

УДК 631.62

## ИНТЕНСИВНОСТЬ ЗАИЛЕНИЯ ДРЕНАЖА ЖЕЛЕЗИСТЫМИ СОЕДИНЕНИЯМИ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДРЕНАЖНОЙ СИСТЕМЫ

П. А. ВОЛКОВСКИЙ, З. Я. СВЕТЛИЧНАЯ, Н. Н. ДУБЕНОК

(Кафедра геодезии и мелиорации)

Рассматриваются вопросы изменения интенсивности заиления дренажа железистыми соединениями в зависимости от способов защиты закрытого керамического дренажа — применения ингибиторов, изменения уклонов дрен, качества защиты стыков между дренажными трубками и глубокого рыхления между дренами, а также физико-химические свойства торфяной почвы при 20-летней эксплуатации осушительной системы.

При строительстве осушительных систем в торфяных грунтах резко меняются биогенный режим и естественное равновесие процессов, что влияет на характер микробиологических и химических процессов, приводит к изменению состава грунтовых вод и почвогрунтов. На участках, осушаемых дренажем, грунтовые воды выносят из глубин восстановленное железо как в ионной форме, так и в форме комплексных соединений. В зоне аэрации происходит их частичное окисление с образованием гидрата окиси железа, который адсорбируется почвенной толщей торфяников. Другая часть этих соединений попадает в дренажные воды, осаждается в полости дренажных труб или выносится в открытые каналы.

В задачи данной работы входило: установить интенсивность заиления дрен гидратированными оксидами железа, определить характер изменения осадка, выявить особенности действия защитных материалов и ингибиторов на заиление дренажа, а также рассмотреть изменение свойств торфяных почв в результате осушения закрытым керамическим дренажем.

Для изучения поставленных вопросов в 1964 г. в пойме р. Яхромы был построен опытный участок. Гидрологическое исследование его показало, что коренные породы поймы сложены мощными юрскими глинами, на которых залегают флювиогляциальные пески мощностью до 6 м. Выше расположены озерные отложения мощностью до 14 м, представленные переслаивающимися песками и глинами. Над ними залегают торфяники, покрытые аллювием в приустьевой части поймы реки.

В этой толще находится несколько водоносных горизонтов. Наиболее мощный из них — нижнеапский, дающий напорную воду и питающий торфяники поймы. Выше залегает менее мощный верхнеапский горизонт грунтовых вод, играющий большую роль в заболачивании данной территории [2]. Кроме того, имеются небольшие водоносные горизонты в моренных отложениях и флювиогляциальных песках. Таким образом, в заболачивании участков поймы р. Яхромы принимают участие несколько водоносных горизонтов [3].

В пределах опытного участка выявлены следующие виды почв: пойменные дерновые среднесуглинистые на погребенном торфянике, перегнойно-торфяные мощные на осоково-древесном торфянике и перегнойно-торфяные гипновые мощные. По ботаническому составу торфяные горизонты неоднородны: пахотный слой (0—20) представлен древесно-осоковым торфом, подпахотный — осоковым, а слой, находящийся ниже, — древесно-тростниковым.

До строительства осушительной системы участок ежегодно затоплялся паводковыми водами. На его поверхности вода застаивалась длительное время. Уровень грунтовых вод не опускался ниже 10—20 см от поверхности почвы даже в середине лета. После строительства закрытой осушительной сети уровень грунтовых вод поддерживается на

