

УДК 631.412 : 631.417.7 : 631.417.2

Т. Т. ЕФРЕМОВА

**БИОХИМИЧЕСКИЕ И ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫЕ
ПРОЦЕССЫ НА ОСУШЕННЫХ БОЛОТАХ ЮГА
КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ**

В осушенных почвах низинных болот изучали групповой состав гумуса, активность ферментов класса оксидоредуктаз, интенсивность выделения CO_2 , Eh-потенциал, растворимость в воде кислорода и углерода. Обсуждается взаимообусловленность показателей, используемых в почвоведении для характеристики окислительно-восстановительного режима и биохимической активности почв.

Разложение растений-торфообразователей осуществляется биохимическим путем с участием биологических катализаторов — ферментов в условиях достаточной аэрации. Наибольший объем информации по этим вопросам получен для осушенных болот Европейской части СССР. В Восточной Сибири, где мелиорация гидроморфных почв только начинается, роль окислительно-восстановительного потенциала в биохимических процессах изучена слабо. Почти не изученным остается пока весь комплекс вопросов, связанных с осушением и освоением мелиорируемых болот в резко континентальных условиях Средней Сибири.

В настоящей работе рассматриваются результаты исследований, проведенных на Белоозерском болотном массиве евтрофного типа питания, расположенном в лесостепной зоне Красноярского края (Шарыповский район). Болото осушено в 1968 г. сетью открытых каналов, расположенных на расстоянии 200 м друг от друга. Торфяник распахан с оборотом пласта на глубину 30—35 см.

Исследования проводили в полевой период 1973 г. на 2 стационарных площадках, каждая из которых была разделена на 2 участка, расположенных в 25 и 100 м от осушителя. Почвенный покров на первой площадке представлен освоенными торфяными низинными почвами. Они развиты на маломощных травяных торфах, подстилаемых суглинками. Мощность торфяной залежи не превышает 1,5 м. Вторая площадка выбрана на освоенных торфяно-глеевых карбонатных почвах, сформированных на травяных торфах мощностью до 50 см, подстилаемых суглинками (по классификации Скрынниковой [16]).

Растительный покров на торфяных почвах образован преимущественно двумя ассоциациями: осоково-вейниковой и хвощево-осоковой. На торфяно-глеевых почвах выделено 12 ассоциаций. Из них наибольшее распространение имеют сложная василисниково-кровохлебково-разнотравная, хвощево-ситниковая, мятликовая, вейниковая и осоковая.

Состав гумуса изученных почв определяли по методу Кононовой и Бельчиковой [10]. Применение пирофосфатного метода связано, как известно, с использованием щелочной вытяжки без декальцирования. Это освобождало нас от длительного приема отмывки почв от карбонатов. В анализе было принято стандартное для торфяных почв отношение навески к растворителю, составляющее 1 : 100. Общий углерод определяли по методу Анстета в модификации Пономаревой и Николаевой [14], общий азот — по Кьельдалю.

Исследование активности почвенных ферментов проводили при естественной влажности. Деятельность пероксидазы определяли по методике Михлина и Бронювской [12], доработанной нами применительно к торфяным почвам. Активность фермента выражали в мг аскорбиновой кислоты за 2 мин на 1 г абсолютно сухой почвы при комнатной температуре. Каталазу учитывали газометрически в $\text{см}^3 \text{O}_2$ за 1 мин на 1 г абсолютно сухой почвы при комнатной температуре [11]. Интенсивность «дыхания» почвы (выделение CO_2) изучали по методу Карпачевского и Киселевой [8] и выражали в кг/га/час . Растворенный в воде кислород определяли по Винклеру, окисляемость воды — бихроматным методом [17].

Биохимические исследования сопровождались изучением сезонной динамики полевой влажности осушенных почв и их температурного режима. Систематически проводили замеры уровня почвенно-грунтовых вод.

Окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) измеряли в полевых условиях с помощью переносного рН-метра-милливольтметра в почве с ненарушенным сложением по методике Сердобольского [15]. Величину ОВП выражали по водородному электроду. Степень аэрированности почвы по данным Eh оценивали согласно прописи Вадюниной и Корчагиной [1].

Исследованные почвенные разности отличаются высокой зольностью, составляющей 7—42%. Большею частью это обусловлено наличием в них углекислого кальция, реже — гидратов окиси железа. В торфяно-глеевых почвах карбонаты имеют главным образом abiогенное происхождение. Они равномерно рассеяны в почвенной толще в виде мучнистых включений и придают торфу белесый оттенок. В торфяных почвах карбонаты встречаются в виде раковин пресноводных моллюсков. Некоторые физические и химические показатели почв Белоозерского массива приведены в табл. 1.

