

УДК 631.413.5:631.445.4:633.18.03

**ОКИСЛИТЕЛЬНО-ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ
ЛУГОВО-ЧЕРНОЗЕМНЫХ ПОЧВ ПОД РИСОМ**

И. С. КАУРИЧЕВ, О. Д. СИДОРЕНКО, В. И. САВИЧ
(Кафедра почвоведения и микробиологии)

Окислительно-восстановительное состояние почв и взаимосвязанные с ним параметры в значительной степени определяют почвенное плодородие. Их оценка особенно важна для почв рисовых полей. Применительно к последним представляет интерес выяснение следующих вопросов: до какого состояния в конкретной почве при ее затоплении снизится ОВП и с какой скоростью; в каком порядке будут восстанавливаться

отдельные группы соединений и какие процессы будут при этом протекать; до каких форм почвенные соединения будут восстановлены и когда появятся токсичные для растений восстановленные продукты. Ответ на поставленные вопросы не может быть однозначным для всех типов почв, и на данной стадии изучения получение новых экспериментальных материалов является необходимым.

Нами исследовались изменения окислительно-восстановительного состояния лугово-черноземных почв под рисом в элитно-семеноводческом хозяйстве «Красное» Красноармейского района Краснодарского края на стационарах ВНИИ риса.

Объект и методика исследований

Объектом служила лугово-черноземная среднетяжелая почва Приазовско-Предкавказской провинции подзоны обыкновенных и южных черноземов степной зоны. Содержание гумуса в $A_{\text{пах}}$ — 4,2 %; $pH_{\text{вод}}$ — 7,1; содержание азота по Кьельдалю — 0,3 %; P_2O_5 по Тюрину — 15,9 мг; K_2O по Масловой — 22,2 мг на 100 г.

Исследования проводили на участках целины, под посевом риса после люцерны на 1-й и 6-й год; под монокультурой риса с 1937 г. без удобрений и при внесении 180N120P60K, 120N90P90K и сидератов в дозе 290 ц на 1 га. Определяли в динамике pH, ОБП, содержание подвижных форм NO_3^- , NH_4^+ , Fe^{3+} , Fe^{2+} , сульфатов и сульфидов, фракционный состав гумуса и численность отдельных групп микроорганизмов.

С контрольной площади 20×80 м отбирали 20 индивидуальных образцов горизонта $A_{\text{пах}}$, из которых составляли один смешанный. Образец, взятый с залитых водой

чеков, помещали в колбу 0,5 л и заливали водой на 0,5 см. В образцах определяли pH и ОБП потенциометрически (сразу после отбора), содержание подвижных форм железа в вытяжке 0,1 н. H_2SO_4 ; нитратного и аммонийного азота — в вытяжке 0,1 н. K_2SO_4 ; сульфатов — объемным методом с использованием металлиндикатора — нитхромаза; сероводорода — йодометрически, предварительно разлагая сульфиды соляной кислотой [3]; $S_{\text{общ}}$ — по методике Тюрина, а фракционный состав — по методике Пономаревой и Плотниковой. Динамика численности железоредуктирующих микроорганизмов изучалась на среде Бромфильда; анаэробных азотфиксирующих микроорганизмов рода *Cl. pasteurianum* — на пептоно-дрожжевой среде [7]; анаэробных азотфиксаторов рода *Cl. acetobutylicum* — на кукурузном затопе [7]; аэробных микроорганизмов, использующих органические формы азота, — на МПА; сульфатредуктирующих микроорганизмов — на жидкой среде Постгейта [18].

