

ХИМИЯ

ПОЧВ

УДК631.48:631.481

**ТРАНСФОРМАЦИЯ СОЕДИНЕНИЙ ЖЕЛЕЗА В ЧЕРНОЗЕМАХ  
В УСЛОВИЯХ ПОВЫШЕННОЙ УВЛАЖНЕННОСТИ ПОЧВ\***

©2001г. С. А. Николаева, А. М. Еремина

;

Факультет почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова

Поступила в редакцию 22.06.2000 г.

Представлены результаты лабораторного эксперимента по моделированию кратковременного и длительного затопления черноземных почв и влиянию его на состояние соединений железа. Установлено, что периодическое переувлажнение почв обуславливает увеличение в составе несиликатных форм железа доли наиболее активных, диспергированных, способных к миграции, форм. Отмечено также увеличение содержания железо-органических комплексных соединений, отличающихся наибольшей подвижностью и устойчивостью к осаждению. Режим переувлажнения почв в сочетании с оттоком почвенных растворов обуславливает вынос из почв Fe и Ca, способствуя развиту в таких почвах процесса глееобразования.

Железо в черноземных почвах является мало-подвижным, достаточно инертным и устойчивым элементом, что определяется геохимическими, гидрологическими и климатическими особенностями степной зоны и свойствами самих почв. Присущий почвам степей водно-воздушный режим обуславливает господство в почвах окислительной обстановки. В этих условиях преобладающей формой железа является трехвалентная - термодинамически наиболее устойчивая. Повышению устойчивости железа в данном случае способствуют также нейтральная и слабощелочная реакция среды и присутствие в почвах карбонатов. Можно считать, что устойчивость железа в черноземах, его инертность и малая подвижность определяются в первую очередь автоморфностью экосистемы.

Однако в настоящее время в степных ландшафтах Русской равнины и Западного Предкавказья отмечается увеличение обводненности литогенной и почвенной толщи в силу ряда причин антропогенного и природного характера [2, 3, 12, 23 и др.]. Главные из них: 1) орошение, практикуемое на больших площадях, обусловившее смену непромывного режима черноземных почв на периодически промывной; 2) зарегулирование стока степных рек, в результате чего они перестали выполнять роль естественных дрен; 3) перегораживание внутрпочвенного и поверхностного стоков дорогами и лесополосами; 4) уплотнение почв тяжелой техникой; 5) наблюдаемое в последние годы увеличение количества выпадающих атмосферных осадков в степной зоне (на 100-120 мм, а в отдельные годы на 200-250 мм).

\* Работа выполнена при поддержке Межвузовской научной программы 015 "Университеты России".

В результате в степной зоне практически повсеместно отмечается подъем уровня грунтовых вод, особенно на слабодренированных, с малыми уклонами местности равнинах, появление здесь блюдцеобразных западин (мочаров), которые, однажды возникнув, уже никогда не исчезают бесследно. Четко проявляется устойчивая тенденция к увеличению во времени числа западинных контуров и их размеров.

Почвы образовавшихся понижений периодически испытывают и грунтовое, и поверхностное переувлажнение. В результате в них создается иной, чем в автоморфных условиях водно-воздушный и, как следствие последнего, - окислительно-восстановительный (ОВ) режим. Окислительные условия (характерные для автоморфных черноземов) в периоды переувлажнения почв меняются на восстановительные. В зависимости от степени и длительности периода повышенной увлажненности почв показания ОВ потенциала (Eh) могут меняться от +500 до -100 мВ [4]. Данное обстоятельство существенно влияет на состояние соединений железа, поскольку при потенциалах ниже +400...+300 мВ железо в почвах начинает восстанавливаться [16]. По данным Gotoh, Patrik [27] в модельных опытах при pH 6-7 (что характерно для черноземов) восстановление железа наблюдалось в интервале +100...+300 мВ.

