

УДК 631.4

## ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКИЕ И КОНЦЕНТРАЦИОННЫЕ ПОЛЯ В ПОЧВЕ И ИХ РЕГУЛИРОВАНИЕ

В. И. САВИЧ, А. А. ВАНЬКОВА, В. П. ГУЩИН, Е. В. НАУМОВА  
(Кафедра почвоведения)

Установлена возможность передвижения железа и марганца в почве из всей массы почвы к зоне их осаждения за счет осадкообразования в виде гидроокисей при внесении  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , за счет увеличения значения Eh при внесении марганца, осаждения железа в виде  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ , передвижение  $e^-$  от зоны восстановления к зоне окисления.

С усилением антропогенного воздействия на почву все более усложняются взаимосвязи в системе почва — растение, актуальным становится вопрос о взаимодействии почвы с другими элементами экологической системы. При внесении удобрений и мелиорантов в значительной степени изменяются свойства почв, подвижность и доступность питательных веществ. В ряде случаев возникает скрытое отрицательное действие удобрений, когда при улучшении одного показателя почвенного плодородия одновременно ухудшаются другие его показатели, что приводит в конечном итоге к уменьшению урожайности культур, ухудшению качества выращиваемой продукции, снижению эффективности применения удобрений и мелиорантов. Надо сказать, что подобные явления возникают не только при высоких дозах химикатов, но и при небольших дозах вблизи гранул удобрений и мелиорантов. Для познания этих процессов необходимы углубленное изучение почв в естественной обстановке, оценка «живых» почв, гравитационных, электрохимических, магнитных, концентрационных полей, оценка не только статических параметров, но и динамических процессов и режимов. В данной работе поставлена задача изучить некоторые типы существующих в почве полей — определить их размеры, способы распространения и наметить пути регулирования [4].

### Методика

Объектом исследования выбраны почвы, в значительной степени отличающиеся друг от друга по свойствам: каштановая почва Оренбургской области, торфяная и пойменная дерново-глеевая почва Вологодской области, чернозем обыкновенный, лугово-черноземная почва Краснодарского края, дер-

ново-подзолистая среднесуглинистая почва учхоза «Михайловское» на покровных отложениях (Московская область). Варианты: неокультуренная почва, среднекультуренная с высокой дозой внесения удобрений, высококультуренная с внесением удобрений из расчета использования в процессе

фотосинтеза 3% солнечной радиации. Чернозем выщелоченный мощный среднесуглинистый на четвертичном карбонатном лессовидном суглинке из учхоза им. Калинина (Тамбовская область). Варианты: под пашней и целина. Красная лессивированная легкосуглинистая почва, развитая на древнеаллювиальных отложениях из района Данга (республика Мали). Буро-красная слабожелезистая легкосуглинистая почва, развитая на делювиально-пролювиальных отложениях из района Кенема (республика Мали). Серозем светлый остаточко-солончаковатый легкосуглинистый на древнеаллювиальных отложениях Ташкентской области. Дерново-слабоподзолистая супесчаная глееватая почва совхоза «Куликовский» (Московская область) [3, 5, 6, 7]. В анализ взяты верхние пахотные горизонты почв.

Всего было поставлено 10 серий опытов. В 1-й и 2-й сериях изучалось распространение концентрационных полей в почве, в 3-й и 4-й — распространение электрохимических полей, в 5—10-й оценивались пути регулирования в почве концентрационных и электрохимических полей, перспективные агрономической точки зрения.

В 1-й серии опытов навески дерново-подзолистой почвы учхоза «Михайловское» и чернозема учхоза им. Калинина по 100 г помещали в сосуд и увлажняли до состояния влажной почвы. В центр образца помещали 5 г  $KNO_3$  или  $KCl$ . По истечении 10 и 16 дней на расстоянии 1,5 и 3 см от точки внесения удобрения брали образцы по 5 г, в них добавляли 5 мл  $H_2O$  и измеряли значение рК с нонселективными электродами на К.

Во 2-й серии опытов в центр сосуда с навесками тех же почв вносили 0,5 г  $KNO_3$ . Через 10 дней компостирования образцов при оптимальной влажности определяли содержание водорастворимого и обменного калия в зоне внесения и на расстоянии 3 см от нее.

