время выращивание растений на торфяно-болотных почвах в странах с более теплым, чем в

Сибири, климатом сопровождается сокращением толщины торфяного слоя и даже полным его исчезновением. Это исчезновение торфа, известное под названием «срабатывание», вызывается процессами выветривания, вымывания частиц почвы и т.п., но в первую очередь – чрезмерной биологической минерализацией органического вещества, осуществляемой микроорганизмами торфа [1].

Ниже приведены некоторые результаты исследований микробиологической активности в остаточном (метровом) слое торфа выработанного участка указанной болотной экосистемы после 1–7 лет выращивания на нем многолетних злаковых трав (1986–1992 гг.). Конечная цель исследований – установить интенсивность минерализационных процессов в торфе при многолетнем использовании участка для возделывания сельскохозяйственных культур; это позволило бы дать прогноз относительно изменения органического вещества в подобных почвах Томской области и определить пути его оптимизации.

Исследования проводились по общепринятой методике [2, 3]. Показателями микробиологической активности служили: 1) активность роста микрофлоры на питательных средах (на МПА и КАА); 2) активность каталазы, полифенолоксидазы и пероксидазы. Биохимические показатели микробиологической активности подвергнуты вариационно-статистическому анализу [4]. По микрофлоре приведены средние результаты (по трем повторностям).

Анализ микрофлоры в 1992 г., т.е. через 7 лет после начала исследований, показал (табл. 1 и 2), что в верхних слоях торфяника численность микроорганизмов на МПА в целом изменилась, но незначительно: в «контроле» и в варианте «N₆₀P₆₀K₆₀» она снизилась, а в варианте «N₁₂₀P₆₀K₁₂₀» – несколько увеличилась. В то же время в глубже лежащих горизонтах (20–40 и 40–60 см) численность указанных микроорганизмов возросла в 2–3 раза; в варианте с «N₆₀P₆₀K₆₀», в слое 40–60 см, она возросла более чем в 10 раз. Заметно, в сравнении с предыдущими сроками исследований, активизировался рост микрофлоры на КАА. По всем горизонтам число микробных клеток на КАА возросло в 3–4 раза, а в отдельных случаях – в 5 раз. Соотношение микроорганизмов на МПА и КАА в верхних слоях стало примерно одинаковым (а в первый год исследований преобладали микроорганизмы на МПА); в глубже лежащих горизонтах это соотношение, как и прежде, осталось в пользу микроорганизмов, произрастающих на МПА.

Самая высокая численность микроорганизмов отмечалась в торфе с остаточным слоем в 1 м (варианты 1, 3–5). При этом уровень болотных вод (у. б. в.) в 0.7 м оказался наиболее благоприятным для микрофлоры в нижних горизонтах; в верхних горизонтах микрофлора несколько лучше развивалась при у. б. в. в 1 м. Обращает на себя внимание то, что сдвиг соотношения азотпревращающих микроорганизмов в сторону использующих минеральные формы азота впервые становится заметным в торфе с остаточным слоем 0.5 м (вариант 2). Указанный торф частично перемешан с песчаным грунтом, подстилающим Таганский торфяник. Вероятно, это улучшает физические свойства торфа, что положительно сказывается и на его биологической активности. Благоприятное влияние на биологическую активность торфа вноси-

мых в него минеральных грунтов отмечают и другие исследователи [5].

Активность оксидоредуктаз в первые после посева годы (1986–1987) была низкой. Наиболее заметно энзиматические реакции протекали в торфе с остаточным слоем в 1 м. Использование повышенных доз удобрений (N₁₂₀ и K₁₂₀) активизировало каталазу; обычные их дозы (N₆₀P₆₀K₆₀) не влияли на активность

Таблица 1
Численность микроорганизмов на МПА и КАА в торфе под травами после 1 года рекультивации на сентябрь 1986 г.
(млн на 1 г абсолютно сухого торфа)

Вариант опыта	Глубина, см	МПА	КАА
Контроль (без удобрений)	0–20	1.6	0.3
	20–40	0.8	0.8
	40–60	0.6	0.4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0–20	2.2	1.1
	20–40	1.3	1.8
	40–60	0.4	0.4
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₁₂₀	0–20	0.2	0.2
	20–40	0.3	2.5
	40–60	1.6	0.8

Примечание: 1) остаточный слой торфа – 1 м, у. б. в. – 1 м; 2) анализировался торф под травосмесью из ковра безостого, тимopheевки луговой и овсяницы луговой.