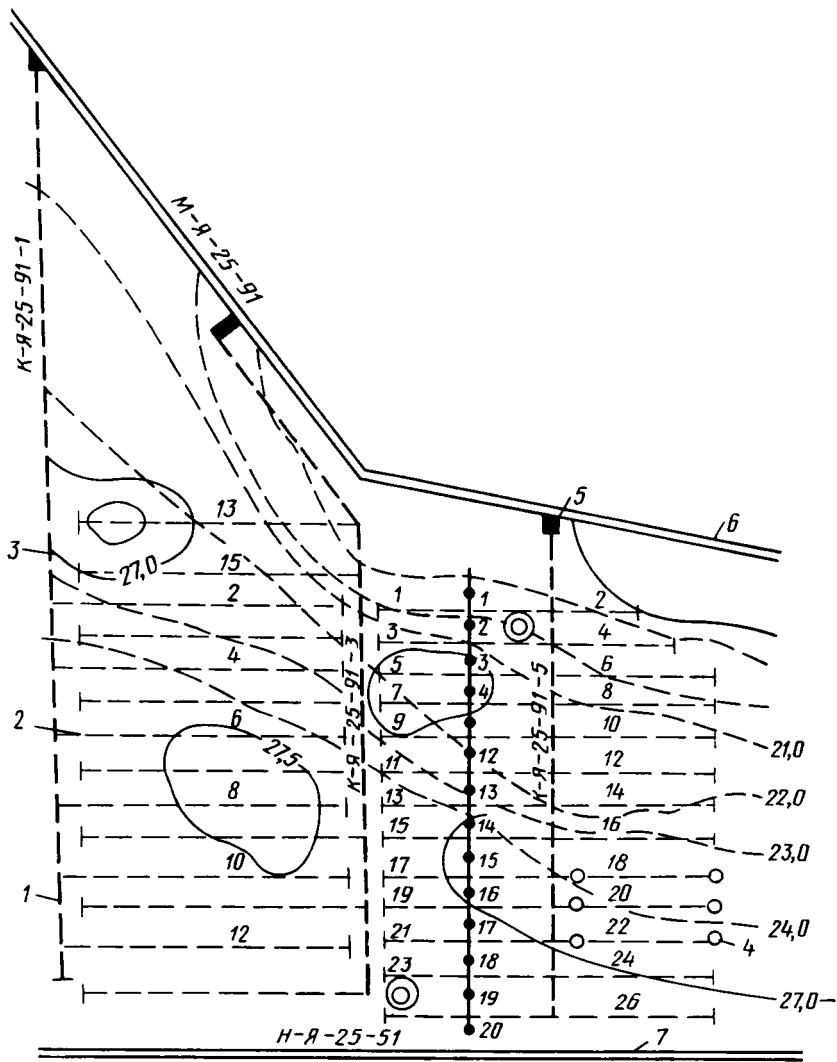


Рис. 1. План осушительной сети опытного участка.

1 — коллектор; 2 — гончарные дрены; 3 — границы почвенной разности; 4 — промывные колодцы; 5 — устье; 6 — магистральный канал; 7 — нагорно-ловчие каналы.

глубине, удовлетворяющей требованиям роста и развития сельскохозяйственных культур (60—110 см).

Осушительная система на опытном участке представлена открытым магистральным каналом М-Я-25-91, нагорно-ловчим каналом Н-Я-25-51, коллекторами К-Я-25-91-1, К-Я-91-3, К-Я-91-5, К-Я-91-7. Регулирующей частью осушительной системы является горизонтальный закрытый керамический дренаж (рис. 1).

### Методика

На коллекторе К-Я-91-7 были уложены опытные дрены, в которых согласно схеме опыта (табл. 1) использовали разные защитные материалы и ингибиторы.

В 1964 г. в период строительства осушительной системы были определены физико-химические свойства осушаемых почв и грунтовых вод [3].

В течение первых 5 лет ежегодно весной, летом и осенью отбирали образцы грунта,

наилка из дрен и грунтовой воды для определения химического состава. Чтобы выявить степень и характер заиления дрен, их вскрывали в 1967, 1975, 1980 и 1985 гг. Для определения интенсивности осадки торфяника через каждые 5 лет производили нивелировку поверхности почвы вдоль дрен и коллекторов.

Грунты анализировали: на содержание в них  $Fe_2O_3$  — объемным йодометрическим

методом по ГОСТ 10538—63,  $Al_2O_3$  — фотозлектроколориметрическим методом с алюминоном по ГОСТ 1038—63,  $P_2O_5$  — аммиачным методом по ГОСТ 13452—68, общего азота — методом Кьельдаля в модификации Голубева, на зольность — по ГОСТ 11306—65, степень разложения органического вещества — по ГОСТ 10650—65.

Для химического анализа грунтовых вод использовали методику, изложенную в работе А. А. Резникова [1]. Пробы воды брали с глубины ниже уровня грунтовых вод на 20 см.