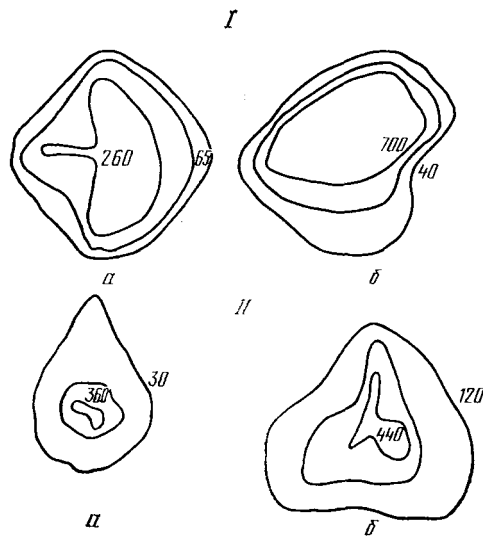


Рис. 1. Волновое распределение окисления (мВ) в дерново-подзолистой почве (I) и в черноземе (II).

а — избыточная, б — оптимальная влажность.

В 3-й серии опытов образцы этих же почв, а также серозема, красной и бурокрасной почв компостировались при оптимальной и избыточной влажности в течение 20 дней. В дальнейшем в центр образца помещали 2 г  $KMnO_4$  или  $SnCl_2$ . Через 10 дней с помощью 8 платиновых электродов, расположенных по окружности, измеряли значение Eh при радиусах окружности 1,5, 3,0 и 4,7 см (рис. 1).

В 4-й серии, проводимой с теми же почвами, изучалось изменение в них pH и Eh при внесении в микрозоны образца по  $0,25\text{ см}^3$   $NH_4NO_3$ , соломы,  $Ca(H_2PO_4)_2$ , навоза,  $KCl$  и компостировании образцов в условиях оптимального и избыточного увлажнения в течение 2 мес. Зоны определения Eh приведены на рис. 2, в верхней части которого — зона внесения  $NH_4NO_3$ , в нижней —  $KCl$ , в левой —  $Ca(H_2PO_4)_2$ , в правой — навоза, в центре — микрозона внесения соломы. Измерение Eh проведено 24 платиновыми электродами, расположенными по окружности при радиусах 2, 4 и 6 см.

В 5-й и 6-й сериях исследовалось влияние на почвенные поля  $CaCO_3$ ,  $NaOH$ , центров кристаллизации с высоким окислительно-восстановительным потенциалом. В 5-й серии, проводимой с черноземом из учхоза им. Калинина и торфом, в 12 сосудов вносили по 100 г почвы, которую увлажняли до состояния влажной почвы. В центр образца по вариантам добавляли 2 г  $CaCO_3$ , 1 г  $NaOH$ . Через 2 недели на расстоянии 1,5 и 3 см от центра брали пробы, в которых при соотношении почвы и 0,1 н.  $HCl$  1:10 определяли содержание Fe, Mn на атомном абсорбционном спектрофотометре. В 6-й серии были взяты образцы чернозема из учхоза им. Калинина, каштановой почвы Оренбургской области, дерново-подзолистой почвы Московской области, торфяной и пойменной почв Вологодской области. Степень увлажнения образцов та же, что и в предыдущих опытах. В центр образца вносили по 1 г  $CaCO_3$ , металлического железа в пылевидном состоянии,  $MnO_2$ . Через 16, 24, 30 дней компостирования определяли pH, Eh, Ca, Fe, Mn в почвенном растворе при соотношении почвы и воды 1:1.

В 7-й и 8-й сериях изучали влияние на толя микроорганизмов, окисляющих и восстанавливающих железо. В 7-й серии проводимой с лугово-черноземной почвой Краснодарского края и дерново-подзолистой почвой учхоза «Михайловское» определяли влияние бактерий на подвижность железа. В чашки Петри вносили по 50 г почвы, которая затем компостировалась при оптимальной влажности в течение 1 недели. В дальнейшем в центр образца приливали 1 мл бактериальной суспензии, содержащей 1 млн. клеток. Через 2 недели компостирования почв при такой же влажности определяли содержание водорастворимого и растворимого в 0,1 н.  $H_2SO_4$  железа значения pH и Eh среды в центре, а также на расстоянии 2 и 4 см от него по четырем направлениям. Используются накопительные культуры железooksисляющих и железоредуцирующих микроорганизмов, выделенные из лугово-черноземной почвы: штаммы 5, 7 и *M. Clostridium pasterianum*.