Изменение водного режима почв, их переувлажнение (даже кратковременное), создание условий анаэробии в почвах неизбежно активизирует процессы восстановления железа, нарушает соотношение окисленных и восстановленных форм, которые существенно различаются по своим функциональным особенностям, роли в процессах почвообразования. Известно, что в зависимости от ОВ состояния почв, соединения железа

имеют различную степень подвижности, разную способность образовывать комплексные соединения, участвовать в реакциях поглощения и т.д. и тем самым влиять на ход почвообразовательного процесса ,

Поэтому показатели состояния соединений железа часто используются как диагностический признак процессов, происходящих в почвах.

Роль и значение Fe в почвообразовании в степных условиях и особенно при изменении экологии последних изучены недостаточно. Это касается главным образом кинетики трансформационных явлений и количественного переноса минеральных форм железа и железо-органических соединений [8].

Нами изучено влияние условий повышенной увлажненности черноземных почв на подвижность Fe и вынос его из почв, а также на состояние соединений кальция и кислотно-основные свойства. Исследование выполнено в условиях лабораторного физического моделирования кратковременного и длительного затопления почв.

#### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование влияния степени увлажнения на состояние соединений железа и процессы в почвах выполнено на типичном малогумусном тяжелосуглинистом черноземе (Азово-Кубанская слабодренированная равнина, Краснодарский край, Динской район). Для модельного эксперимента использован смешанный образец из гор. Апах и А1 названного чернозема. Высушенная до воздушно-сухого состояния почва (350 г.), просеянная через сито 3 мм, помещалась в сосуды равного объема. Высота почвенного слоя составляла 10 см. Для улучшения дренажа на дно сосудов помещался отмытый от железа кварцевый песок слоем 4-5 см. Почва в сосудах увлажнялась дистиллированной водой с добавлением глюкозы (1 %-ный раствор) для стимуляции биологической активности. Этот прием рекомендован в практике биохимических и микробиологических исследований [18] и широко используется исследователями [10 и др.].

Опыт включает 8 вариантов различного увлажнения почв. При этом было смоделировано еженедельное (в течение 2 мес) увлажнение почв до полной полевой влагоемкости (**IIIV**) и затопление почв в течение 5 и 20 ч, 4, 10, 20 и 56 сут. Причем варианты 5- и 20-часового, а также 4-суточного затопления воспроизводились три раза. Между первым, вторым и третьим затоплением почва оставалась в сосудах для просушки в течение 3,5 недель. В сосудах в период их затопления поддерживался слой воды в 2 см. По истечении заданного опытного срока затопления в сосудах создавался режим отточности (через сливные отверстия). Гравитационная влага - элюаты соби-

ралась в приемники для определения в них "водорастворимых Fe и Ca и кислотности растворов (рН). В почвах для каждого варианта опыта определены: 1) групповой состав соединений Fe<sup>1-</sup> - Fe несиликатных (свободных) соединений экстрагируемых дитионит-цитрат-бикарбонатной вытяжкой (**ДЦБ**) - метод Мера-Джексона; формы Fe, извлекаемые оксалатной вытяжкой (**ОКС**) - условно-аморфные соединения - метод Тамма; железо-органические соединения, экстрагируемые пирофосфатом калия - метод Баскомба [13]. Количественное определение всех форм железа выполнено атомно-адсорбционным методом; 2) кальций в элюате и водной вытяжке - комплексонометрическим методом [5]; 3) рН элюатов и водной суспензии (1:2.5) потенциметрически.

#### СОСТОЯНИЕ СОЕДИНЕНИЙ Fe В ЗАВИСИМОСТИ ОТ СТЕПЕНИ ГИДРОМОРФНОСТИ ПОЧВ

К наиболее активным формам Fe относят несиликатные (свободные) формы [14], которые обладают способностью мигрировать по почвенному профилю. При этом степень миграционной способности различных соединений, входящих в состав свободного (несиликатного) железа существенно различаются. Так окристаллизованные формы<sup>1</sup>, образование которых связано преимущественно с окислительной обстановкой, и которые поэтому присущи почвам с устойчивым окислительным режимом, нерастворимы в воде (при рН > 5). Миграция их осуществляется главным образом вместе с илистыми частицами, при передвижении последних.

