

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПОЧВ И КАЧЕСТВА ВОДЫ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЛИТЕЛЬНОГО ЗАТОПЛЕНИЯ

В. И. САВИЧ, ФАН ЕКУАНЬ, Н. А. КРУТИЛИНА
(Кафедра почвоведения)

Обобщены результаты модельного лабораторного эксперимента, в котором изучались изменения ряда параметров почвы и поверхностной почвенной воды при длительной инкубации почвенных образцов в условиях их затопления. Показано, что метод лабораторного моделирования процессов затопления почв может быть использован для прогнозирования изменений системы почвенная среда — поверхностные воды.

Интенсивное орошение почв и создание искусственных водохранилищ приводят к увеличению степени гидроморфизма территории, оглеению в отдельных частях почвенного профиля, ухудшению агрономических свойств переувлажненных и подтопляемых почв. Для предупреждения отрицательных последствий мелиоративных и гидротехнических мероприятий необходимо прогноз изменения свойств почв и качества напочвенной воды при длительном затоплении. Эти вопросы изучались нами в условиях модельного лабораторного эксперимента.

Объектом исследования служили почвы различного генезиса и механического состава, резко различающиеся по свойствам: пойменная дерновая и пойменная торфяная Вологодской области, лугово-черноземная Краснодарского края, дерново-подзолистая слабоокультуренная и дерново-подзолистая окультуренная Московской области, солонец степной черноземный малонатриевый Оренбургской области, каштановая Волгоградской области. Исследовали горизонты A_{II} всех почв, а также горизонт ВС каштановой почвы. Характеристика поч-

венных объектов приведена в работе [2].

Образцы почв компостировали в 3-кратной повторности в течение 60 дней при температуре 20 и 40 °С и влажности, превышающей полную влагоемкость (1 см воды над образцом). Через каждые 10 дней в почвенном растворе и поверхностной воде определяли рН, Eh, NO_3^- , NH_4^+ , содержание К и Са на иономере ЭВ-74 с хлорсеребряным электродом сравнения и электродами на исследуемые ионы, Fe и Mn — на атомном абсорбционном спектрофотометре, фосфора — на фотозлектроколориметре. На основании полученных результатов рассчитывали значения rH_2 , $\Delta Eh:\Delta pH$, $\Delta Eh:\Delta t$, $\Delta Fe:\Delta t$, $\Delta Mn:\Delta t$, разницу между изучаемыми величинами в почвенном растворе и поверхностной воде (напряженность концентрированных и электрохимических потенциалов на границе почвенный раствор — почва), соотношения $NO_3^-:NH_4^+$, Са:К, Fe:Mn, характеризующие степень проявления анаэробнобиозиса, теоретические значения растворимости Са, Fe, Mn, P_2O_5 при данных условиях среды. При разработке изучаемых вопросов была предложена следующая ра-

бочая гипотеза: изменение концентрации ионов в почвенном растворе и напочвенной воде при длительном затоплении можно предсказать теоретически на основе данных об эффективной растворимости труднорастворимых осадков этих ионов, возможных в рассматриваемых условиях. Значение эффективной растворимости осадков зависит от времени взаимодействия и температуры, хотя величина такой зависимости для разных почв будет неоднозначной, в первом приближении в расчетах может быть установлено единое значение коэффициента кинетики. Изменение свойств почв и качества поверхностной воды с течением времени определяется буферными свойствами первых. Агрономическая оценка почв по мере развития анаэробнозиса не может быть полностью проведена только по величине Eh, гН₂, важно учитывать концентрацию ионов в растворе и их соотношение.

Закономерности изменения свойств почв при затоплении

В табл. 1 представлены данные об окислительно-восстановительном (показатель Eh) состоянии почв, компостированных в условиях избыточного увлажнения. Данные усреднены по всем почвам и повтор-

ностям (n=24). Большое значение ошибки среднего арифметического свидетельствует о значительном варьировании изучаемых показателей почв различных типов (табл. 1). Однако, несмотря на их варьирование и условность, наблюдается следующая тенденция изменения свойств почв в условиях длительного затопления — подщелачивание среды, снижение Eh, гН₂, увеличение содержания подвижных форм Mn и P₂O₅. Эта тенденция соответствует литературным данным.