Таблица 1

Передвижение KCl (в числителе) и KNO<sub>3</sub> (в знаменателе) в черноземе и дерново-подзолистой почве. 1-я серия опытов

Почва	рК на расстоянии от центра, см				ΔрК на 3—1,5 см	
	3		1,5		12/VII	18/VII
	12/VII	18/VII	12/VII	18/VII		
Чернозем	4,45	2,32	2,32	1,93	2,13	0,39
	4,31	3,55	2,94	2,70	1,37	0,85
Дерново-подзолистая	2,25	1,70	1,13	1,57	1,12	0,13
	2,59	2,57	2,11	1,95	0,48	0,62

В 8-й серии в 100 г дерново-подзолистой хорошо окультуренной почвы учхоза «Михайловское», компостированной 2 мес при оптимальной влажности, вносили 3 мл железозакисляющих и железовосстанавливающих микроорганизмов в количестве 10<sup>5</sup> клеток на 1 мл. Через неделю в почве определяли значения рН, Е<sub>h</sub>, содержание водорастворимого и кислоторастворимого железа в центре и на расстоянии 4 см от него.

В 9-й серии изучали влияние минеральных удобрений на концентрационные поля. Опыты проведены в полевых условиях на дерново-подзолистой почве совхоза «Куликовский». Удобрения NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, KCl, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> по 1 г вносили в почву. Через 1 мес на расстоянии 2,5 и 4,5 см от центра внесения измеряли концентрацию подвижных форм соединений Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, переходящих из почв в ионитовые мембраны, и содержание положительно и отрицательно заряженных форм этих со-

единений, извлекаемых из почв методом электролиза при напряжении 45 В [3].

В 10-й серии изучалась возможность регулирования напряженности концентрационных полей в вертикальном направлении с целью борьбы с вторичным засолением почв. В опытах, проводимых с обыкновенным черноземом учхоза «Муммовское», его образцы растирали, просеивали через сито 1 мм и плотно засыпали в колонки длиной 100 см. В одном из вариантов в колонку на глубине 20 см помещали прослойку торфа мощностью 5 см. В нижней части колонки почву постоянно увлажняли раствором NaCl концентрацией 20 г/л, в верхней части — ее иссушали с помощью ламп накаливания. Через 2 мес в отдельных частях колонок определяли содержание водорастворимого хлора. Анализы проводили не менее чем в 3-кратной повторности. Допустимый уровень вероятности P=0,95

## Результаты

Как видно из табл. 1, активность калия повышается с приближением исследуемого образца к центру внесения. В процессе компостирования калий диффундирует от центра к периферии и активность там повышается. Наблюдается в основном выравнивание активности по всей поверхности образца. В сравнении с дерново-подзолистой почвой чернозем в связи с его большей буферной емкостью характеризуется большей разницей в активности калия в слоях, находящихся на расстоянии 1,5 и 3 см от зоны внесения. Полученные данные показали наличие диффузии калия от центра внесения во всех направлениях и развитие данного процесса во времени.

Таблица 2

Распространение калия в изучаемых почвах (n=8). 2-я серия опытов

Почва	K <sub>2</sub> O водорастворимый (1)	K <sub>2</sub> O в CH <sub>3</sub> COONH <sub>4</sub> (2)	Соотношение (1) : (2)
	мг/100 г		
Дерново-подзолистая:			
центр (А)	10,25 ± 1,59	23,67 ± 1,07	0,43
периферия (Б)	1,61 ± 0,36	7,89 ± 1,45	0,20
А : Б	6,37	3,0	2,15
Чернозем:			
центр (А)	4,91 ± 0,51	28,14 ± 1,09	0,17
периферия (Б)	0,17 ± 0,11	5,63 ± 0,68	0,02
А : Б	30,7	5,0	