Изученные почвы отличаются неудовлетворительным тепловым и водным режимом. Массовые контрольные прикопки, проведенные на всей площади осушенного массива, показали, что мерзлотный горизонт даже в середине июня находился на глубине 28—30 см и простирался

Таблица 1

Некоторые химические и физические свойства осушенных почв Белоозерского болота

Удаленность от осушителя, м	Почва	Глубина, см	Вид торфа	Степень разложения, %	Зольность, %	рН водный	CO_2 карбонатов, %	Объемный вес, г/см^3	Полная влагоемкость, %
Первая площадка									
25	Торфяная	0—10	Осоково-вейниковый	22	10,59	7,03	6,65	0,20	465
		10—20	То же	29	8,26	6,99	6,70	0,20	453
		20—33	»	11	7,73	7,05	5,90	0,19	462
100	Торфяная	0—10	»	24	10,67	6,90	6,52	0,21	393
		10—20	»	29	9,00	7,01	6,30	0,22	401
		20—30	»	12	8,58	7,01	8,62	0,21	413
Вторая площадка									
25	Торфяно-глеевая карбонатная	0—10	Осоковый	44	42,19	7,53	13,83	0,22	400
		10—20	»	36	13,08	7,61	26,98	0,21	414
		20—30	»	38	39,35	7,59	48,77	0,25	336
100	Торфяно-глеевая карбонатная	0—10	»	40	22,54	7,56	20,16	0,23	381
		10—20	»	35	17,64	7,59	27,92	0,25	334
		20—30	»	37	13,74	7,65	31,93	0,25	334

до 110—130 см. Полное оттаивание на различных участках произошло в конце июля — начале августа. Однако линзы мерзлоты в отдельных местах сохранились в течение всего теплого периода. Естественно, что мерзлый слой изолировал корнеобитаемый горизонт от подпитывания грунтовыми водами. Высокая влагонасыщенность почв вызвана, таким образом, слабым поверхностным стоком надмерзлотной верховодки, обусловленного редкой сетью водорегулирующих каналов и отсутствием вертикального перемещения влаги из-за наличия мерзлого водоупора.

Торфяные почвы по сравнению с торфяно-глеевыми карбонатными отличаются большим содержанием органического углерода — 44—51 и 24—44% соответственно (табл. 2). При этом наименьшее содержание приурочено к слою 20—30 см. Подобное распределение органического углерода по профилю не характерно для торфяных почв [5, 6, 13]. Выявленная особенность связана со вспашкой с оборотом пласта. В результате генетически более зрелый слой торфа оказался на поверхности. Для отдельных горизонтов, главным образом для торфяно-глеевых почв, уменьшение содержания углерода связано с концентрацией здесь CaCO_3 .

Указанные почвы имеют практически равное количество валового азота: торфяные 1,6—3,2%, торфяно-глеевые 1,6—2,9%. С глубиной количество азота уменьшается. Отношение углерода к азоту в торфяных почвах составляет 14,98—27,74 по сравнению с 14,56—20,59 в торфяно-глеевых. Самое широкое отношение С: N присуще нижним слоям торфа (20—30 см), самое узкое — верхним (0—10 см).

Таким образом, величина отношения С: N свидетельствует о более высокой разложённости растительных остатков и о большей спелости торфа в торфяно-глеевых карбонатных почвах.

Количество гумусовых веществ, извлекаемых смесью $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{NaOH}$, в исследованных почвах составляет 23,16—27,92% от общего углерода. Каких-либо особенностей в их содержании в связи с положением почв относительно осушителя, а также в их распределении по профилю не обнаружено. Это свидетельствует о медленных темпах гу-

Таблица 2
Содержание и состав гумуса в осушенных почвах Белоозерского болота

Удаленность от осушителя, м	Глубина, см	С общий, %	N общий, %	С: N	С, % от общего, извлекаемый смесью $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 + \text{NaOH}$			Остаток по разности	Сгк:Сфк	С фракций, % от общего Сгк	
					всего	Гк	Фк			свободный и связанный с R_2O_3	связанный с кальцием
Первая площадка											
25	0—10	48,38	3,23	14,98	24,53	12,94	11,60	75,47	1,12	69,65	30,35
	10—20	43,12	2,73	15,79	27,16	14,36	12,80	72,84	1,12	70,76	29,24
	20—30	40,24	1,78	22,61	25,15	14,12	11,03	74,85	1,28	70,25	29,75
100	0—10	51,28	2,71	18,92	23,56	12,66	10,90	76,44	1,16	66,10	33,90
	10—20	49,34	2,31	21,35	23,16	12,25	10,91	76,84	1,12	63,91	36,09
	20—30	44,10	1,59	27,74	25,17	13,00	12,17	74,83	1,15	61,34	38,66
Вторая площадка											
25	0—10	44,85	2,97	15,10	24,48	12,46	12,02	75,52	1,04	47,05	52,95
	10—20	39,82	2,41	16,52	25,89	13,28	12,61	74,11	1,05	49,72	50,28
	20—30	24,03	1,41	17,04	27,92	12,94	14,98	72,08	0,86	51,13	48,87
100	0—10	42,26	2,93	14,56	25,76	11,79	13,97	74,24	0,84	44,13	55,86
	10—20	38,71	2,48	15,61	26,25	12,04	14,21	73,75	0,85	46,99	53,00
	20—30	31,92	1,55	20,59	24,91	12,41	12,50	75,09	0,99	46,46	53,54

мификации растений-торфообразователей в связи с неудовлетворительной работой осушительных каналов и отсутствием других, кроме гидро-мелиоративных, приемов воздействия на почву.