В то же время соотношение NO₃:NH₄ в почвах (при компостировании) достоверно не снизилось. Очевидно, в почвах отдельных типов при анаэробнозисе возможно увеличение NO₃ за счет гидролиза ряда соединений. При увеличении анаэробнозиса во всех случаях содержание Fe в почвенном растворе не возросло. Это может быть связано как с подщелачиванием среды и выпадением в осадок Fe(OH)₂, Fe(OH)₃, так и с образованием FeS (ПР=4,0·10⁻¹⁹) и менее растворимого, чем Fe(OH)₂ (ПР=1,6·10⁻¹⁵), стренгнита (FePO₄·2H₂O) с ПР=25 и FeH₂PO₄(OH)₂ с ПР=35. При развитии анаэробнозиса содержание водорастворимого железа не всегда

Таблица 1

Окислительно-восстановительное состояние почв, компостированных в условиях избыточного увлажнения (M ± m)

Время компостирования и температура	гН ₂	pH	Eh, мВ по ХСЭ	Fe, мг/л	Mn, мг/л	P ₂ O ₅ , мг/100 г	Ca:K
10 сут							
20 °С	24 ± 4	6,89 ± 0,83	316 ± 91	6,6 ± 13,0	9,6 ± 12,9	0,20 ± 0,09	115 ± 106
40 °С	21 ± 3	6,98 ± 0,71	207 ± 71	6,7 ± 13,0	7,9 ± 12,5	0,28 ± 0,16	113 ± 110
60 сут							
20 °С	18 ± 2	7,1 ± 0,53	110 ± 58	0,9 ± 1,7	12,0 ± 7,7	0,37 ± 0,07	31 ± 4
40 °С	17 ± 1	7,37 ± 0,26	52 ± 29	3,2 ± 6,8	14,4 ± 18,9	0,38 ± 0,12	19 ± 14

увеличивается, что сказывается на соотношении Fe:Mn. Интересно отметить тенденцию к уменьшению в почвенном растворе соотношения Ca:K при увеличении степени анаэробнозиса, что наряду с интенсивным выходом K из K-содержащих минералов обусловлено преимущественным поглощением двухвалентных катионов. Возможно, этот показатель может служить дополнительным критерием оценки степени гидроморфизма. При повышении температуры наблюдаются подщелачивание почв, уменьшение значений Eh, гН₂ и повышение доли подвижных соединений Fe, Mn, P₂O₅. Однако изменение температуры обуславливает изменение как растворимости соединений, так и констант обмена, неоднозначное для

всех типов почв и всех ионов.

В то же время во всех типах почв процессы восстановления идут с затратой тепла и снижением Eh, гН₂ при повышении температуры очевидно. По мере повышения температуры в ППК при прочих равных условиях многовалентные катионы по сравнению с одновалентными сравнительно легче поглощаются компонентами ППК, а среди равновалентных — катионы с более высокой энергией гидратации. В связи с этим при температуре 40 °С соотношение Ca:K (гидратация K = -80,6, а Ca = -380,8 ккал/моль) уменьшается.

В табл. 2 приведены данные об изменении свойств почв конкретных типов при развитии анаэробнозиса. Из них видно, что почвы различ-

Таблица 2

Изменение свойств почв при их компостировании в течение 10 (числитель) и 60 дней (знаменатель) в условиях избыточного увлажнения (t=20 °С, p=3)

Почва	Eh, мВ по ХСЭ	рН	Mn, мг/л	K, 10 ⁻⁵ Ca, 10 ⁻³		P ₂ O ₅ , мг/100 г
				моль/л		
Пойменная	175	6,7	5,6	1,1	2,9	0,2
	33	7,1	9,1	19,3	26,9	0,4
Торфяная	248	5,8	40,0	52,2	13,1	0,4
	57	6,5	21,0	49,9	11,9	0,5
Солонец	259	7,7	18,0	0,9	0,4	0,2
	104	7,6	2,3	9,9	1,1	0,4
Лугово-черноземная	230	6,8	1,7	3,4	5,5	0,2
	80	7,1	4,4	25,1	4,5	0,3
Дерново-подзолистая: слабоокультуренная (OK ₁)	402	5,5	0,0	8,9	3,3	0,2
	235	6,1	12,5	13,1	0,9	0,3
хорошо окультуренная (OK ₃)	407	7,5	0,5	2,0	1,3	0,2
	129	7,7	25,0	24,0	2,6	0,3
Каштановая:	410	7,1	0,6	3,3	0,4	0,2
	140	7,1	5,2	121,8	2,5	0,3
	400	7,9	10,6	6,9	20,9	0,1
	105	7,6	16,2	48,1	18,0	0,3