Из табл. 2 следует, что при внесении калия в центр образца его обменные и водорастворимые формы аккумулируются там, но в то же время и распространяются к периферии. Скорость распространения калия от зоны внесения неодинакова в почвах с различной буферной емкостью, кроме того, она зависит от его формы. Доля водорастворимых форм в центре внесения выше, чем на периферии, что обусловлено большей степенью насыщенности сорбционных мест калием. В черноземе она меньше, чем в дерново-подзолистой почве, как в центре, так и на периферии образца. Соотношение содержания калия в центре и на периферии позволяет судить о его диффузии. По полученным данным, диффузия калия в дерново-подзолистой почве идет интенсивнее, чем в черноземе. Содержание обменных форм зависит от буферной емкости почв в большей степени, чем содержание водорастворимых форм, что определенным образом сказывается и на соотношении форм в центре и на периферии.

Таблица 3

Волновое распространение окисления ( $E_h$ , мВ по ХСЭ) в исследуемых почвах при оптимальном (в числителе) и избыточном (в знаменателе) увлажнении. 3-я серия опытов\*

Ряд	Чернозем, целина	Дерново-подзолистая высококультурная почва	Серозем	Красная лессивированная
1	318,7+0,16	355,0+54,2	318,7+13,3	316+3,9
	335,6±15,1	260,0±15,3	277,5±10,6	207±11,7
2	201,9+14,1	276,2+33,7	242,5+10,1	267,5±9,4
	266,9±12,8	232,5±18,6	223,7±13,0	123,7±4,0
3	182,5±15,1	256,2±30,2	200,0±8,9	220,0±9,3
	211,2±10,7	147,5±15,8	130,0±16,6	98,1±1,3

\* Данные, полученные совместно с Уаном Амаду Ибрахимом [7].

Данные (рис. 1 и табл. 3) показывают, что потенциал распространяется фронтально от точек внесения окислителя, восстановителя во все стороны. В связи с неоднородностью почвы при установлении равновесия не наблюдается строго сферического распределения потенциала. Так как растворение и реакция окислителей и восстановителей с почвой идут постепенно, то можно предположить неупорядоченное волновое распространение потенциала.

Волна окисления постепенно затухает по направлению от центра внесения  $KMnO_4$  к периферии сосуда. Для разных типов почв значение окислительно-восстановительной буферной емкости неодинаково. В связи с этим  $\Delta E_h$  (разница  $E_h$  в 1-м и 3-м ряду измерений) для исследуемых почв колеблется от 192,5 (в слабобуферном горизонте 20—60 см серозема) до 81,3 мВ (в дерново-подзолистой почве, компостированной в условиях избыточного увлажнения и имеющей исходное значение  $E_h$  всего 94,3 мВ по ХСЭ). Значение  $\Delta E_h$  у образцов почв, компостированных в условиях избыточного увлажнения, было ниже, чем у образца при оптимальном увлажнении. Аналогичные зависимости получены и для буро-красной почвы Мали.

При внесении в почву  $SnCl_2$  также наблюдалось волновое распространение потенциала. В связи с наличием в почве микрзон, неоднородных по буферным свойствам, скорость и путь распространения потенциала от центра чашки Петри, куда был внесен реагент, к периферии неодинаковы в различных направлениях (рис. 1). Если в почве будут находиться два или несколько источников распространения потенциалов, волны каждого из источников будут взаимодействовать друг с другом. Картина силовых или изопотенциальных линий имеет

сложный характер и для своего анализа требует математического аппарата.

Пример такого распределения Eh по поверхности почвы по данным 4-й серии опытов при внесении в нескольких точках минеральных и органических удобрений приведен на рис. 2.

Таким образом, установлена возможность распространения окислительно-восстановительного потенциала в почвах при достаточной их влажности. Отмечается распространение фронта окисления и восстановления от зоны внесения окислителей, восстановителей, органических и минеральных удобрений. Очевидно, потенциал должен распространяться и от экранов окисления (в частности, при соприкосновении почвы с воздухом), экранов восстановления (хорошо гумусированных горизонтов с высокой микробиологической активностью). Окислительно-восстановительное состояние отдельных микрозон почвенного профиля также неодинаково. Зоны окисления и восстановления, возникающие в отдельных участках, постепенно распространяются в пространстве, однако в связи с окислительно-восстановительными буферными свойствами почв фронт распространения волн окисления и восстановления постепенно затухает. При наличии нескольких зон интенсивного окисления и восстановления на небольшом участке почвы волны распространения потенциалов перекрываются. Подобные процессы могут протекать в естественных ценозах, развиваясь от зон кристаллизации, корневых систем живых и отмерших растений, очагов интенсивного развития ферментативной и микробиологической активности. Безусловно, они имеют место и в случаях применения удобрений, мелиорантов, ядохимикатов. Характер и скорость распространения потенциала необходимо знать при расчете доз регуляторов окислительно-восстановительного состояния.