Таблица 1

Динамика ОБП в лугово-черноземной почве (в числителе — снижение ОБП при затоплении почв, в знаменателе — рост ОБП после сброса воды)

Вариант опыта	Май (до затопления)	Июнь	Июль	Август	Сентябрь (после сброса воды)	мВ/сут
	мВ					
Монокультура риса (без удобрений)	312±2,1	268±4,5	74±2,8	35±5,3	310±3,0	$\frac{-3,9}{9,1}$
НРК	336±2,5	258±2,9	76±3,5	-37±2,8	303±1,5	$\frac{-1,2}{11,3}$
НРК+сидераты	371±1,8	269±6,1	20±1,09	-25±1,7	275±1,8	$\frac{-4,9}{10,0}$
Сидераты Рис после люцерны:	382±1,7	276±3,9	14±1,1	-15±2,5	295±2,7	$\frac{-5,2}{9,9}$
1-й год	351±1,6	294±6,5	65±3,4	-14±2,3	280±1,6	$\frac{-4,8}{8,9}$
6-й год	303±2,6	277±2,3	69±4,4	57±3,4	290±2,3	$\frac{-3,5}{7,8}$
Целина	322±4,1	348±1,1	395±1,5	368±6,1	340±1,6	$\frac{-1,4}{1,8}$

Результаты и их обсуждение

При затоплении ОВП изучаемых почв уменьшается, а после сброса воды возрастает (табл. 1). На целине без затопления ОВП изменяется незначительно. В конце срока затопления значение потенциала было наиболее низким при наличии в почве свежего органического вещества (варианты с внесением сидератов и рис после люцерны на 1-й год). В этих же вариантах наблюдалась наибольшая скорость снижения E_h в сутки ($\Delta E_h/\Delta t$), а на целине и на затопляемых участках при внесении 180N120P60K она была наименьшей. Полученные значения E_h при затоплении почв соответствовали данным, приводимым в работе [8], и превышали значения (до -200 мВ), приводимые в [6]. Скорость снижения потенциала близка значениям, которые мы рассчитали по литературным данным: 2, 5 [16], 10 [5], 4, 7 [15]. Для оподзоленно-глеевых почв рассчитанные значения $\Delta E_h/\Delta t$ ниже указанных в литературе: 30—14 [6], 2—64 [16]. Приведенные результаты свидетельствуют о значительной ОВ буферности изучаемых почв. По мере увеличения продолжительности затопления почв скорость снижения потенциала уменьшается (табл. 1), что отмечалось в проведенных ранее исследованиях [4, 13].

Согласно предложенным грациям [11], изученные почвы характеризуются очень большой буферностью, поскольку $\frac{\Delta E_h/\Delta t \cdot 100}{E_h} < 2,5 \%$.

Внесение в почву органических соединений привело к увеличению скорости падения потенциала при затоплении, а внесение минеральных удобрений — к ее уменьшению, что согласуется с результатами исследований, в которых применяли регуляторы ОВ состояния почв [11].

Следует отметить, что скорость падения потенциала в модельных опытах выше, чем в полевых условиях [11, 12]. Значительная ОВ буферность черноземов коррелирует и с их большой ОВ буферной емкостью. Так, ОВ буферная емкость при $E_h = -200$ мВ по хлорсеребряному электроду, определенная методом потенциостатической кулонометрии в фоновом электролите 1 н. КСl, составила для супесчаной подзолистой почвы 0,1 ммоль на 100 г, для чернозема — 1,2, для исследуемой лугово-черноземной почвы — 3, для торфа — 5 ммоль на 100 г.

Рост риса, естественно, не смог остановить уменьшение E_h при затоплении. В то же время после сброса воды значение $\Delta E_h/\Delta t$ в вариантах с рисом было значительно выше, чем на целине. Результаты модельного опыта показали (табл. 2), что E_h в ризосфере риса был выше, чем в почве без растений, что согласуется с литературными данными [6, 16].

Затопление почвы не всегда приводит к подщелачиванию среды. Во всех случаях, за исключением вариантов с внесением сидератов, при затоплении значение рН уменьшалось, что, вероятно, обусловлено гидролизом органических соединений с большей константой диссоциации с большей константой диссоциации.