Выявлено, что торфяно-глеевые почвы обнаруживают тенденцию к увеличенному выходу гумифицированных продуктов. Вместе с тем они несколько уступают торфяным почвам по содержанию гуминовых кислот. Отсюда следует, что гумусовые вещества торфяно-глеевых почв более мобильны по сравнению с гумусом торфяных. Доказательством этого служат также анализы цветности почвенных вод и содержание водно-растворимого углерода. Там, где обнаружены самые низкие значения Сгк : Сфк, воды в течение лета были наиболее окрашены. Даже в июле-августе их цветность варьировала от 40 до 96°, а количество углерода составляло 14—26 мг/л (табл. 3).

Таблица 3

Некоторые показатели почвенно-грунтовых вод в торфяно-глеевых почвах, 1973 г.

Дата отбора и анализа вод	Уровень грунтовых вод, см	Температура воды, °С	рН	Цветность (градусы)	Бихроматная окисляемость		Растворенный O ₂	
					С, мг/л	O ₂ , мг/л	мг/л	процент насыщения
6.VI	20,0	7,5	7,0	87	20,77	55,38	2,50	22,26
16.VI	6,0	8,0	7,0	90	19,69	52,50	2,50	26,42
26.VI	10,05	9,0	7,0	95	25,11	66,96	2,10	18,96
6.VII	0,00	9,0	7,0	96	25,51	68,03	0,51	5,03
16.VII	26,5	10,4	7,1	73	24,18	65,84	3,98	36,52
26.VII	30,5	10,4	7,3	84	22,40	59,73	3,30	30,84
6.VIII	52,0	10,3	7,9	40	13,48	35,95	6,72	62,12

Примечание. 26.VIII и в последующие сроки вода в смотровых колодцах глубиной 100 см отсутствовала.

Фракционный состав гуминовых кислот обнаруживает четкую зависимость от содержания в почвах углекислого кальция. Так, в торфяных почвах в составе гуминовых кислот доминируют свободные и связанные с полуторными окислами фракции. Они составляют 61,3—70,7% от общего количества гуминовых кислот. На долю более устойчивых к разложению гуминовых кислот, связанных с кальцием, приходится 30—38%.

На участках с торфяно-глеевыми карбонатными почвами содержание черных гуминовых кислот, как правило, превышает содержание бурых или равняется ему. Такое соотношение фракций следует считать благоприятным, поскольку оно способствует оструктурированию почвенных горизонтов, накоплению гуминовых кислот и в какой-то мере уменьшает вынос гумусовых веществ с дренажными водами.

В качестве показателей биохимической активности осушенных почв использовали деятельность ферментов класса оксидоредуктаз — каталазы и пероксидазы, а также интенсивность «дыхания» почвы (выделение CO₂).

Продукция углекислого газа в почве обуславливается, как известно, комплексом факторов: работой почвенных животных и микроорганизмов, деятельностью корней высших растений, характером ферментативного разложения органических остатков, скоростью диффузии CO₂, метеорологическими условиями сезона и т. д.

На торфяных почвах за период наблюдений количество углекислоты практически было равным независимо от положения участка относительно осушителя. На участке, расположенном в 25 м, выход CO₂ составлял 2,6—10,2, а на участке, расположенном в 100 м — 2,9—11,9 кг/га/час. Несколько интенсивнее по сравнению с торфяными почвами

происходило выделение углекислого газа на торфяно-глеевых карбонатных. Между тем здесь также не обнаружено тесной зависимости этого показателя от расстояния до осушителя. Выделение углекислого газа на участке в 25 м от канала составляло 3,6—13,2 и в 100 м — 4,0—13,0 кг/га/час. На этом основании сезонную динамику CO_2 в изученных почвах можно рассматривать на примере любого участка. Рассмотрим данные, полученные на середине 100-метровых межканавных полос.