## Результаты

Анализ торфяной почвы (табл. 2) показал, что за 20 лет кислотность ее изменилась только в слое, расположенном выше плоскости заложения дрен. Так, если до строительства дренажа значение  $pH_{вод}$  в слое 0—70 см составляло 5,5—5,6, то через 10 лет — уже 6,1—6,3 во всем осушаемом слое. В течение следующих 10 лет этот показатель не менялся, что связано с внесением извести и минеральных удобрений, со стабилизацией биохимических процессов в условиях сформировавшегося под влиянием дренажа водного режима.

Одновременно в этом же слое почвы увеличились степень разложения торфа и его зольность. В более глубоких слоях значение данных показателей изменялось мало в течение всего периода исследований.

В осушаемом слое почвы содержание водорастворимых и легкогидролизующихся веществ, гуминовых и фульвиновых кислот повышалось с увеличением срока эксплуатации дренажа, а содержание целлюлозы, лигнина и битумов со временем уменьшалось, особенно значительно в пахотном горизонте.

В слое ниже плоскости заложения дрен, где постоянно сохранялся анаэробный процесс, в течение 20 лет работы дренажа изучаемые составляющие органического вещества торфа практически не менялись (табл. 3).

Фракционный состав органического вещества торфяной почвы зависит прежде всего от сезонных изменений качественного и количествен-

Т а б л и ц а 1

Схема опыта

№ дрены	Уклон	Длина, м	Зазор, мм	Защитный материал	Используемые ингибиторы	Норма ингибиторов
1	0,004	110	0,6—1,2	Битумная шлаковата	—	—
2	0,008	35	0,6—1,2	—	—	—
3	0,003	110	1—2	Мох	Медный купорос + огарок	5 кг на 1 пог. м.
4	0,003	110	1	—	—	—
5	0,004	110	1—2,5	—	Медный купорос 4-огарок	5 кг на 1 пог. м.
6	0,005	105	1,2	—	—	—
7	0,004	110	1,5—2	Мох 2 см	Гипс с известью	2:1
8	0,002	110	0,7—1,7	Битумная шлаковата	—	—
9	0,0035	110	1,2—2	Мох	Фосфоритная мука	10 кг на 1 пог. м
10	0,0035	110	2,0	То же	То же	10 кг на 1 пог. м
11	0,002	110	2	» »	Известь	—
12	0,002	110	1,2—2,2	» »	То же	—
13	0,002	110	0,7—2,5	» »	Гипс с известью	2:1
14	0,0035	110	1,5—2,5	Битумная шлаковата	То же	—
15	0,0015	110	1,5—2,5	Мох	—	—
16	0,002	110	1,8—2,8	То же	—	—
17	0,002	110	1,0—1,7	—	—	—
18	0,002	110	1,5—2,3	Мох	—	—
19	0,002	110	1,3—2,7	—	—	—
20	0,002	110	1,5—2,8	Мох	На дрене установлены промывные шахты по Нойдекеру	—

Изменение свойств торфяной почвы за 1964—1984 гг.

Глубина взятия об- разца, см	рНвод			Степень разложения, %			Зольность, %		
	1964	1974	1984	1964	1974	1984	1964	1974	1984
5—30	5,6	6,3	6,4	35,0	45,0	50,0	43,0	47,1	51,0
30—50	5,5	6,2	6,2	40,0	43,0	48,0	30,1	35,1	37,4
70—80	5,5	6,1	6,1	35,0	43,0	46,0	15,0	17,6	18,4
100—120	5,5	5,7	5,8	35,0	40,0	41,0	12,8	13,6	13,8
150—170	5,5	5,6	5,6	30,0	30,0	30,0	12,0	12,0	12,0

Примечание. Ботанический состав торфяной почвы в слое 5—30 см: осоковые — 50, древесные — 35, тростник — 15 %; в слое 30—50 см: осоковые — 70, ольха — 20, тростник — 10 %; в слое 70—80 см: тростник — 35, древесные — 30, вахта — 25, гипнум — 10 %; в слое 100—120 см: по видам тот же при содержании 45, 40, 10 и 5 %; в слое 150—170 см: древесные — 55, тростник — 35, вахта — 10 %.

ного состава микроорганизмов, который, в свою очередь, определяется водным режимом и условиями аэрации почвы. Наиболее интенсивное развитие азотобактера и грибов наблюдалось в августе — сентябре, а азотфиксирующих бактерий — в июле (рис. 2). Наибольшая численность микроорганизмов также приходилась на июль.