ОВ состояние почв хорошо коррелирует с содержанием подвижных форм железа, NO_3 , NH_4 , соединений серы. При уменьшении E_h увеличивается содержание закисного железа и резко возрастает отношение $FeO : Fe_2O_3$. В то же время в условиях анаэробнозиса возрастает содержание подвижных

Т а б л и ц а 2
ОВП в почве с рисом и без него

Влажность почвы	Почва без риса	Почва с рисом (ризосфера)
100 % ПВ: без внесения соломы	168±4,5	194±1,5
с соломой	-43±2,9	88±1,7
60 % ПВ: без внесения соломы	170±1,8	190±1,3
с соломой	120±4,0	174±5,5

Динамика подвижных форм железа в почве под рисом (мг на 100 г;
в числителе — FeO, в знаменателе — Fe₂O₃)

Вариант опыта	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	$\frac{\Delta \text{FeO}}{\Delta t}$
Монокультура риса						
без удобрений	7,5±0,5	32,0±2,5	274,5±5,0	192,2±1,7	108,0±1,0	6,7
	17,2±0,3	1,0±0,2	53,5±2,3	24,8±0,7	187,4±1,8	
НРК	10,0±0,8	30,9±1,1	387,0±4,3	283,2±5,1	131,4±2,2	9,4
	16,6±0,3	1,9±0,3	23,8±0,7	17,6±0,4	159,1±4,1	
НРК+сидераты	9,3±0,9	22,0±2,1	367,4±5,9	237,6±3,8	135,9±2,1	8,9
	14,7±1,2	12,1±0,4	40,6±1,0	59,5±2,7	160,6±2,2	
сидераты	12,0±1,5	31,2±1,6	335,4±6,5	280,0±2,6	114,4±2,6	8,0
	18,8±0,6	5,7±0,5	44,4±2,5	34,0±0,8	244,2±2,6	
Рис после люцерны:						
1-й год	9,9±0,7	31,6±0,9	249,0±6,6	225,6±2,7	99,0±6,0	5,9
	18,2±0,5	13,6±0,6	49,0±0,6	64,0±2,1	181,5±2,5	
6-й »	8,9±0,9	31,5±0,8	349,8±4,6	198,0±4,6	18,7±0,5	8,5
	14,8±1,1	2,1±0,2	53,5±1,7	20,0±0,3	42,9±2,3	
Целина	2,4±0,4	9,2±0,9	10,4±0,4	9,6±0,2	6,4±0,3	0,2
	13,3±0,6	16,9±0,3	7,3±0,5	13,2±0,6	21,1±1,5	

окисных форм железа. Смена анаэробных условий аэробными вызывает резкое увеличение содержания подвижных форм окисных соединений железа. Интересно отметить, что скорость образования закисных форм железа при затоплении возрастала при внесении как минеральных, так и органических удобрений. При этом количество FeO увеличивалось только до августа, т. е. равновесие наступало через 90 дней после затопления.

Если протекающая реакция является реакцией 1-го порядка, константа кинетики образования закисного железа равна $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}$. В то же время в модельном опыте, где скорость уменьшения Eh при затоплении выше, константа кинетики образования Fe²⁺ для дерново-подзолистой почвы составляла $13,3 \cdot 10^{-6}$, а для чернозема $4,0 \cdot 10^{-6} \text{ с}^{-1}$ [12]. Полученные данные говорят о невысокой скорости образования Fe²⁺ в изучаемой почве.

Большой практический интерес представляет определение Eh и pH при переходе окисных соединений в закисные в конкретной почве. Максимальное отношение FeO:Fe₂O₃ наблюдалось нами в июне и июле. Переход окисных соединений в закисные в исследуемой почве происхо-

Т а б л и ц а 4

Содержание водорастворимых сульфатов в почве под рисом (мг на 100 г)

Вариант опыта	Май (до затопления)	Июнь	Июль	Август
Монокультура риса:				
без удобрений	74,2	64,2	38,6	38,2
НРК	61,3	70,0	60,8	51,5
НРК+сидераты	96,0	95,8	58,8	41,9
сидераты	85,5	88,4	44,4	35,7
Рис после люцерны:				
1-й год	86,0	90,0	59,3	53,7
6-й »	86,6	69,9	40,8	38,2

Содержание сульфидов в лугово-черноземной почве по фазам вегетации риса
(мг на 100г)

Вариант опыта	Общее количество			Водорастворимые	
	июнь	июль	август	июль	август
Монокультура риса:					
без удобрений	0,4	1,6	0,6	0,4	0,2
НРК	0,3	2,2	1,0	0,6	0,3
НРК + сидераты	0,4	3,1	0,8	0,5	0,4
сидераты	0,5	3,8	1,2	0,4	0,2
Рис после люцерны:					
1-й год	0,2	1,8	0,9	0,5	0,4
6-й »	0,2	2,8	0,7	0,8	0,1

П р и м е ч а н и е. Водорастворимые сульфиды в июне обнаружены в следовых количествах.