Сезонная изменчивость выделения углекислого газа на торфяных и торфяно-глеевых почвах достаточно выражена и в смысле тенденций имеет сходный характер (рис. 1). Обнаруживается четко выраженное уменьшение выделения CO_2 от раннелетнего к осеннему периоду. За время наблюдений некоторое увеличение количества углекислоты обычно приходится на середину каждого месяца. Как правило, это совпа-

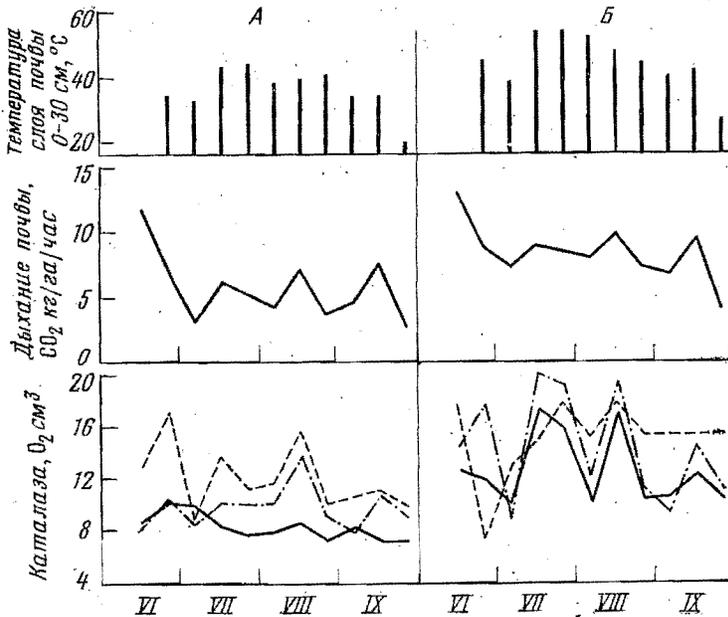


Рис. 1. Взаимосвязь активности каталазы, продуцирования CO_2 почвой и термического режима в сезонной динамике

А — торфяные, Б — торфяно-глеевые карбонатные почвы

дает с повышением тепловых запасов корнеобитаемого слоя (сумма температур за все сроки наблюдений). Сезонная динамика режима тепла в летний период выражена слабо. Тем не менее влияние ее на продуцирование CO_2 очевидно.

Степень тесноты и характер выявленной взаимосвязи, а также количественная зависимость между величинами признаков устанавливалась методом регрессионного анализа. Расчеты выполнены на ЭВМ «Наири» по имеющейся программе. Статистическую оценку уравнений проводили по остаточным дисперсиям ($S_{y \text{ ост}}^2$), индексам детерминации (I^2) и критерию F -Фишера [4]. Для удобства анализа полученных связей была рассчитана величина I^2 , соответствующая тому или иному уровню значимости критерия F . Уравнения признавались значимыми с вероятностью 0,999; 0,99; 0,95, когда $I^2 \geq 0,719$; 0,541; 0,362 соответственно.

Статистически значимая связь между интенсивностью выделения CO_2 и температурой почвы установлена в верхнем (0—20 см) слое торфяно-глеевой карбонатной почвы. Связь является тесной и выражается уравнением гиперболы, которое отражает прямую по направленности

зависимость между величинами признаков. Для слоев 0—10 и 10—20 см уравнения имеют соответственно следующий вид:

$$y = 11,544 - 37,975 \frac{1}{x} \quad (1)$$

$$r^2 = 0,621,$$

$$y = 14,408 - 65,415 \frac{1}{x} \quad (2)$$

$$r^2 = 0,638,$$

где y — интенсивность выделения CO_2 , x — температура почвы.

Выявленная связь «дыхания» почвы с ее температурой объясняет выделение большего количества CO_2 из торфяно-глеевых почв по сравнению с торфяными, как более холодными. Определенное значение имеют физико-химические особенности названных почв. Проявляются они в частности в значениях pH: щелочных в торфяно-глеевых почвах и нейтральных в торфяных. Кроме того, разница определяется, вероятно, и содержанием в них корней высших растений. Влияние последних на продуцирование CO_2 в осушенных почвах установлено ранее [2, 7]. В частности, на Белоозерском массиве проективное покрытие растениями торфяно-глеевых почв составляет 80—90%, на торфяных не превышает 50—55%. Не менее существенную роль в большем выделении CO_2 из торфяно-глеевых почв играет повышенная по сравнению с торфяными скорость трансформации органического вещества. Групповой и фракционный состав гумуса этих почв (табл. 2) свидетельствует в пользу высказанного положения. Косвенным доказательством служат также данные активности ферментов класса оксидоредуктаз.