Представляет интерес определение возможностей искусственного изменения размеров и напряженности полей, существующих в почве, путем создания центров осаждения. Последнее вызывает сегрегацию процесса стягивания соединений, в частности железа и марганца, из общей почвенной массы в дискретные центры кристаллизации. По Б. Г. Розанову [2], это явление связано с распределением напряженности поля окислительно-восстановительного потенциала, формирующего поток ионов железа от точек с низким потенциалом к точкам с высоким потенциалом, конфигурация же полей потенциалов определяется конфигурацией почвенной порозности и структурой горизонта. С нашей точки зрения, создание центров осаждения или сорбции возможно за счет изменения pH и Eh среды, образования осадков фосфатов, карбонатов, образования органо-минеральных комплексов, внесения сорбентов с большой емкостью.

Как видно из табл. 4, внесение в почву  $\text{CaCO}_3$  и  $\text{NaOH}$  привело к осаждению Fe и Mn. Процесс осадкообразования распространяется от зоны внесения осадителя.

Создание центров осаждения в виде  $\text{CaCO}_3$  увеличило в зоне внесения содержание подвижного кальция и уменьшило содержание водорастворимого железа по сравнению с их содержанием во всей массе почвы. Для марганца даже с учетом Eh среды указанная тенденция

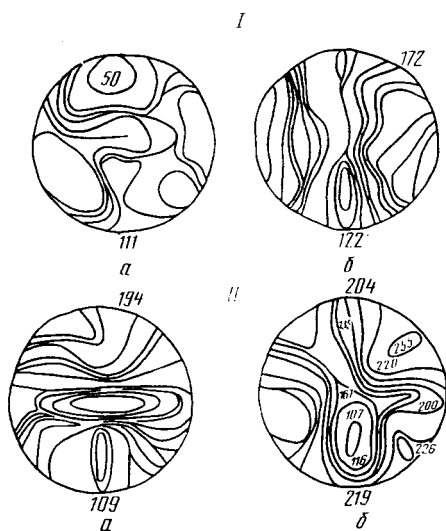


Рис. 2. Распределение ОВП (мВ) на поверхности красной лессивированной (I) и буро-красной (II) почв.

a — избыточная, б — оптимальная влажность

менее однозначна. В черноземе (в почве с высокой буферной емкостью) достоверных изменений изучаемых параметров не наблюдалось. Таким образом, за счет внесения  $\text{CaCO}_3$  возникла разность концентрационных потенциалов железа и марганца между центром внесения и остальной массой почвы, что является необходимой предпосылкой к стягиванию их соединений в центр осаждения. Подобный эффект, очевидно, может быть достигнут и при использовании другого реагента, увеличивающего рН в сфере реакции и вызывающего выпадение

железа и марганца в осадок в виде гидроокисей. В то же время изменение градиента электрического поля должно привести и к изменению градиента концентрационного поля. Так, увеличение значения Eh среды способствует осадкообразованию катионов с переменной валентностью. Подобный эффект может быть достигнут при введении в почву в качестве центра осаждения окислителя (в частности,  $\text{MnO}_2$ ).

В нашем опыте внесение  $\text{MnO}_2$  вызвало увеличение значения Eh в сфере реакции (табл. 6) и вследствие этого переход  $\text{Fe}^{2+}$  в  $\text{Fe}^{3+}$  и осаждение железа, очевидно, в виде  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ . В том случае, когда значение Eh при внесении  $\text{MnO}_2$  существенно не увеличивалось (в пойменной и торфяной почвах), осаждения железа не происходило.