дит в интервале Eh 270—14 мВ при рН 5—6,8 (табл. 1, 3 и 4). Аналогичные результаты получены Г. Бруммером [14]. Автор указывает, что Fe^{3+} восстанавливается до Fe^{2+} при рН 6,0 и Eh 220 мВ, а также при рН 7,0 и Eh 160 мВ. Однако очевидно, что возможность восстановления железа обусловлена не только Eh и рН среды, но и константами устойчивости комплексных соединений Fe^{3+} , наличием железоредуцирующих бактерий и рядом других факторов. Как сообщает Д. С. Орлов [9], значительные количества закисного железа в почвах встречаются и при Eh=350—450 мВ. Данные о динамике содержания сульфатов и сульфидов в почве под рисом представлены в табл. 4 и 5.

При затоплении почвы содержание в ней сульфатов снижалось, содержание сульфидов в июле возрастало и в августе снова уменьшалось. Содержание сульфатов и общее количество сульфидов было несколько выше при внесении органических удобрений. Максимум восстановления сульфатов отмечен в июле, что соответствует Eh 70—20 мВ при рН 5,1—6,5. Близкие данные получены Г. Бруммером [14]: переход SO_4^{2-} в H_2S наблюдался им при Eh 10 мВ и рН 6,0; Eh —50 мВ и рН 7,0. Все это подтверждает теоретические положения о более позднем восстановлении сульфатов по сравнению с окисными формами железа.

Сероводород является одним из наиболее токсичных продуктов анаэробно-биозиса. Замедление скорости его образования представляет большой практический интерес. Уменьшить образование сероводорода можно путем внесения соединений NO_3 и окисного железа. Из данных табл. 5 и 6 видно, что сульфаты образуются в меньшем количестве при внесении органических удобрений. В то же время в более поздние сроки количество сульфидов в этих вариантах достаточно велико. В том случае, когда чувствительность риса к сульфидам в первые фазы вегетации особенно значительна, внесение органических остатков может уменьшить неблагоприятное влияние анаэробно-биозиса [17].

Большой интерес представляет изучение динамики содержания и состава гумуса в почве при затоплении. Под монокультурой риса углерода содержится меньше, а доля фульвокислот больше, чем на целине (табл. 6).

При сравнении образцов, отобранных в мае и в августе, отмечена тенденция к увеличению доли фульвокислот и уменьшению количества гумуса в затопленной почве. В варианте без органических удобрений содержание углерода снижается, а доля фульвокислот увеличивается сразу после затопления почвы, а при внесении органических удобрений только после их разложения — в фазу цветения. Иными словами, сидераты сдерживают темпы разложения и трансформации органического

Содержание и состав гумуса лугово-черноземной почвы

Вариант опыта	До всходов — май		В фазу цветения — август	
	С. %	$\frac{C_{г.к}}{C_{ф.к}}$	С. %	$\frac{C_{г.к}}{C_{ф.к}}$
Монокультура риса:				
без удобрений	1,6	1,5	1,4	1,3
NPK	1,9	1,6	1,6	1,6
NPK + сидераты	1,9	1,6	1,6	1,5
сидераты	1,8	1,6	1,8	1,5
Рис после люцерны:				
1-й год	1,8	1,6	1,6	1,4
6-й »	1,9	1,7	1,8	1,6
Целина	2,5	1,6	2,2	1,6

вещества почвы, являясь сами субстратом для развития микроорганизмов.

ОВ состояние почв изменяется в зависимости от химических и биохимических реакций, а также микробиологической активности. Как правило, переход окисных соединений в закисные связан с развитием определенных групп микроорганизмов, участвующих в процессе окисления — восстановления.