ных типов различаются по величине изучаемых параметров. Минимальное значение Eh через 10 дней компостирования характерно для лугово-черноземной почвы и пойменной дерново-глеевой, минимальное содержание подвижного Fe — для лугово-черноземной почвы, где Fe, очевидно, вымыто, и горизонта ВС каштановой почвы.

Низкое значение Eh не всегда совпадает с повышенной или токсичной концентрацией водорастворимых форм соединений Fe и Mn. В то же время при избыточном увлажнении в отдельных почвах соотношение Ca:K может снизиться до значений, ограничивающих доступность Ca, а соотношение Fe:Mn измениться до значений, ограничивающих доступность Fe и Mn или токсикацию ими.

Зависимость изменения свойств почв при затоплении от их буферной способности

Свойства почв при избыточном увлажнении изменяются, очевидно, в зависимости от их буферной емкости, которая у почв разных типов была неодинаковой (табл. 3). С агрономической точки зрения важно знать скорость изменения показателей при затоплении почвы и их величину при компостировании. Значение Eh снизилось при компостировании пойменной дерновой, торфяной и лугово-черноземной почвы при температуре 20 °С, т. е. у почв, находившихся ранее в соответствии с генезисом в условиях избыточного увлажнения. Однако в связи с низким значением Eh у этих почв соотношение $\Delta Eh:\Delta t$ (при T—10—60 сут) уже на 10-й день компостирования было невелико. Указанные почвы проявляли буферную способность в интервале Eh от 50 до 200 мВ (остальные почвы — от 200 до

400 мВ). В почвенном растворе указанных объектов на 10-й день компостирования содержалось и наибольшее количество Mn. При дальнейшем компостировании почвенных образцов содержание Mn увеличивалось незначительно, значение $\Delta Mn:\Delta t$ было небольшим. Аналогичная закономерность отмечена и в изменении содержания Fe. Образцы, содержащие наибольшее количество водорастворимых форм соединений Fe, на 10-й день компостирования имели меньшее значение $\Delta Fe:\Delta t$ за период 10—60 сут. Наибольшее значение $\Delta pH:\Delta t$ свойственно торфяной и

Таблица 3
Изменение свойств избыточно увлажненных почв в зависимости от буферной емкости (T=60 сут)

Почва	$\Delta pH:\Delta t$	$\Delta Eh:\Delta t$	$Eh_{мин}$
<i>При t=20 °С</i>			
Пойменная	0,007	—2,84	33
Торфяная	0,015	—3,82	57
Солонец	—0,0026	—3,1	104
Лугово-черноземная	0,0054	—3,0	80
Дерново-подзолистая:			
OK ₁	0,0128	—3,34	235
OK ₃	0,0034	—5,6	127
Каштановая:			
A _п	—0,0008	—5,4	140
BC	—0,005	—5,9	105
<i>При t=40 °С</i>			
Пойменная	0,019	—1,5	30
Торфяная	0,019	—2,36	14
Солонец	0,0014	—3,78	43
Лугово-черноземная	0,008	—1,2	117
Дерново-подзолистая:			
OK ₁	0,0184	—4,8	57
OK ₃	0,0002	—1,9	57
Каштановая:			
A _п	0,0012	—4,8	32
BC	—0,006	—4,6	62

дерново-подзолистой слабокультуренной почвам с более кислой реакцией.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о наличии зависимости между буферностью почв и их емкостью, активностью и концентрацией изучаемых компонентов в растворе. При больших активности e^- (электронов) и концентрации Fe и Mn на 10-й день компостирования величины $\Delta E_h:\Delta t$ (60—10), $\Delta Fe:\Delta t$ (60—10) и $\Delta Mn:\Delta t$ (60—10) оказались ниже.