В связи с развитием реакций взаимодействия внесенного вещества с почвой во времени окисление и восстановление распространяются в почве волнообразно. Так, при внесении в почву  $\text{MnO}_2$  значение Eh было равно для чернозема, каштановой, пойменной и дерново-подзолистой почв и торфа при компостировании 1, 16, 17, 25 дней соответственно: 137, 404, 360, 350 мВ; 177, 342, 392, 360 мВ; 253, 205, 278, 278 мВ; 238, 294, 282, 277 мВ; 222, 324, 390, 222 мВ. Соответствующее волнообразное изменение показателей, характеризующих концентрационные и электрохимические поля, наблюдалось как в зоне внесения регуляторов, так и на различном удалении от центра внесения.

Таблица 5

Содержание подвижных форм соединений Ca, Fe, Mn в изучаемых почвах (при внесении  $\text{CaCO}_3$ ,  $t=30$  дней). 6-я серия опытов

Зона	Ca, мг/л	Fe, мг/л	Mn, мг/л	Eh, мВ по ХСЭ	pH
<b>Чернозем</b>					
Центр	29,9	0,43	0,51	283	7,34
Периферия	48,7±16,2	0,69±0,3	0,33±0,12	285±4,7	6,86±0,03
<b>Каштановая</b>					
Центр		8,72	0,23	298	7,18
Периферия	1,8±0,28	24,0±2,4	0,3±0,04	291±5,3	7,27±0,10
<b>Пойменная</b>					
Центр	32,4	0,63	1,31	302	7,12
Периферия	24,6±0,69	1,2±0,18	0,93±0,04	330±9,8	7,05±0,05
<b>Торф</b>					
Центр	176	0,32	0,06	357	5,28
Периферия	142±1,68	0,44±0,04	0,54±0,1	338±13,5	5,25±0,08
<b>Дерново-подзолистая</b>					
Центр	24,5	5,78	0,08	252	7,26
Периферия	6,3±1,1	13,35±3,9	0,23±0,02	272±9,9	7,16±0,11

Таблица 4

Изменение подвижности соединений Fe и Mn в почвах под влиянием центров осаждения  $\text{CaCO}_3$  и NaOH (мг/л в вытяжке 0,1 н. HCl). 5-я серия опытов

Ион	Зона	Чернозем		Торф	
		$\text{CaCO}_3$	NaOH	$\text{CaCO}_3$	NaOH
Fe	Центр	26,3	—	37,2	73,2
	1,5 см	140,4	101,0	78,4	61,2
	3 см	177,7	106,6	71,0	75,7
Mn	Центр	16,8	83,6	38,0	24,3
	1,5 см	89,2	90,9	61,0	38,6
	3 см	112,1	116,7	64,1	37,6

Регулирование напряженности полей в почве может быть проведено и путем изменения микробиологической активности, что подтверждают данные 7-й и 8-й серий опытов.

Из табл. 7 следует, что внесение железоредуцирующих микроорганизмов значительно расширяет соотношение водорастворимых железа и марганца в дерново-подзолистой почве и сужает соотношение кислоторастворимых форм этих соединений. Для лугово-черноземной почвы зависимость в основном обратная. Наблюдаемые различия обусловлены тем, что дерново-подзолистая почва относится к автоморфным. Внесенные в нее редуцирующие микроорганизмы в значительной степени влияли на наиболее подвижные формы соединений железа. Однако их активности не хватило (за принятый в эксперименте промежуток времени) для интенсивного восстановления кислоторастворимых форм. Лугово-черноземная почва в значительной степени восстановлена при использовании ее под рис. Внесенные в нее железоредуцирующие микроорганизмы, очевидно, не смогли вызвать

Таблица 6

Содержание подвижных форм железа в изучаемых почвах (центр осаждения  $MnO_2$ ,  $t=30$  дней). 6-я серия опытов

Зона	pH	Eh, мВ по ХСЭ	Водорастворимое Fe, мг/л
<b>Чернозем</b>			
Центр	6,14	350	5,54
Периферия	$6,12 \pm 0,02$	$313,5 \pm 4,1$	$13,9 \pm 0,7$
<b>Каштановая</b>			
Центр	6,84	360	14,3
Периферия	$7,10 \pm 0,05$	$337,0 \pm 2,7$	$29,4 \pm 0,21$
<b>Пойменная</b>			
Центр	7,12	278	1,48
Периферия	$7,22 \pm 0,07$	$289 \pm 7,0$	$2,57 \pm 0,17$
<b>Торф</b>			
Центр	5,76	272	0,82
Периферия	$5,65 \pm 0,08$	$228,7 \pm 20,3$	$4,93 \pm 4,20$