ОВ состояние почв в значительной степени коррелирует с численностью железоредуцирующих бактерий. Микроорганизмы, участвующие в процессах восстановления железа, не представляют собой специфической физиологической группы. Для них редукция железа не является жизненно необходимым процессом, а присутствие окисных форм этого элемента необязательно для их развития. Из таких микроорганизмов описаны псевдомонады, бациллы, клостридии, молочнокислые и сульфатредуцирующие бактерии [2, 10].

Количество железовосстанавливающих микроорганизмов при затоплении почвы возрастало, при этом их численность хорошо коррелировала с содержанием закисного железа (табл. 7).

Численность сульфатредуцирующих бактерий в июле и августе в ризосфере была выше, чем в почве, и особенно при внесении органических удобрений. Количество этих бактерий при затоплении до июля возрастало, а затем уменьшалось. Максимум их приходится на фазу кущения, в этот же период отмечалось увеличение количества восстановленных сульфатов и закисного железа.

Развитие аэробных и анаэробных микроорганизмов тесно связано и с превращениями в почве соединений азота. В первое время после за-

Таблица 7

Динамика численности железоредуцирующих микроорганизмов в лугово-черноземной почве (млн. на 1 г абсолютно сухой почвы)

Вариант опыта	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Монокультура риса:					
без удобрений	1,6	30,0	32,5	556,0	0,1
NPK	21,0	210,0	211,4	2978,0	0,6
NPK + сидераты	115,8	454,5	483,0	2142,0	1,4
сидераты	8,0	681,8	711,0	1683,0	0,7
Рис после люцерны:					
1-й год	16,8	444,4	652,5	2114,0	1,0
6-й »	15,0	224,4	489,0	1771,0	0,2
Целина	18,1	13,6	9,0	6,0	0,1

Динамика численности сульфатредуцирующих бактерий в почве и ризосфере риса
(млн. на 1 г почвы)

Вариант опыта	Почва					Ризосфера		
	май	июнь	июль	август	сентябрь	июнь	июль	август
Монокультура риса:								
без удобрений	0,02	1,3	3,2	0,1	0,2	0,7	15,8	1,8
NPK	0,05	6,9	14,1	0,7	0,5	0,1	18,8	2,0
NPK + сидераты	0,4	8,6	24,1	1,7	1,1	0,8	41,2	3,8
сидераты	0,5	10,8	42,6	0,8	2,2	0,7	32,3	3,5
Рис после люцерны:								
1-й год	0,2	5,4	8,3	0,7	0,5	2,1	29,0	2,6
6-й »	0,02	1,9	5,5	0,6	0,2	0,6	10,9	1,6

топления развивается как аэробная, так и анаэробная микрофлора. В дальнейшем развитие аммонификаторов и актиномицетов постепенно затормаживается, но полностью из почвы они не исчезают в течение всей вегетации риса (табл. 9).

Количество аэробных микроорганизмов в почве до затопления было выше, чем после него. Длительное выращивание риса без удобрения привело к уменьшению численности аммонификаторов. Полученные результаты коррелируют с данными о превращении соединений азота при затоплении почвы. В затопленной почве увеличивается содержание аммонийного азота, а после сброса воды с рисовых чеков наблюдается вспышка нитратообразования. Есть основания полагать, что при этом идет окисление аммония аэробными микроорганизмами, численность которых и в затопленной почве достаточно велика, а после сброса воды с чеков резко возрастает.

Аммонифицирующие микроорганизмы встречаются в затопляемой почве постоянно в большом количестве, однако максимального развития они достигают в первый период после затопления и в фазу кущения риса. В это время в почве достаточно органических соединений, образовавшихся в результате разложения органических остатков и поступления корневых выделений [1]. В конце вегетации содержание их вновь уменьшается, очевидно, вследствие накопления токсичных продуктов обмена.