Окислительно-восстановительные процессы в почве зависят от соотношения $\Delta E_h:\Delta pH$, которое, как обычно встречается в литературе, равно 59 мВ на единицу pH. В действительности значения могут меняться в зависимости от констант диссоциации функциональных групп

органического вещества, растворимости преобладающих осадков при различных значениях E_h и pH среды. В табл. 4 приведены абсолютные значения $\Delta E_h:\Delta pH$ в нашем опыте.

Значения $\Delta E_h:\Delta pH$ при их вычислении за период 10—30 сут в основном ниже, чем за период 10—60 сут (табл. 4). Для торфяной, пойменной дерново-глеевой, дерново-подзолистой слабокультуренной почв эти значения минимальны. Низкие значения данного показателя свидетельствуют о том, что изменение E_h сопровождается значительным изменением pH среды, т. е. восстановление обусловлено преимущественно действием H_2 , а не присоединением электрона, как это отмечается для кислых почв и почв, частично восстановленных в связи с генезисом.

Таблица 4

Значение $\Delta E_h:\Delta pH$ в почвах при их компостировании в условиях избыточного увлажнения

Почва	Температура, °C	$\Delta E_h:\Delta pH$	
		10—60 сут	10—30 сут
Пойменная	20	—406	—88
	40	—79	—33
Торф	20	—255	—181
	40	—124	—48
Солонец	20	1192	324
	40	—2700	—137
Лугово-черноземная	20	—556	—788
	40	—150	—90
Дерново-подзолистая:			
	ОК ₁	20	—261
	40	—261	—259
ОК ₃	20	—1647	—2850
	40	—9500	—367
Каштановая:			
	A _n	20	6750
	40	—4000	—154
BC	20	1180	216
	40	767	7000

Агрономическая оценка степени проявления анаэробнозиса

Отрицательное влияние анаэробнозиса на рост сельскохозяйственных культур обусловлено недостатком кислорода, избытком углекислого газа, наличием токсичной концентрации ряда органических и неорганических соединений, неблагоприятным изменением их соотношения в растворе, что связано с изменением E_h среды, ухудшением физических свойств почв. Очевидно, что оценка степени анаэробнозиса по величине E_h или gH_2 должна быть дополнена сведениями о содержании в почве токсичных соединений. Иллюстрацией этого являются данные, приведенные в табл. 5, из которых видно, что минимальные значения E_h и gH_2 не всегда соответствуют накоплению подвижных форм соединений Fe и Mn до токсичных для растений концентраций. Очевидно, один параметр E_h не полностью характеризует степень

анаэробнозиса, в том числе и для целей сельскохозяйственного производства. Действительно, так

$$\text{как } E_h = E_0 + \frac{RT}{nF} \cdot \lg \frac{OX}{Red}, \text{ то } E_h$$

в большей степени определяется E_0 , а не соотношением окисленных и восстановленных форм соединений. Значение же E_0 резко различается для пар свободных ионов и комплексных соединений этих ионов. В почве, содержащей преимущественно комплексные соединения Fe, значение E_h может быть низким, но содержание закисного Fe небольшим (поскольку Fe из комплексов восстанавливается при более низких значениях E_h), будет также отсутствовать синий цвет профиля. В почве, обогащенной ионными формами Fe при достаточно высоком значении E_h , возможно образование значительного количества закисного Fe и появление сизого цвета профиля.

Таким образом, ни по значению E_h , ни по цвету профиля нельзя однозначно судить о степени проявления анаэробнозиса при его

агрономической оценке. Степень проявления анаэробнозиса более правильно оценивать с агрономической целью по содержанию токсичных соединений, появляющихся в восстановительных условиях, и кислорода в почвенном растворе, что определяет возможность проявления у растений гипоксии.

Взаимосвязь между изменением свойств почв и качеством воды при длительном затоплении

Напряженность концентрационных и электрохимических потенциалов на границе твердая фаза — раствор. Качество воды на поверхности почвы зависит от свойств последней. Для решения практических и теоретических вопросов важно знать взаимосвязь между изменением свойств почв и качеством воды под влиянием длительного затопления.