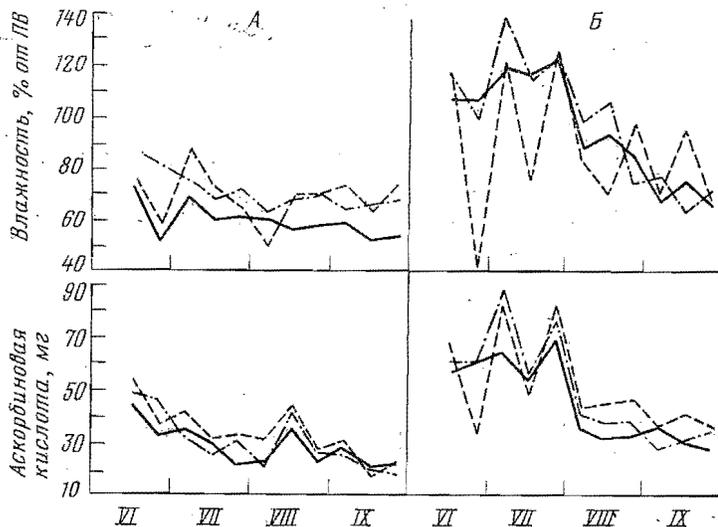


Рис. 2. Изменение активности пероксидазы под влиянием влажности

Обозначения см. рис. 1

В деятельности почвенных энзимов на различных участках болота обнаруживаются те же особенности, которые отмечены для продуцирования углекислоты (рис. 1, 2).

Во-первых, торфяно-глеевые карбонатные почвы по сравнению с торфяными обладают более высокой активностью. Деятельность каталазы здесь составляет 7—20 $\text{см}^3 \text{O}_2$, пероксидазы — 28—88 мг аскорбиновой кислоты. На торфяных почвах соответственно 6—17 $\text{см}^3 \text{O}_2$ и 16—54 мг

аскорбиновой кислоты. Во-вторых, активность ферментов не обнаруживает зависимости в связи с удаленностью почв от канала. Так, на торфяно-глеевой почве в 25 м от осушителя активность каталазы составляла 7,5—20 см³, в 100 м — 7—20 см³ O₂; пероксидазы — соответственно 32—74 и 28—88 мг аскорбиновой кислоты. В-третьих, верхний 10-сантиметровый слой, как правило, биохимически менее активен и на торфяных, и на торфяно-глеевых почвах.

Такой необычный факт является, по всей видимости, результатом произведенной вспашки с оборотом пласта. В итоге на глубине 20—30 см оказался погребенным верхний биологически активный слой целинной залежи, богатый свежим органическим веществом. Очевидно, важнейшим источником почвенных энзимов в торфяных почвах служат слаборазложившиеся растительные остатки. Этим, вероятно, и следует объяснить их более высокую по сравнению с минеральными почвами ферментативную активность.

В сезонной активности каталазы на торфяных и торфяно-глеевых почвах выявлено 4 максимума, приходящихся в основном на середину каждого месяца с июня по сентябрь включительно (рис. 1). Изменчивость активности каталазы достаточно четко сочетается с температурным режимом почвы и продукцией CO₂.

Статистически подтвердим это на примере активности каталазы в связи с продуцированием углекислоты. Значимая связь, слабая и тесная, выявлена в нижнем слое (20—30 см) торфяной почвы и в верхнем (0—20 см) торфяно-глеевой карбонатной.

В торфяной почве зависимость выражается уравнением прямолинейной регрессии:

$$y = 5,722 + 1,214x \quad (3)$$

$$I^2 = 0,454,$$

где y — активность каталазы, x — интенсивность выделения CO₂.

На основании параметров представленного уравнения повышение продукции CO₂ на 1 кг/га/час сопровождается повышением активности каталазы на 1,214 см³ O₂.

Для торфяно-глеевой карбонатной почвы указанная зависимость выражается уравнением регрессии квадратической параболы. Для слоев 0—10 и 10—20 см оно имеет следующий вид:

$$y = 23,339 - 4,936x + 0,428x^2 \quad (4)$$

$$I^2 = 0,480,$$

$$y = 28,908 - 6,906x + 0,608x^2 \quad (5)$$

$$I^2 = 0,553.$$

Графически данным уравнениям соответствует теоретическая линия регрессии, представляющая собой восходящую ветвь параболы, которая отражает повышение активности каталазы при увеличении продукции CO₂.

Выраженной зависимости сезонной динамики каталазы от режима влажности не установлено. Однако наибольшая деятельность фермента обнаруживается, как правило, при влажности 60—75% от полной влагоемкости (ПВ).

Изучение активности пероксидазы имеет особый смысл при исследовании процессов трансформации органического вещества почв. Согласно Кононовой [9], синтез гумусовых веществ в почвенной среде осуществляется главным образом биохимическим путем при участии полифенолоксидазы и пероксидазы. Фенолоксидазы катализируют реакцию окисления полифенолов в хиноны, которая предшествует конденсации полифенолов с аминокислотами и протеинами.

В этом свете намечается определенная зависимость состава гумуса исследуемых почв с деятельностью в них пероксидазы. Так, повышенной

активности пероксидазы в торфяно-глеевых почвах соответствует фульватно-гуматный состав гумуса, его более сильно выраженная мобильность, а также более переработанное органическое вещество, судя по величине отношения C : N и фракционному составу гуминовых кислот.