При изучении изменений элементного состава органического вещества торфа в период наблюдений установлена тенденция к повышению в верхних слоях 0—80 см содержания азота и кислорода и снижению содержания углерода, водорода и серы (табл. 4). С глубиной увеличивалось содержание углерода, водорода, а количество остальных элементов уменьшалось. В горизонте заложения дрен (100—120 см) отмечено более низкое содержание анализируемых элементов. Это можно объяснить выносом растворимых веществ с дренажной водой. На глубине

Таблица 3

Изменение фракционного состава органического вещества торфа (в %) за 1964—1984 гг.

Год	Гуминовые кислоты	Фульвокис- лоты	Водорастворимые и легкогидролизуемые вещества	Целлюлоза	Лигнин	Битумы
Слой 5—30 см						
1964	25,8	28,2	34,8	2,7	5,6	1,8
1974	26,0	29,6	36,3	1,6	3,7	1,7
1984	28,4	31,2	37,1	0,8	2,1	1,3
Слой 30—50 см						
1964	28,4	26,2	33,1	2,5	6,2	2,9
1974	27,4	27,8	33,1	2,0	5,1	2,8
1984	28,6	28,4	33,4	1,7	4,3	2,3
Слой 70—80 см						
1964	28,5	26,1	31,0	2,3	8,0	3,0
1974	27,6	27,9	33,3	2,0	6,0	2,9
1984	28,4	28,1	33,7	1,8	4,0	2,7
Слой 100—120 см						
1964	28,6	25,8	30,4	2,2	8,6	3,2
1974	27,5	26,1	31,2	1,8	7,2	3,0
1984	27,4	26,3	31,8	1,7	6,9	2,7
Слой 150—170 см						
1964	29,1	25,8	30,2	2,0	9,1	3,6
1974	28,8	26,1	30,6	1,8	8,9	3,4
1984	28,7	26,2	30,8	1,7	8,6	3,3

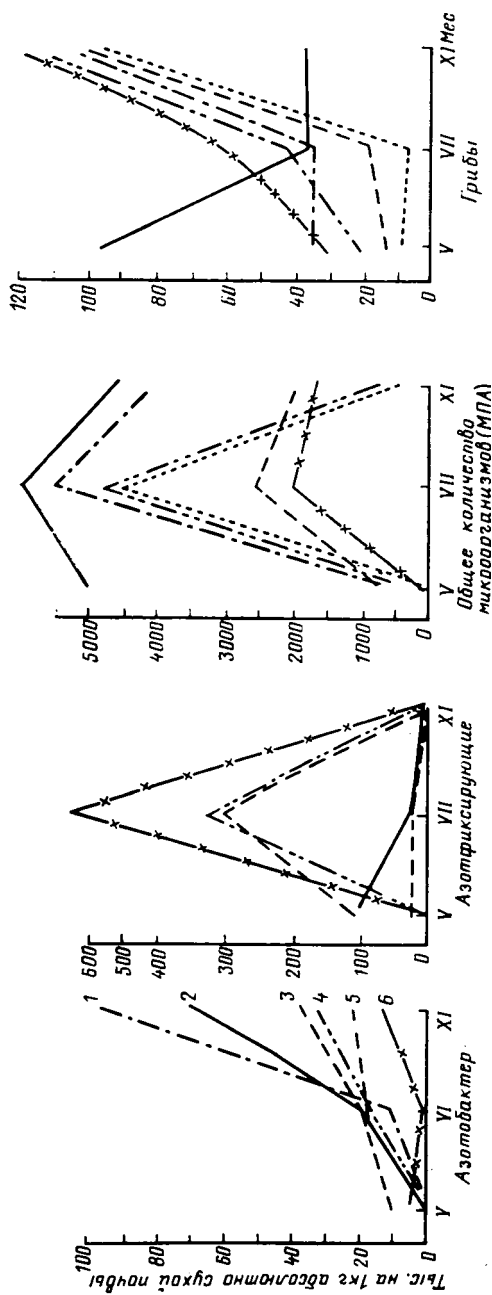


Рис. 2. Содержание микроорганизмов в торфянике (тыс. на 1 кг абсолютно сухой почвы).

1 — пастбище, 0—10 см; 2 — пашня, 70—80 см; 3 — пашня, 0—10 см; 4 — пастбище, 40—50 см; 5 — пашня, 0—10 см; 6 — пастбище, 70—80 см.