Как видно из представленных в табл. 6 данных, существует разность между активностью ионов — напряженностью концентрационных и электрохимических потенциа-

Таблица 5
Оценка степени анаэробнозиса по сумме показателей
($t=20^\circ\text{C}$, $T=60$ сут)

Почва	E_h , мВ по ХСЭ	rH_2	Fe, мг/л	Mn, мг/л	Fe:Mn	ΔE_h^*
Пойменная	33	15	0,08	9,1	0,009	262
Торфяная	57	15	5,5	21,0	0,26	—43
Солонец	104	19	0,27	2,31	0,12	269
Лугово-черноземная	80	17	0,06	4,4	0,01	325
Дерново-подзолистая:						
OK ₁	235	20	0,52	12,54	0,04	175
OK ₃	127	20	0,45	25,04	0,01	271
Каштановая:						
А _п	140	20	0,04	5,2	0,08	267
BC	105	19	0,06	16,2	0,003	285

* Градиент электрохимического потенциала на границе твердая фаза — поверхностная вода.

лов на границе раздела фаз — в поверхностной воде и верхнем слое почвы. По показателям рН, Eh эта величина отрицательная, по концентрации К, NO₃, NH₄, Са, Fe, Mn, P — положительная.

Таким образом, почвенный раствор имеет менее кислую реакцию, чем почва, что обуславливает и меньшее содержание в нем Fe, Mn и фосфатов. В то же время Eh поверхностей воды при непосредственном контакте с кислородом воздуха выше и, очевидно, меньше содержание CO₂. Это определяет и меньшую концентрацию в ней Са, NH₄, а также Fe, Mn и фосфатов по сравнению с таковой в почвенном растворе. Вероятно, причина указанных различий заключается в проявлении в соответствии с доннановским равновесием

суспензионного эффекта — активность ионов Н⁺ в суспензии выше, чем в осветленном растворе над поверхностью почвы: за счет диффузии кислорода Eh раствора выше, чем почвы. Остальные изменения подвижности ионов зависят от данных факторов.

По рассматриваемым показателям торфяная почва заметно отличается от сравниваемых минеральных почв. В торфяной почве наименьшая напряженность электрохимических потенциалов отмечается на границе почва — Н₂O. значения ΔNO₃, ΔNH₄, ΔК, ΔСа, ΔFe, ΔP₂O₅ положительные.

Изменение рассматриваемых показателей в зависимости от времени и температуры

Изменение свойств почв и качества поверхностной воды зави-

Таблица 6

Разность между активностью ионов в поверхностной воде и верхнем слое почвы (напряженность концентрационных и электрохимических потенциалов на границе почвенный раствор — почва). Т=60 сут

Почва	ΔрН	ΔЕh	ΔNO ₃ × 10 ⁻⁴	ΔNH ₄ × 10 ⁻⁴	ΔК × 10 ⁻⁴	ΔСа × 10 ⁻⁴	ΔFe	ΔMn	ΔP ₂ O ₅ , мг/100 г
			моль/л						
При t = 20 °C									
Пойменная	0,8	262	0,3	0,01	2,03	-303	1,01	4,22	-0,01
Торф	0,98	-43	0,5	5,6	2,3	19,8	30,66	-10,92	0,95
Солонец	0,95	269	-1,39	-0,09	-0,14	-0,15	-2,31		-0,25
Лугово-черноземная	0,53	325	-1,7	-0,34	-0,32	-1,7	-0,06	-4,4	-0,11
Дерново-подзолистая:									
OK ₁	0,32	195	-0,49	0,01	0,01	13,2	-0,51	-8,22	-0,19
OK ₃	0,37	291	-2,06	-0,03	2,12	17,9	-0,45	-23,15	-0,12
Каштановая:									
A _л	0,18	267	3,05	-0,11	5,07	0,1	-0,04	-5,19	-0,12
BC	0,23	285	-1,16	-0,01	-1,19	-14,5	-0,06	-5,51	-0,28
При t = 40 °C									
Пойменная	1,07	287	-0,43	-0,07	-1,5	-24,0	3,98	0,2	1,0
Торф	0,57	17	-0,34	1,8	3,5	50	64,1	1,13	0,42
Солонец	0,36	356	0,08	-0,07	0,31	3,71	-1,18	-1,85	-0,07
Лугово-черноземная	0,56	277	0,0	-0,04	0,03	4,9	-0,04	-3,0	-0,11
Дерново-подзолистая:									
OK ₁	0,15	348	-0,27	-0,02	0,49	-1,0	-2,38	-44,9	-0,2
OK ₃	0,51	338	-0,28	0,0	-2,88	17,2	-0,16	-5,19	-0,08
Каштановая:									
A _п	0,11	381	-0,13	-0,01	0,63	3,8	-0,02	-2,55	-0,19
BC	0,24	333	-0,24	-0,08	0,0	-29,9	-0,03	-8,58	-0,23