Количество анаэробных азотфиксаторов под монокультурой риса намного выше, чем на целинном участке без затопления. Указанная группа микроорганизмов интенсивнее развивается и при внесении в

Т а б л и ц а 9

Динамика численности аммонифицирующих микроорганизмов в почве
(млн. на 1 г абсолютно сухой почвы)

Вариант опыта	Май (до затопле- ния)	Июнь	Июль (кущение)	Август	Сентябрь (после сбро- са воды)
Монокультура риса:					
без удобрений	11,2	2,2	5,8	1,1	5,8
NPK	47,6	5,7	9,7	3,0	7,6
NPK + сидераты	44,2	4,1	8,0	1,2	17,7
сидераты	61,1	4,3	9,4	1,9	13,5
Рис после люцерны:					
1-й год	64,8	3,6	9,3	4,9	12,0
6-й »	18,2	2,3	3,4	0,5	10,5
Целина	55,7	2,8	12,1	3,3	8,7

Динамика численности анаэробных азотфиксирующих микроорганизмов в почве
(млн. га 1 г абсолютно сухой почвы)

Вариант опыта	Cl. pasteurianum					Cl. acetobutylicum				
	май	июнь	июль	август	сентябрь	май	июнь	июль	август	сентябрь
Монокультура риса:										
без удобрений	1	400	240	30	1	0	25	22	0	1
NPK	16	638	675	45,3	9	48	425	97	5	14
NPK + сидераты	21	606	322	30	9	16	384	32	7	14
сидераты	18	340	237	29	2	2	170	24	2	2
Рис :после люцерны										
1-й год	16	444	138	45	0	1	211	22	4	2
6-й »	10	300	483	130	0	1	300	30	1	2
Целина	19	14	18	2	14	1	1	1	0	2

почву минеральных удобрений и сидератов или пожнивных остатков (табл. 10).

Таким образом, содержание определенных групп микроорганизмов коррелирует с трансформацией при затоплении соединений азота, серы и железа. После затопления в июне повышается численность анаэробов рода *Clostridium*, в июне — сульфатредуцирующих микроорганизмов, но максимум их наблюдается в июле. Наибольшее количество железоредуцирующих микроорганизмов приходится на август, хотя их численность возрастает уже в июне. Полученные данные позволяют выделить следующие этапы восстановительных процессов в почве после затопления: I — восстановление нитратов, образование аммиачных форм азота, сопровождающееся увеличением численности анаэробов рода *Cl. pasteurianum* и *Cl. acetobutylicum*; уменьшение численности аэробных аммонифицирующих микроорганизмов; II — восстановление соединений железа и рост численности железоредуцирующих микроорганизмов; III — восстановление сульфатов и рост численности сульфатредуцирующих микроорганизмов; IV — увеличение содержания подвижных форм железа и их восстановление при максимальном количестве железоредуцирующих микроорганизмов; V — уменьшение численности сульфатредуцирующих микроорганизмов при снижении содержания сульфидов и численности анаэробов рода *Clostridium*.

В варианте с сидератами скорость уменьшения Eh при затоплении возрастает, но абсолютное значение Eh в этом случае не ниже, чем без добавления сидератов. При внесении последних к концу срока затопления увеличивается подвижность железа, несколько возрастает количество сульфидов, но в то же время уменьшается скорость восстановления сульфатов. Очевидно, сидераты повышают ОВ буферность почвы.

Выводы

1. Скорость уменьшения Eh при затоплении исследуемых почв равна 1,2—5,8 мВ/сут, или менее 2,5 % от исходного значения Eh, что указывает на их большую ОВ буферность.

2. При затоплении почв в них увеличиваются количество и доля закисного железа. Константа кинетики его образования составляет $1,5 \cdot 10^{-8} \text{ с}^{-1}$. Окисные соединения железа переходят в закисные в данной почве при Eh 270—14 мВ и pH 5—6,8. Образование закисного железа коррелирует с численностью железоредуцирующих микроорганизмов.

3. Затопление почв сопровождается восстановлением сульфатов при Eh 70—20 мВ и рН 5,1—6,5; этот процесс коррелирует с увеличением количества сульфатредуцирующих микроорганизмов.

4. При монокультуре риса и затоплении почвы уменьшается количество гумуса и увеличивается в его составе доля фульвокислот.