ниже заложения дренажа элементный состав осушаемых торфов в процессе их использования не изменялся.

Содержание зольных элементов уменьшается вниз по почвенному профилю, и только количество железа и алюминия увеличивается с глубиной (табл. 5). В процессе использования торфов увеличивалось только содержание азота, количество остальных элементов со временем уменьшалось. На глубине ниже залегания дренажа содержание зольных элементов не изменялось во времени.

В грунтовых водах наибольшая концентрация железа отмечена в апреле — мае, затем она снижалась до минимума в июле (рис. 3). Содержание закисного железа в грунтовой воде вновь повышалось в октябре. Таким образом, во всех вариантах опыта значение этого показателя зависело от степени увлажненности осушаемого слоя почвы, т. е. с уменьшением влажности последнего улучшался воздухообмен и соответственно снижалась концентрация закисного железа.

Применяемые ингибиторы по-разному влияли на содержание двухвалентного железа в дренажном стоке. При использовании медного огарка не наблюдалось снижения данного показателя, а в вариантах с известью, фосфоритной мукой и гипсом +

известь в первые 3 года концентрация двухвалентного железа в дренажном стоке резко снизилась. В последние годы она изменялась незначительно. Следовательно, применяемой в опыте нормы ингибиторов хватило только на 5 лет. Таким образом, для продления их действия необходим по трассам дрен вновь вносить ингибиторы через каждые 5 лет.

Исследование скорости осаждения железа в дренажных трубах показало, что только в первые 3 года ингибиторы, внесенные на дно траншеи, резко снижают скорость осаждения оксидов железа (рис. 4).

В июне 1971 г. были проведены опыты по изучению интенсивности осаждения гидратированных оксидов железа в дренах при глубоком рыхлении между дренами с внесением ингибиторов на глубину 50 см. Для этого между дренами 17, 19, 21 при глубокой обработке на глубину 50 см была внесена фосфоритная мука из расчета 5 кг на 1 м<sup>2</sup>, а между дренами 18, 20, 22 — известь в таком же количестве. Наблюдения

Таблица 4

Элементный состав органического вещества торфа (мг на 100 г абсолютно сухого вещества)					
Год	C	H	N	S	O <sub>2</sub>
Слой 5—30 см					
1964	50,0	5,8	3,2	0,9	40,0
1974	48,2	5,6	4,7	0,8	40,6
1984	46,4	5,4	5,1	0,7	40,8
Слой 30—50 см					
1964	52,5	5,8	2,8	0,8	38,0
1974	51,2	5,7	3,8	0,8	38,4
1984	50,1	5,5	4,2	0,8	38,6
Слой 70—80 см					
1964	52,7	5,9	2,5	0,7	38,1
1974	51,2	5,7	2,8	0,6	39,6
1984	50,1	5,6	3,0	0,6	39,6
Слой 100—120 см					
3964	52,8	5,9	2,3	0,2	38,5
1974	50,9	5,8	2,4	0,2	41,2
I 1984	49,4	5,6	2,4	0,2	41,2
Слой 150—170 см					
1964	53,0	5,9	2,2	0,2	37,6
1974	52,8	5,8	2,3	0,2	37,7
1984	52,8	5,8	2,3	0,2	37,6

Таблица 5

Содержание зольных элементов в торфе  
(мг на 100 г абсолютно сухого вещества)

Год	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Слой 5- 30 см							
1964	2,3	6,7	0,9	6,3	3,5	4,7	2,8
1974	2,6	6,7	0,8	1,8	0,9	3,1	2,6
1984	2,8	6,7	0,8	1,7	0,8	2,8	2,5
Слой 30—50 см							
1964	2,1	0,4	0,9	5,9	3,2	5,8	2,6
1974	2,3	0,4	0,7	1,7	0,8	3,1	2,5
1984	2,5	0,4	0,7	1,4	0,7	2,4	2,4
Слой 70—80 см							
1964	1,7	0,4	0,6	3,6	2,1	5,6	4,5
1974	1,8	0,1	0,2	1,7	0,6	4,6	4,1
1984	1,9	0,1	0,2	1,8	0,6	4,4	3,8
Слой 100—120 см							
1964	1,7	0,3	0,6	2,7	1,8	7,3	4,7
1974	0,4	0,1	0,1	0,6	0,4	5,8	4,1
1984	0,8	0,1	0,1	0,6	0,4	5,4	4,0
Слой 150—170 м							
1964	1,3	0,3	0,4	2,7	1,7	8,1	4,7
1974	1,2	0,3	0,4	2,7	1,7	7,9	4,6
1984	1,2	0,3	0,4	2,6	1,6	7,8	4,7

показали, что в течение 3 лет скорость осаждения железа в обработанных дренах была в 5 раз ниже, а толщина наилка в 5—7 раз меньше, чем в необработанных.