сит от температуры и времени компостирования. С течением времени происходит относительная стабилизация показателей: рН стабилизируется раньше (за 10—40 сут), чем Eh (за 40—50 сут). Медленно устанавливается равновесие в дерново-подзолистой слабо-окультуренной почве и горизонте ВС каштановой почвы (за 60 сут). При температуре компостирования 40 °С значение рН, как правило, выше, а Eh ниже, чем при температуре 20 °С. По мере повышения температуры соотношение Fe:Mn увеличивается как в растворе над почвой, так и в почвенном растворе. Соотношение Са:К с изменением температуры меняется неоднозначно, однако в основном в почвенном растворе оно выше, чем в растворе над почвой. Очевидно, для разных типов почв в зависимости от времени и глубины проявления анаэробнозиса, а также температуры указанные зависимости не будут однозначными. Изменение свойств почв и качества воды при затоплении можно прогнозировать на основании результатов модельных опытов при создании условий, максимально приближенных к полевым, использования метода экстраполяции с учетом полевых данных для аналогичных территорий и на основании теоретических расчетов. Возможность использования последнего метода определяется необходимостью познания происходящих процессов, что может быть оценено по разности теоретически рассчитанных и экспериментальных величин.

Теоретический расчет изменений, происходящих в почве при ее затоплении

При развитии анаэробнозиса увеличивается дисперсность почв, уменьшаются водопрочность струк-

туры, гидролиз и гидратация органических соединений, при этом в гумусе образуется большое количество фульвокислот, повышается содержание подвижных форм соединений Fe, Mn, Al, уменьшается соотношение Са:Fe, Са:Al, Mn:Fe, появляются токсичные восстановительные продукты типа метана, сероводорода, в почвенном воздухе возрастает количество CO₂, ацетилена, метана, NH₃ и N₂, увеличивается интенсивность процессов денитрификации.

В общем виде происходящие при анаэробнозисе изменения свойств почв являются функцией Eh. При более точном определении они отражают окислительно-восстановительное состояние почв, установление которого предполагает оценку окислительно-восстановительных буферных свойств, оценку по емкости — фракционному составу окислительно-восстановительных систем, по интенсивности — Eh и $pe = -lg[e]$ и по кинетике, характеризующей скорость ОВ систем почв [1]. Для прогноза изменений свойств почв при развитии анаэробнозиса необходимо знать значение $\Delta Eh/\Delta t$ мВ/сутки при затоплении, т. е. буферность почв или $\Delta e/\Delta t$. В дальнейшем, имея заданные параметры Eh, pe рН среды, концентрации [CO₂], можно определить трансформацию соединений при этих условиях на основе термодинамической оценки эффективного произведения растворимости осадков в почвах с учетом диаграмм устойчивости или полей преобладания в координатах $pe - pH$, $Eh - pH$, [CO₂] — рН на основе термодинамических расчетов отдельных частных процессов.