Таблица 2
Численность микроорганизмов на МПА и КАА в торфе под травами после 7 лет рекультивации на сентябрь 1992 г.
(млн на 1 г абсолютно сухого торфа)

Вариант опыта	Глубина, см	МПА	КАА
1	0–20	1.1	1.6
	20–40	2.9	3.0
	40–60	2.0	0.9
2	0–20	0.9	3.1
	20–40	0.2	0.5
	40–60	0.2	0.1
3	0–20	0.9	1.2
	20–40	4.4	0.5
	40–60	1.8	1.5
4	0–20	0.9	1.2
	20–40	1.1	0.2
	40–60	3.0	1.4
5	0–20	0.7	0.6
	20–40	0.9	1.6
	40–60	4.4	2.4

Примечание. Вариант 1 (контроль): остаточный слой торфа – 1 м, у. б. в. – 1 м; вариант 2: остаточный слой торфа – 0.5 м, у. б. в. – 1 м; вариант 3: остаточный слой торфа – 1 м, у. б. в. – 0.7 м; вариант 4: остаточный слой торфа – 1 м, у. б. в. – 1 м, N₆₀P₆₀K₆₀; вариант 5: остаточный слой торфа – 1 м, у. б. в. – 1 м, N₁₂₀P₆₀K₁₂₀.

данного фермента. Максимальное значение каталазы (4.06 мл O₂) наблюдалось в слое 0–20 см в июле в варианте «N₁₂₀P₆₀K₁₂₀». С глубиной активность фермента обычно резко падала, за исключением октября, когда продукция O₂ в глубжележащих горизонтах была даже выше, чем в верхних. Причина этого, вероятно, та же, что и в случае с микрофлорой, когда в осенние месяцы численность ее бывает большей в нижних горизонтах торфяника, еще не охлажденных. Активность других оксидоредуктаз – пероксидазы и полифенолоксидазы – в начальные сроки исследования была равна нулю.

В последующие сроки исследований (1992 г.) активность оксидоредуктаз увеличилась по всем вариантам (табл. 3). При этом, как и прежде, наибольшие значения, например, каталазы были отмечены в торфе с остаточным слоем в 1 м. В указанные сроки исследований каталазная активность в наибольшей степени зависела от у. б. в. С понижением у. б. в. она возрастала. Например, в июне в торфе с у. б. в. в 0.7 м она в 2 раза была выше по сравнению с торфом, у. б. в. в котором равен 1 м. Внесение удобрений в торф незначительно влияло на указанный энзим. Так, в августе, в слое 0–20 см, в торфе с N₆₀P₆₀K₆₀ количество выделившегося O₂ было равно 5.1 мл, а в торфе без удобрений (вариант 1) – 4.0 мл O₂. В июне в обоих вариантах объемы выделившегося газа при-

мерно одинаковы. Только в сентябре разница между указанными вариантами становится заметной: 3.9 и 0.8 мл O₂.

Относительно высокая каталазная активность наблюдается в естественной торфяной залежи. Здесь в июне и июле ее показатели были выше даже по сравнению с удобрением торфом. Только в августе и сентябре активность каталазы уступает таковой в торфе окультуриваемого участка, да и то лишь в самых верхних слоях. Подобное обстоятельство объясняется, вероятно, тем, что в торфе этого участка содержится много корней лесных растений, которые пронизывают весь профиль торфяника (в отличие от возделываемых злаков) и являются дополнительными, помимо микроорганизмов, продуцентами ферментов. В конце лета и осенью, в связи с охлаждением верхних слоев торфа, выделение O₂ здесь происходит относительно интенсивнее в глубже расположенных слоях.