На торфяных и торфяно-глеевых почвах динамика пероксидазы имеет сходный характер и более выражена в летний период (рис. 2). С начала сентября деятельность фермента снижается и остается в таком положении до конца наблюдений. Сезонная активность не обнаруживает связи по срокам наблюдений ни с активностью каталазы, ни с продукцией углекислоты. Однако намечается хорошо выраженная прямая зависимость деятельности пероксидазы от влажности почвы.

Статистически значимая связь установлена в слое 10—20 см торфяной почвы и во всем 30-сантиметровом слое торфяно-глеевой карбонатной. Зависимость выражается уравнениями показательной функции и свидетельствует о резком увеличении активности пероксидазы по мере повышения влажности.

В торфяной почве связь отличается слабой теснотой и имеет вид:

$$y = 6,628e^{0,00028x^2}$$

$$r^2 = 0,408, \quad (6)$$

где y — активность пероксидазы, x — влажность почвы, e — основание натурального логарифма.

В горизонтах 0—10, 10—20 и 20—30 см торфяно-глеевой почвы связь между признаками является весьма тесной. Она выражается соответственно следующими уравнениями:

$$y = 20,514e^{0,000077x^2}$$

$$r^2 = 0,815, \quad (7)$$

$$y = 23,397e^{0,000068x^2}$$

$$r^2 = 0,828, \quad (8)$$

$$y = 27,874e^{0,000081x^2}$$

$$r^2 = 0,598. \quad (9)$$

Очевидно, что высокая влагонасыщенность почв не угнетает деятельности фермента. На снижение активности ферментов в торфяных почвах после осушения указывают другие авторы [3, 7].

Анализ взаимосвязи активности пероксидазы с другими факторами среды показывает наличие обратной зависимости деятельности фермента от содержания растворенного в воде кислорода и прямой зависимости от количества водно-растворимого гумуса (табл. 3).

Полученные материалы о биохимических процессах в изученных почвах представляют не только научный интерес. Они могут быть использованы и для решения практических задач. Так, реконструкция существующей системы должна проводиться с учетом свойств торфяных и торфяно-глеевых почв. Последние биохимически более активны по сравнению с торфяными, характеризуются меньшим запасом и лучшей переработанностью органического вещества, увеличенным выходом гумифицированных продуктов, фульватно-гуматным составом гумуса и его большей мобильностью. Поэтому на участках с торфяно-глеевыми почвами следует ориентироваться прежде всего на ускоренный сброс весенних талых вод. Сильное понижение почвенно-грунтовых вод, обеспечивающее интенсивное осушение, может вызвать непроизводительные потери органической массы, в том числе и в результате выноса частиц торфа под влиянием ветровой эрозии. Пыльные бури, главным образом в апреле-мае, возникающие вследствие сильных ветров, характерны для района исследований.

Изучение окислительно-восстановительного режима в болотных избыточно-увлажненных и недостаточно аэрированных почвах является

актуальным. В связи с широким развитием за последнее время мелиоративных работ данные вопросы приобретают особое значение в теории и практике освоения осушенных земель.

При изучении окислительно-восстановительного режима в торфяно-глеевых почвах выявлено, что значения E_h в течение теплого периода сильно варьировали. На участке в 25 м от осушителя величина E_h равнялась 226—498 мв, а на участке в 100 м — 175—482 мв. Следовательно, на протяжении вегетации аэрация в почве была затруднена. На обоих участках показатели ОВП по горизонтам почвы, а также сезонная динамика ясно выражены и обусловлены прежде всего режимом почвенно-грунтовых вод. Отчетливо проявилось три периода (рис. 3, А, Б).

1. Величина ОВП в верхнем 30-сантиметровом слое составила 175—380 мв, что свидетельствует о преобладании восстановительных процессов. При этом почвенно-грунтовые воды находились в пределах 30-сантиметровой почвенной толщи. Наибольшие значения E_h в этот период отмечены в слое 0—10 см. С глубиной эти показатели резко уменьшаются, и в нижней части профиля они в 1,5—2 раза меньше, чем у поверхности. Максимальные величины ОВП в данный период зафиксированы в конце июня в верхнем (0—20 см) слое почвы. Последующее уменьшение потенциала обусловлено, вероятно, резким увеличением влажности почв. За 10 дней с конца июня до начала июля увлажненность почвы увеличилась от влажности ниже или равной ПВ до величины, превышающей ПВ (рис. 2, Б). Только в слое 20—30 см в течение всего периода анаэробнозиса происходило увеличение потенциала, не выходявшего, однако, за пределы редокс значений. Некоторое увеличение значений E_h вызвано, очевидно, увеличением в почвенно-грунтовых водах количества растворенного кислорода. Так, с 26.VI по 6.VIII степень насыщенности вод кислородом постепенно нарастала с 13 до 62% и составила 1,4—6,8 мг/л (табл. 3).