Таблица 7

Изменение соотношения подвижных форм соединений железа и марганца под влиянием железooksисляющих и железоредуцирующих микроорганизмов

Культура микроорганизмов	Зона	Дерново-подзолистая почва		Лугово-черноземная почва		
		H <sub>2</sub> O	0,1 н. HCl	H <sub>2</sub> O	0,1 н. HCl	
Окисляющие: штамм 5	Центр	14,9	0,17	75,6	0,6	
	Периферия	15,4	0,14	64,3	0,6	
	> 7	Центр	18,9	0,13	45,7	0,6
		Периферия	18,3	0,14	64,9	0,5
> M <sub>1</sub>	Центр	22,8	0,11	47,3	0,6	
	Периферия	31,4	0,12	49,0	0,6	
Редуцирующие <i>Cl. pasteurianum</i>	Центр	42,8	0,11	30,6	0,6	
	Периферия	22,7	0,14	51,0	0,7	

Таблица 8

Изменение подвижности соединений железа в дерново-подзолистой хорошо окультуренной почве при внесении железooksисляющих, железоредуцирующих микроорганизмов ( $n=2-16$ )

Культура микроорганизмов	Зона	pH	Eh	Fe, мг/л	
				H <sub>2</sub> O	0,1 н. H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
Железooksисляющие	Центр	5,0	455	6,5	18,0
	Периферия	5,0	458	5,9	18,9
Железовосстанавливающие	Центр	5,2	469	12,2	18,4
	Периферия	5,0	478	9,0	19,3
Контроль	—	5,0	485	2,0	21,8

Подвижность кальция и железа в изучаемых почвах (мг/л) при внесении удобрений

Удобрение	Центр			В 5 см от центра		
	Ca	CaL <sup>+</sup> /CaL <sup>-</sup>	FeL <sup>+</sup> /FeL <sup>-</sup>	Ca	CaL <sup>+</sup> /CaL <sup>-</sup>	FeL <sup>+</sup> /FeL <sup>-</sup>
KCl	13,5	0,64	нд	19,0	0,25	0,3
NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	28,8	0,20	0,35	36,6	0,68	0,03
Ca (H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub>	17,4	12,0	18,6	15,0	4,3	0,22

дополнительного восстановления железа. Увеличение подвижности железа в этих почвах при внесении железобактериальных микроорганизмов нуждается в дальнейшем изучении. Содержание водорастворимых и кислоторастворимых форм соединений железа в лугово-черноземной почве было в 2—4 раза выше, чем в дерново-подзолистой почве, а по содержанию подвижных соединений марганца сравниваемые почвы различались мало. Внесение микроорганизмов изменило подвижность железа, на что указывает и соотношение водорастворимых и кислоторастворимых форм соединений железа в разных вариантах.

По сравнению с контролем в вариантах с железобактериальными и железобактериальными микроорганизмами отмечалось увеличение содержания водорастворимого железа при некотором уменьшении кислоторастворимых форм (табл. 8). Значения pH и Eh оставались практически без изменений. В то же время внесение железобактериальных и железобактериальных микроорганизмов, особенно последних, привело к увеличению содержания водорастворимых форм соединений железа. В зоне внесения данный процесс выражен в большей степени.

Удобрения и мелиоранты изменяют подвижность и других ионов в почве. В 9-й серии опытов изучалось изменение подвижности в дерново-подзолистой почве совхоза «Куликовский» Ca, Mg, Fe, Mn, Zn при внесении NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>, KCl, Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub>. Определялось содержание ионов в почве в зоне внесения удобрения (2 см), а также в 2,5, 4 и 5 см от этой зоны. Наблюдаемые при этом изменения подвижности ионов в почве оказались неоднозначными для разных почв и зависели от концентрации вносимого удобрения. В табл. 9 приведены усредненные данные о влиянии различных удобрений на подвижность кальция и железа в исследуемых почвах.