В окультуриваемом участке торфяника, в его верхних слоях, осеннее охлаждение происходит не так резко, так как этому препятствует хорошо развитая дерновина злаковых трав, и поэтому здесь сохраняются более благоприятные условия для ферментных реакций.

Во все сроки исследований (с июня по сентябрь) происходило снижение каталазной активности с глу-

Таблица 3

Динамика каталазной активности остаточного торфа «Таган» в 1992 г.
(мл O₂ на 100 г абсолютно сухого торфа за 2 мин, n = 3)

Месяц	Глубина, см	Вариант, М ± m				
		1	2	3	4	5
Июнь	0–20	5.9 ± 0.8	3.0 ± 0.4	11.3 ± 1.1	6.1 ± 1.3	8.7 ± 2.0
	20–40	2.0 ± 0.1	1.0 ± 0.1	15.0 ± 2.0	3.1 ± 0.9	4.20 ± 0.05
	40–60	0.8 ± 0.1	0.3 ± 0.1	8.6 ± 2.3	3.2 ± 0.9	2.8 ± 0.1
	60–80	0.0	0.1 ± 0.1	7.0 ± 2.2	3.8 ± 0.6	–
	80–100	0.0	0.0	7.1 ± 3.1	1.2 ± 0.3	–
Июль	0–20	4.1 ± 0.4	3.6 ± 0.5	5.9 ± 1.2	1.60 ± 0.05	7.6 ± 1.9
	20–40	3.0 ± 0.2	1.5 ± 0.2	3.0 ± 0.2	0.9 ± 0.2	5.2 ± 2.0
	40–60	0.9 ± 0.2	0.50 ± 0.02	2.9 ± 0.1	0.70 ± 0.05	4.8 ± 0.3
	60–80	0.0	0.0	7.0 ± 0.5	0.40 ± 0.05	3.20 ± 0.02
	80–100	0.0	0.0	0.50 ± 0.01	0.30 ± 0.01	2.00 ± 0.05
Август	0–20	4.0 ± 0.4	3.1 ± 0.4	8.2 ± 1.7	5.1 ± 1.2	3.10 ± 0.05
	20–40	1.8 ± 0.1	0.9 ± 0.1	4.3 ± 1.1	4.20 ± 0.02	3.2 ± 0.1
	40–60	0.9 ± 0.1	0.80 ± 0.05	4.0 ± 1.0	3.1 ± 0.4	3.0 ± 0.9
	60–80	0.5 ± 0.2	0.5 ± 0.1	3.8 ± 0.5	1.30 ± 0.05	3.20 ± 0.05
	80–100	1.0 ± 0.1	0.5 ± 0.1	2.00 ± 0.03	0.90 ± 0.03	2.6 ± 0.2
Сентябрь	0–20	0.8 ± 0.2	1.2 ± 0.3	3.5 ± 1.1	3.9 ± 1.0	0.80 ± 0.01
	20–40	0.7 ± 0.1	0.9 ± 0.1	4.8 ± 1.5	2.7 ± 0.6	0.0
	40–60	0.0	0.0	4.5 ± 1.3	0.20 ± 0.05	1.3 ± 0.1
	60–80	0.0	0.0	4.6 ± 1.4	0.20 ± 0.02	1.00 ± 0.02
	80–100	0.0	0.0	0.0	0.0	0.90 ± 0.01

Примечания. Вариант 1: у. б. в. – 1 м, остаточный слой торфа – 1 м; вариант 2: у. б. в. – 1 м, остаточный слой торфа – 0.5 м; вариант 3: у. б. в. – 0.7 м, остаточный слой торфа – 1 м; вариант 4: у. б. в. – 1 м, остаточный слой торфа – 1 м, N₆₀P₆₀K₆₀; вариант 5: естественная залежь.

биной. При этом в торфе с у. б. в. 0.7 м и в естественной залежи она снижалась постепенно. В первом случае это объясняется, очевидно, лучшими условиями водно-воздушного режима, созданными при пониженном стоянии болотных вод, во втором случае – ярусным распределением корневой системы лесных растений в торфяной толще. В августе постепенное снижение активности каталазы наблюдалось уже по всем вариантам опыта. Очевидно, к концу лета прогрелись и нижние слои, а верхние охладились, что и привело к выравниванию условий по всей метровой толще торфяника.