2. Переходный период от анаэробнозиса к окислительным условиям среды, во время которого величины ОВП всего за 10 дней резко возросли с 215 до 440 мв. На участке с торфяно-глеевыми почвами в 25 м от осушителя это произошло с 26.VII по 6.VIII, в 100 м — с 6.VIII по 16.VIII. Изменение условий аэрации вызвано освобождением почвенной толщи от гравитационной влаги.

Стеkanie происходило в предшествующие 10 дней после падения уровня почвенно-грунтовых вод ниже 30-сантиметрового слоя. При достижении влажности почв, близкой к значениям ПВ (84—112%), происходит резкий подъем E_h до величины нормально аэрируемых почв. Зна-

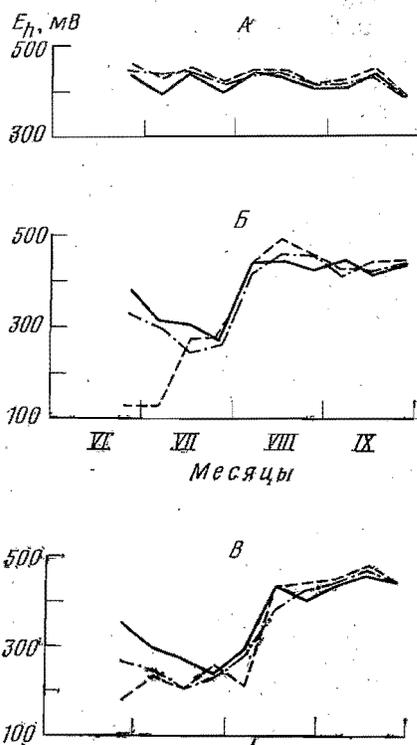


Рис. 3. Динамика окислительно-восстановительного состояния осушенных почв

А — торфяные, Б — торфяно-глеевые карбонатные почвы в 25 м от осушителя, В — торфяно-глеевые карбонатные почвы в 100 м от осушителя

чения окислительно-восстановительного потенциала практически равны по всем глубинам измерения.

3. Период отличается преобладанием окислительных процессов, в пределах которого величина потенциала колеблется в узком диапазоне и составляет 400—490 мв. В 25 м от осушителя это фиксировалось с начала августа, в 100 м — с середины августа. Своеобразие периода заключается в некотором уменьшении значений ОВП сверху вниз. Можно предположить, что оно определяется активностью почвенных энзимов, в присутствии которых протекают здесь окислительно-восстановительные процессы. Выше отмечалось, что верхний 10-сантиметровый слой биохимически менее активен по сравнению с нижележащим. Кроме того, в верхних горизонтах разложение органического вещества протекает интенсивнее, что в условиях дефицита кислорода приводит к более быстрому уменьшению значений E_h по сравнению с нижележащими слоями почвы. По всей вероятности, существуют и другие причины.

На торфяных почвах к началу наблюдений верхние (0—30 см) слои были свободны от почвенно-грунтовых вод. При этом влажность почвы в пределах данного слоя за вегетационный период варьировала от 40 до 92% от ПВ. Величины ОВП характеризуют условия аэробно-зиса.

Значения E_h в 25 и 100 м от осушителя практически равны и составляют соответственно 391—461 и 388—457 мв. Сезонная динамика выражена слабо (рис. 3, А). Показатели ОВП по горизонтам близки друг к другу. Однако меньшие величины отмечены в верхнем слое (0—10 см), с глубиной увеличиваясь. Как и в торфяно-глеевых почвах, это свидетельствует о влиянии биохимических превращений на ход окислительно-восстановительных процессов в почве.

Таким образом, после освобождения верхнего 30-сантиметрового слоя почвы от грунтовых вод здесь создаются условия с преобладанием окислительных процессов. Однако достижение благоприятного воздушного режима в почве происходит не сразу вслед за снижением почвенно-грунтовых вод. Как видно из приведенных данных, оно наступает спустя 20 дней. Отсюда вытекает вывод о необходимости понижения уровня вод в верхнем 30-сантиметровом слое почвы в возможно более ранний период. Для лесостепной зоны Красноярского края с учетом мерзлотных явлений следует ориентироваться на 20—25 мая.

Наши суждения об окислительно-восстановительных процессах в почве складываются на основании прямого измерения E_h , по данным активности ферментов-оксидоредуктаз, по интенсивности выделения из почвы CO_2 и другим показателям.

Если проанализировать в этом плане полученные данные, то выявляется связь самого общего порядка. Для торфяно-глеевых почв, которые характеризуются повышенной в течение всего периода наблюдений биогенностью по сравнению с торфяными, наблюдаются несколько большие показатели E_h только после снижения уровня грунтовых вод ниже 30 см. В этих же условиях наблюдается аналогичная зависимость и по горизонтам почвы.