Следовательно, при атмосферно-грунтовой типе водного питания и при повышенном содержании железа в толще торфяника выше заложения дрен периодическое глубокое рыхление с внесением ингибиторов может защитить дренажи от заиливания.

Немаловажную роль в процессе заиливания дренажа железистыми соединениями играют длина и уклон дрен. При прочих равных условиях из дрены 2, заложеной с уклоном 0,008, полностью выносился весь образовавшийся осадок; в дрене 6 с уклоном 0,005 и зазором менее 1,5 мм через 3 года эксплуатации была минимальная толщина наилка.

Исследования показали, что при диаметре хлопьев менее 1 см критическая скорость их выноса равна 0,25 м/с, при диаметре 1—2 см — 0,30 м/с, более 2 см — 0,35 м/с. Так как возможны и более крупные хлопья (до 3 см), скорость воды в керамических дренах должна быть более 0,35 м/с, а уклон дрен — более 0,0045.

Размеры зазора оказывают существенное влияние на заиливание дрен в грунтах, где возможен вынос частиц грунта с дренажными водами. В нашем опыте дренажи 2, 4, 6 были заложены с минимально допустимыми зазорами (менее 1,2 мм), что соответствует ГОСТ. Для того чтобы достичь этого, торцы дренажных труб были притерты на наждачном точиле и осуществлена более тщательная их укладка. Во всех этих дренажах заиливание было значительно меньше, чем в дренажах с зазорами более 2 мм.

### Выводы

1. При осушении торфяника закрытым дренажем изменяются физико-химические свойства осушаемого его слоя 0—80 см: повышаются