При определении пероксидазной и полифенолоксидазной активности в 1992 г. максимальные их значения (соответственно 3.87 и 4.08 мл I₂ на 100 г абсолютно сухого торфа) были зафиксированы в июле на глубине 0–20 см в торфе, содержащем песчаный компонент. Как уже отмечалось, в этом варианте наблюдается и заметное увеличение числа микроорганизмов на КАА. Влияния удобрений на эти энзимы в указанные сроки исследований не наблюдалось.

Выводы

1. Возделывание злаковых трав положительно сказалось на микрофлоре остаточного торфа выработанного участка болотной экосистемы «Таган». Наиболее заметно рост микрофлоры на питательных средах активизировался в первый год рекультивации под воздействием удобрений.

2. Через 7 лет численность микроорганизмов изменилась незначительно в верхнем горизонте (0–20 см) и существенно увеличилась в глубже расположенных. Наиболее заметным был рост численности микроорганизмов, использующих минеральные источники азота. Это свидетельствует о возрастании активности минерализационных процессов по всей толще остаточного торфа.

3. Численность микроорганизмов была наибольшей в торфе с остаточным слоем в 1 м по сравнению с торфом толщиной 0.5 м (перемешанным с песчаным грунтом). В то же время в последнем преобладала микрофлора, трансформирующая минеральные формы азота; это свидетельствует о большей скорости минерализационных процессов в указанном торфе.

4. Влияние у. б. в. на активность микроорганизмов было различным: при у. б. в. в 1 м микроорганизмы лучше развивались в слое 0–20 см, а при у. б. в. в 0.7 м – в глубже расположенных слоях.

5. Оксидоредуктазная активность остаточного торфа также возросла в процессе его окультуривания. Активность каталазы была наибольшей в торфе толщиной в 1 м при у. б. в. в 0.7 м, а активность пероксидазы и полифенолоксидазы – в торфе с остаточным слоем в 0.5 м при у. б. в. в 1 м.

В целом активность оксидоредуктаз, особенно двух последних, характеризуется небольшими показателями, что свидетельствует о невысокой скорости распада и синтеза органических веществ в исследуемом торфе за указанный выше период.

Литература

1. Зименко Т.Г. Микрофлора торфа и ее изменения при окультуривании торфяников // Проблемы использования торфяных ресурсов Сибири и Дальнего Востока в сельском хозяйстве. Новосибирск, 1983.
2. Аникиев В.В., Лукомская К.А. Руководство к практическим занятиям по микробиологии. М., 1977.
3. Хазиев Ф.Х. Ферментативная активность почв. М., 1976.
4. Федоров А.И. Методы математической статистики в биологии и опытно-деловом деле. Алма-Ата, 1967.
5. Колешко О.И., Иванов Н.П. Влияние оптимизации мелиорированных торфяно-болотных почв на развитие микроорганизмов и урожай растений // Микробиологические процессы в почвах и урожайность сельскохозяйственных культур. Вильнюс, 1986.

УДК 574.4

Е.Е. Фомичёв, С.Е. Козлова, Т.Г. Угай

ВЛИЯНИЕ РИЗОТОРФИНА, ВОЗРАСТАЮЩИХ ДОЗ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ И ИХ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ БОБОВЫХ РАСТЕНИЙ

Томский государственный педагогический университет

Для повышения продуктивности бобовых культур необходимо при их возделывании, наряду с обычными агротехническими приемами, применять также предпосевную обработку семян ризоторфином, представляющим собою бактериальный препарат, насыщенный клубеньковыми бактериями соответствующего вида.

Эффективность симбиотической азотфиксации определяется комплексом факторов и условий, из

которых наибольшее значение имеют биологические особенности культур, генотипы растений и азотфиксирующих микроорганизмов, соответствие экологических условий потребностям конкретных макро- и микросимбионтов. Оптимизация и рациональное сочетание этих факторов дают возможность существенно повысить размеры азотфиксации [1].

Основным практическим приемом повышения продуктивности бобовых культур является иноку-