ЛИТЕРАТУРА

1. Долгих Ю. Р., Грачева Н. А. Микрофлора ризосферы риса и ее связь с корневыми выделениями. — В сб.: Повышение плодородия почв рисовых полей. М.: Наука, 1977. — 2. Калакуцкий Л. В. О роли микроорганизмов в процессе восстановления железа в почве. — Науч. докл. высш. школы. Сер. биол. наук, 1959, № 1. — 3. Кадер Г. М. Иодометрическое определение сероводорода в почвах. — Почвоведение, 1963, № 5, с. 101. — 4. Кауричев И. С., Латфулина Г. Г., Савич В. И. Изменение окислительно-восстановительной буферности почв по данным сезонной динамики. — Докл. ТСХА, 1975, вып. 208, с. 71—76. — 5. Киряченко Т. Н., Кухта О. А., Крищенко Ю. Н. Окислительно-восстановительные процессы в почвах рисовых севооборотов. — Гидромелиорат. и гидротехн. стр.-во. Респ. межвед. науч.-техн. сб., 1978, № 6, с. 8—11. — 6. Костенков Н. М. Особенности окислительно-восстановительных процессов в почвах рисовых плантаций Приморья. — В сб.: Химия почв рисовых полей. М.: Наука, 1976, с. 127—151. — 7. Мишустин Е. Н., Емцев В. Т. Почвенные азотфиксирующие бактерии рода *Clostridium*. М.: Наука, 1974. — 8. Николаева С. А., Майнашева Г. М. Об изменении вещественного состава черноземных почв при использовании их под культуру риса. — Бюл. почв. ин-та ВАСХНИЛ, 1976, вып. 13, с. 53—56. — 9. Орлов Д. С., Розанов Б. Г., Саакян С. Г. Образование железистых аккумуляций в долинах малых рек южной тайги. — Почвоведение, 1970, № 7. — 10. Рунов Е. В. Восстановление окисных соединений железа биологическим путем. — Вестн. бект. агрот., 1926, № 24. — 11. Савич В. И., Кауричев И. С., Драман К. Применение регуляторов окислительно-восстановительного состояния почв. — Изв. ТСХА, 1980, вып. 3, с. 75—81. — 12. Савич В. И., Кауричев И. С., Латфулина Г. Г. Окислительно-восстановительные буферные свойства почв. — Почвоведение, 1980, № 4, с. 73—82. — 13. Тарарина Л. Ф. Сезонная динамика окислительно-восстановительного потенциала и подвижных форм некоторых элементов в серой лесной почве. — Автореф. канд. дис. М., 1971. — 14. Brümmer G. Redoxpotentiale und redoxprozesse von Mangan, Eisen und Schwefelverbindungen — *Geoderma*, 1974, Bd 12, N 3, S. 207—222. — 15. Ghosh S. N., Kar A. K., Dhu a S. P., — *Fertil Technol.*, 1975, vol. 12, N 4, p. 360—363. — 16. Ghosh S. N., Kar A. K., Dhu a S. P. — *J. Indian Soc. Soil Sci.*, 1976, vol. 24, N 1, p. 86—87. — 17. Katyal J. C. — *Soil Biol. a. Biochem.*, 1977, vol. 9, N 4, p. 259—266. — 18. Postgate J. R. — *Lab. practice*, 1966, vol. 15, N 11, p. 1240.

Статья поступила 14 января 1981 г.

SUMMARY

Redox state, the amount of mobile forms of the elements, microbiological activity of grassland-chnozemic soils under rice were studied in seasonal dynamics. High redox buffering of the soils studied was found. Under flooding $\Delta Eh/\Delta t = 1,2 \div 5,8$ mV/day. Conversion of ferric oxides into ferrous oxides in this soil took place under Eh 270—14 mV and pH 5—6.8. Ferrous oxide production is in correlation with the number of ferrum-reducing microorganisms. Soil flooding is accompanied by the reduction of sulfates under Eh 70—20 mV and pH 5.1—6,5; this process is in correlation with the increase in the content of sulfate-reducing microorganisms. Flooding resulted in lower amount of humus and higher portion of humus in fulvic acids.