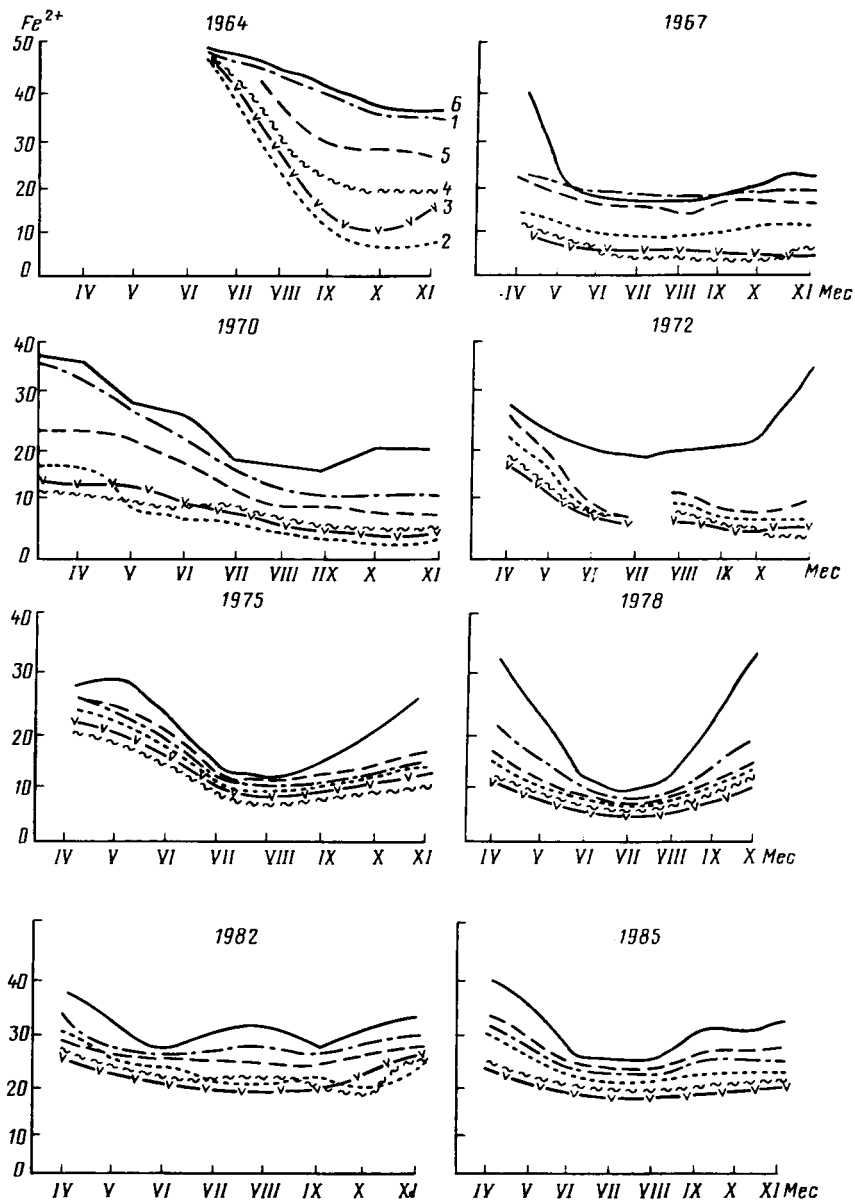


Рис. 3. Содержание  $Fe^{2+}$  в грунтовой воде и дренажном стоке.  
 1 — медный огарок; 2 — фосфоритная мука; 3 — известь; 4 — гипс с известью; 5 — контроль; 6 — грунтовая вода.

зольность и степень разложения торфа, увеличивается на 3 % содержание гуминовых и фульвокислот, а количество целлюлозы, лигнина и битумов снижается примерно в 3 раза.

2. В процессе использования осушаемых торфяных почв при явно выраженном промывном режиме содержание азота не снизилось, а всех остальных элементов заметно уменьшилось в подпахотном слое почвы.

3. Наиболее интенсивное развитие азотобактера и грибов в почвенном профиле осушаемого торфяника наблюдалось в августе—сентябре, а азотфиксирующих бактерий — в июле.

4. Содержание железа в грунтовой воде находится в прямой зависимости от влажности почвы. Наиболее высоким (до 40 мг/л) оно было в апреле—мае и значительно ниже (5 мг/л) — в июле, а в октябре вновь отмечено его повышение (до 30 мг/л).