Изменение Eh при затоплении обусловлено фракционным составом окислительно-восстановительных систем, количеством компонентов и соединений в почве, способных к

восстановлению и определяющих буферную емкость в восстановительном интервале, диффузией кислорода в почву, влажностью, микробиологической и ферментативной активностью. Как указывалось ранее, Eh в большей степени определяется значением стандартного Eh доминирующей окислительно-восстановительной пары и в меньшей — соотношением ее окисленных и восстановленных форм. В почвах разных типов при различной глубине проявления анаэробнозиса значение E_0 не будет однозначным, что связано с наличием в почве подвижных форм ионов с переменной валентностью, различными степенями их закомплексованности и константами устойчивости образуемых комплексов. Зная значения pH и Eh среды, можно оценить растворимость соединений. Так, по данным Г. Спозито [3], при отсутствии нитрификации $aNO_3 = \{1 + 10^2 \cdot (14,1 - pH - pe) + 10^3 \times (14,91 - 1,25pH - pe)^{-1}\}$, где $pe = Eh:59,2$. Наши исследования показали, что в дерново-подзолистой почве на 60-е сутки компостирования $pH = 6,4$; $pe = 6,9$; $NO_3 = 2,70 \cdot 10^{-4}$, откуда $aNO_3 = n \times 10^{-8}$ м/л. Очевидно, пренебречь протеканием процесса нитрификации в этом случае нельзя. Для воды над горизонтом ВС каштановой почвы на данный срок компостирования $pH = 7,8$; $Eh = 395$; $aNO_3 = 2,4 \cdot 10^{-4}$, следовательно, $aNO_3 = n \cdot 10^{-6}$ м/л, что также отличается от экспериментальных значений. Очевидно, нельзя теоретически рассчитать aNO_3 , основываясь на константах равновесия реакций окисления-восстановления.

Для соединений Fe и Mn сходимость результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных более близкая. Исходя из теоретических расчетов и данных эксперимента получается, что раст-

воримость $Mn = 10^{-5}$ м/л, $Fe = 10^{-6}$ м/л. В литературе также отмечается возможность прогноза содержания Fe и Mn в почвенном растворе по эффективной растворимости их осадков с учетом pH, Eh и конкурирующего комплексообразования [2].

Выводы

1. Длительное затопление почвы приводит к развитию восстановительных процессов, уменьшению Eh и ре, увеличению pH и содержания подвижных форм Fe, Mn, подвижных фосфатов, сужению соотношения Ca:K, неоднозначному изменению $NO_3:NH_4$ и Fe:Mn в почвах разных типов.

2. Свойства почв изменяются в зависимости от времени взаимодействия изучаемых компонентов и температуры. Стационарное равновесие быстрее устанавливается по уровню pH и медленнее по показателю Eh, время установления равновесия в модельном опыте достигало 60 сут. При повышении температуры значения Eh и pH среди снижаются, Fe:Mn — увеличиваются.

3. Растворимость соединений Fe, Mn в почве в первом приближении можно теоретически предположить на основе прогнозируемых данных о растворимости известных химических соединений, зависящей от pH и Eh среды; растворимость NO_3 не может быть теоретически оценена без учета нитрификации.

4. Состав поверхностных почвенных вод и почвенного раствора существенно различается. Напряженность концентрационных и электрохимических потенциалов на границе почвенный раствор — поверхностные почвенные воды для каждого типа почв является характеристическим показателем. Разность

по pH и Eh между поверхностной водой и почвенным раствором положительная, по K, NO₃, NH₄, Fe, Mn и P₂O₅ — отрицательная за исключением торфяной и пойменно-дерново-глеевой почв.

5. При агрономической оценке степени проявления анаэробизиса необходимо учитывать не только Eh, но и концентрацию токсичных соединений, появляющихся в восстановительных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савич В. И. Комплексная характеристика состояния ионов в почве для оценки плодородия.— Автореф. докт. дис. М.: ТСХА, 1981.— 2. Савич В. И. Термодинамика трансформации соединений ионов в почве.— В кн.: Термодинамические методы химической характеристики почв. М., 1986, с. 7—86.— 3. Спозито Г. Термодинамика почвенных растворов.— Л.: Гидрометеиздат, 1984.

Статья поступила 5 марта 1991 г.

SUMMARY

The results of model laboratory experiment are summarized in the paper. In this experiment changes in certain parameters of soil and surface water under long-term incubation of flooded soil samples were studied. It has been shown that the method of laboratory simulation of processes of soil flooding may be used for forecasting the changes in soil medium — surface water system.