По опытным данным можно считать, что сезонная активность ферментов и ОВП чаще всего не совпадает и скорее проявляет обратную связь. Особенно заметно это выразилось в деятельности пероксидазы в торфяно-глеевых почвах. Так, максимум активности фермента (июнь, июль) соответствует показателям E_h , характеризующим среду, близкую к полному анаэробнозису. Не обнаружено также выраженной зависимости E_h от количества выделившейся углекислоты и активности каталазы.

Следовательно, оценку окислительно-восстановительного состояния почв по материалам биохимических исследований нужно проводить с

большой осторожностью. Поэтому более надежным критерием окислительно-восстановительного режима гидроморфных органогенных почв следует признать пока данные Eh-потенциала.

Выводы

1. Повышенной активности пероксидазы на торфяно-глеевых карбонатных почвах по сравнению с торфяными соответствует более гумифицированное органическое вещество.

2. Сезонная динамика пероксидазы проявляет прямую зависимость от влажности почв и количества водно-растворимого гумуса и обратную от содержания растворенного в воде кислорода. Связи с деятельностью каталазы не установлено.

3. Выявлено наличие прямой связи между активностью каталазы, интенсивностью выделения CO_2 и термическим режимом почв.

4. Не обнаружено четкого соответствия окислительно-восстановительного состояния почв сезонной направленности биохимических процессов. Более достоверная характеристика окислительно-восстановительного режима гидроморфных почв получена по данным Eh-потенциала.

5. Материалы по биохимической характеристике и окислительно-восстановительному режиму почв могут быть использованы для обоснования способов и степени осушения мелиорируемых болот в сельском и лесном хозяйстве.

Литература

1. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв и грунтов. «Высшая школа», 1973.
2. Вомперский С. Э. Биологические основы эффективности лесосушения. «Наука», 1968.
3. Головкин Э. А., Переверзев В. Н. Изменение активности некоторых ферментов в торфяных почвах под влиянием окультуривания. В кн.: Сборник докладов симпозиума по ферментам почвы. Минск, 1968.
4. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. Изд. МГУ, 1972.
5. Ефимов В. Н. Аккумуляция и миграция веществ в торфяных почвах. Автореф. дис. Л.— Пушкин, 1973.
6. Ефремова Т. Т. Изменение органического вещества торфяных почв под влиянием осушения и естественного облесения. Автореф. дис. Новосибирск, 1971.
7. Ефремова Т. Т. Влияние осушения и лесной растительности на биохимические процессы в торфяных почвах. В кн.: Комплексная оценка болот и заболоченных лесов в связи с их мелиорацией. Новосибирск, «Наука», 1973.
8. Карпачевский Л. О., Киселева Н. К. О методике определения и некоторых особенностях выделения CO_2 из почв под широколиственно-еловыми лесами. Почвоведение, 1969, № 7.
9. Кононова М. М. О биохимизме процесса образования гуминовых кислот. Микробиология, т. 18, 1949, вып. 2.
10. Кононова М. М., Бельчикова Н. П. Ускоренный метод определения состава гумуса минеральных почв. В кн.: Органическое вещество целинных и освоенных почв. «Наука», 1972.
11. Методы биохимического исследования растений. «Колос», 1972.
12. Михлин Д. М., Броновицкая З. С. Иодометрический метод определения полифенолоксидазы и пероксидазы. Биохимия, т. 14, 1949, вып. 4.
13. Пигулевская Л. В., Раковский В. Е. Изменение химического состава отдельных видов торфа в зависимости от их возраста. Тр. Ин-та торфа, т. 6, Минск, 1957.
14. Пономарева В. В., Николаева Т. А. К методике изучения органического вещества в торфяно-болотных почвах. В кн.: Современные почвенные процессы в лесной зоне Европейской части СССР. Изд. АН СССР, 1959.
15. Сердобольский И. П. Методы определения pH и окислительно-восстановительного потенциала при агрохимических исследованиях. В кн.: Агрохимические методы исследования почвы. «Наука», 1965.

16. *Скринникова И. Н.* Классификация целинных болотных и мелиорированных торфяных почв СССР. Почвоведение, 1964, № 5.
17. Унифицированные методы анализа вод. Л., Гидрометеоздат, 1973.

Институт леса и древесины
им. В. Н. Сукачева СО АН СССР

Дата поступления
31.III.1977 г.

T. T. EFREMOVA

**BIOCHEMICAL AND OXIDATION-REDUCTION PROCESSES
IN DRAINED SOILS OF THE SOUTH KRASNOYARSK TERRITORY**

Humus group composition, the activity of the oxidoreductase ferments, the intensity of CO₂ outgo, E_n=potential and the solubility in water of oxygen and carbon have been studied in drained soils of low moors.