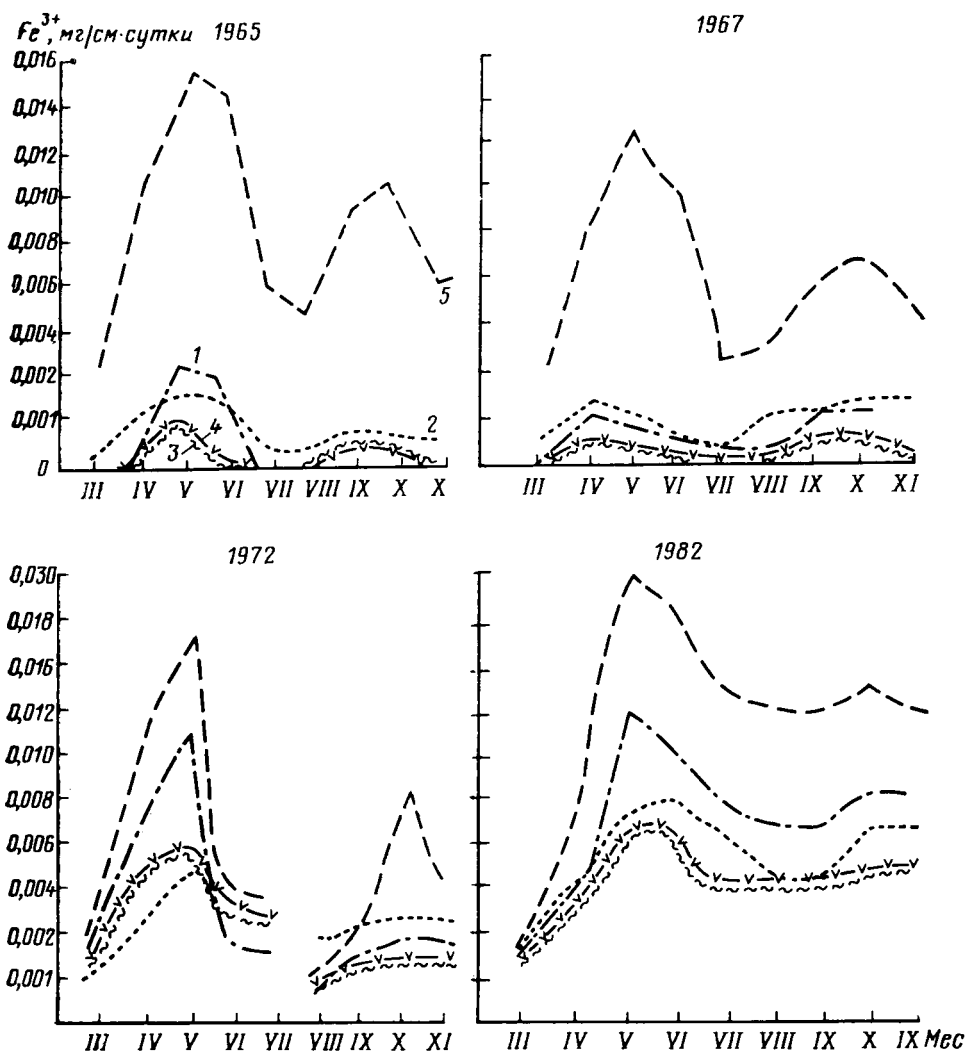


Рис. 4. Осаждение  $Fe^{3+}$  в дренах.  
Обозначения те же, что на рис. 3.

5. При внесении медного огарка не уменьшилось содержание закисного железа в дренажном стоке, но осаждение оксидов железа в дренах этого варианта сократилось за счет токсичного воздействия меди на железобактерии.

6. Применение гипса с известью и фосфоритной муки резко снизило содержание железа в грунтовой воде (с 40 до 3 мг/л) в первые 5 лет, в последующие годы концентрация железа в дренажном стоке была примерно одинаковой во всех дренах. Соответственно и осаждение гидратированных оксидов железа в первые 5 лет было значительно меньше в этих дренах, чем в тех, где ингибиторы не применялись.

7. Рыхление между дренами и внесение на глубину 50—60 см фосфоритной муки и извести снизили скорость осаждения гидроксидов железа в дренах в 5 раз. Действие такой обработки наблюдалось в течение 2—3 лет.

8. При содержании железа в грунтовой воде более 20 мг/л необходимо для предотвращения заиливания дренажа гидратированными оксидами железа внесение ингибиторов. Помимо этого, длина дрен не должна превышать 100 м, уклоны не должны быть менее 0,0045, а зазоры —



превышать 1—2 мм. Защиту стыков следует проводить шлаковатой или стеклохолстом слоем 0,5—1 см.

9. Осушение глубоких торфяников изменяет направление почкообразовательных процессов; соединения железа, находящиеся в восстановленной растворимой форме, переходят в окисные соединения, что приводит к их осаждению в дренах и закупорке закрытых осушительных систем.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Резников А. А., Муликовская Е. П., Соколов И. Ю. Методы анализа природных вод. — М.: Госгеологтехиздат, 1963. — 2. Смирнов А. В. Осушение и освоение лугов и пастбищ. — М.: Колос, 1968. — 3. Хруцкая З. Я. Заиливание дренажа железистыми соединениями. — М.: Колос, 1970.

Статья поступила 10 февраля 1987 г.

#### SUMMARY

After 20 years of operation of drainage system the percentage of ash and the degree of peat decomposition in the 0—80 cm layer of dried peat soil increased. The amount of humic acids and fulvoacids increased by 3 %, and that of cellulose, lignin and bitumens decreased approximately three times, the content of other elements getting lower, too. In the layer under drain the composition of the ground remained practically the same. The highest amount of iron in water (40 mg/l) was in April—May, the lowest (5 mg/l) — in July; in October there was an increase (up to 30 mg/l). The action of inhibitors was efficient only in the first 3—5 years, when the rate of sedimentation of ferrous compounds in drain hollows sharply decreased. It is possible to prevent further silting of the drain and to provide its long operation at atmospheric-ground type of water supply by deep loosening of interdrain and application of inhibitors. Besides if there is more than 20 mg/l of ferreun in water, the length of drains should be not more than 100 m, drain fall — not less than 0.0045, gap — not more than 2 mm; there should be also circular drain protection with 2—3 layers of glass-fibre mat.