При внесении NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> в большей степени увеличивается подвижность кальция, что связано с более кислой реакцией, возникающей при его растворении. Внесение KCl и Ca(H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>)<sub>2</sub> привело к увеличению содержания ионных форм кальция и уменьшению доли его комплексных соединений.

В 10-й серии опытов изучалась возможность регулирования концентрационных полей натрия и хлора в почве в вертикальном направлении с целью уменьшения засоленности верхнего горизонта почв засоленными грунтовыми водами. Это осуществлялось введением в профиль почвы прослойки сорбента, поглощающего натрий и хлор и обладающего большим, чем почва, размером капилляров, что препятствует передвижению засоленной воды в верхний иссушаемый горизонт.

Как видно из табл. 10, прослойка торфа полностью предотвратила засоление находящегося сверху слоя почвы. В контрольных колон-

Таблица 10

Содержание хлора в почвенных колонках при капиллярном подпитывании солевым раствором (мг·экв/100 г)

Глубина, см	Контроль	Прослойка торфа, 20—25 см
0—10	7,5	Нет
10—20	10,1	»
20—30	9,7	1,8 (15,8)*
30—40	11,1	10,4
90—100	44,2	51,5

\* В скобках вариант с прослойкой почвы 25—30 см.



ках, в которых отсутствовала прослойка, наблюдалось очень сильное засоление верхнего 20-сантиметрового слоя почвы. Таким образом, полученные данные позволили установить наличие, а также возможность распространения и регулирования концентрационных и электрохимических полей в почве.

### Выводы

1. В естественной почве существуют концентрационные и электрохимические поля, напряженность которых меняется при внесении удобрений и мелиорантов.

2. В почвах существует неупорядоченное волновое распространение концентрационных и электрохимических полей, при этом скорость их распространения в разных направлениях неодинакова и определяется буферными свойствами микронзон почвы.

3. Для агрономических целей предлагается регулирование концентрационных и электрохимических полей путем искусственного создания центров и экранов кристаллизации, осадкообразования и сорбции за счет внесения в почву осадителей, окислителей, восстановителей, сорбентов с высокой емкостью, изменяющих аэрацию, капиллярное подпитывание, в форме гранул и прослоек.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Панов Н. М., Савич В. И., Габасова И. М. Генетическая интерпретация гистерезиса окислительно-восстановительного состояния почвы. — ТСХА, 1979, вып. 6, с. 70—78. — 2. Розанов Б. Г. Генетическая морфология почв. — М.: Изд-во МГУ, 1975. — 3. Савич В. И., Трубицина Е. В., Баскакова С. Ю. и др. Химическая автография прикорневой зоны растений на основе электролиза и ионитовых мембран. — Агрохимия, 1986, № 10, с. 120—125. — 4. Савич В. И. Расчеты равновесий при взаимодействии удобрений и мелиорантов с почвой. — М.: ТСХА, 1987. — 5. Сидоренко О. Д., Са-

вич В. И., Сидибе Г. Окислительно-восстановительное состояние и микробиологическая активность лугово-черноземной почвы при бесменном выращивании риса. — Изв. ТСХА, 1986, вып. 4, с. 68—72. — 6. Трубицина Е. В. Состояние соединений железа и марганца в подзолистых почвах разной степени гидроморфности. — Автореф. канд. дис. М.: ТСХА, 1983. — 7. У а н А м а д у И б р а х и м. Окислительно-восстановительное состояние некоторых типов почв и пути его регулирования. — Автореф. канд. дис. М.: ТСХА, 1985.

*Статья поступила 3 мая 1988 г.*

### SUMMARY

An irregular spheric wavy spreading of  $K^+$ ,  $NO_3^-$  in the soil from the area of application has been established. It has been found that Fe, Mn may move in the soil from the whole soil mass to the area of their depositing due to sediment formed as hydroxides after application of  $CaCO_3$ ,  $Ca(OH)_2$ ; due to higher Eh resulting from application of Mn and sedimentation of Fe as  $Fe(OH)_3$ , transportation of  $Fe^-$  from reduction area to oxidation area. It is shown that gradient of Fe concentration potential may be changed as a result of activity of ferrum-oxidizing and ferrum-reducing bacteria. The results obtained show that extension of ion activity from area of fertilizer application, from screens with high activity may be forecasted.