Образование несиликатных аморфных соединений (извлекаемых ОКС-вытяжкой), связано с восстановительными условиями, т.е. с условиями, присущими гидроморфным почвам. Эти формы Fe находятся в коллоидном, дисперсном состоянии и представляют собой гидроксидные и закисные соединения и железо-гумусовые комплексы. Они входят также в состав ила и образуют пленки на поверхности минеральных частиц. Эти формы Fe мигрируют вместе с почвенными растворами и, кроме того, подобно окристаллизованным формам, вместе с илистыми частицами входят в состав последних.

Окристаллизованные и аморфные формы в зависимости от ОВ условий почвы при изменении последних легко переходят одна в другую. Чем

<sup>1</sup> При выполнении данной работы принята система разделения соединений железа на группы и терминология, предложенная Зонном [13].

Окристаллизованные формы железа в почве определяют расчетным путем. Это разность между общим содержанием несиликатных (вытяжка ДЦБ) и аморфных форм (вытяжка ОКС) соединений железа.

менее окристаллизованы соединения Fe,;ГЕМ большая доля их может восстановиться при росте гидроморфности почв и перейти в аморфные формы,

Аморфные формы отличаются повышенной активностью, реакционной способностью, способствуют пептизации почвенной массы. Среди форм Fe, извлекаемых ОКС-вытяжкой наиболее активными и подвижными, устойчивыми к осаждению являются соединения Fe, связанные с органическим веществом. В почвах, испытывающих постоянное или временное переувлажнение, эти соединения составляют до 60-70% от общего углерода [1, 15, 17]. Данный факт свидетельствует об исключительно важной роли этих соединений в процессах почвенно-геохимической миграции Fe.

С точки зрения оценки степени активности Fe, окристаллизованности свободных оксидов **весьма показательным является отношение:  $Fe_{\text{аморфное}} : Fe_{\text{свободное}}$ , известное в литературе как коэффициент Швертмана [26], а также модификация этого коэффициента:  $Fe_{\text{аморфное}} : Fe_{\text{окристаллизованное}}$  [11]. Чем выше величина указанных коэффициентов, тем меньше степень окристаллизованности свободного Fe и тем выше степень его активности. Этот коэффициент используют также для оценки степени гидроморфности почв и характеристики почвенных процессов [6, 20, 21, 28].**

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты выполненных исследований представлены в табл. 1. Как следует из данных таблицы в черноземе, высушенном до воздушно-сухого состояния (контрольный образец) содержится 1.3% свободного (несиликатного) Fe. На окристаллизованные формы приходится 91.6%, на аморфные — 8.4%. Среди аморфного Fe явно преобладают минеральные формы, не связанные с органическим веществом (73%).

Подобное соотношение различных форм железа характерно для автоморфных степных почв, находящихся в режиме естественного увлажнения и господства в почвах окислительной обстановки.

Систематическое (еженедельное) увлажнение почв до ППВ (вариант 2) мало сказывается на трансформации соединений Fe, поскольку в почвах господствующей остается окислительная обстановка. Однако и в этом случае все же проявляется тенденция перехода части окристаллизованных форм в аморфные и более активного формирования железо-органических комплексов. Показатель активности Fe по сравнению с контрольным образцом возрос почти на единицу (составил соответственно 8.4 и 9.2).

При кратковременном (5-часовом) застое влаги на поверхности почв (вариант 3.1) отмечается

дальнейший переход окристаллизованных форм в аморфные и увеличение содержания железо-органических комплексов. Но и в данном варианте опыта эти изменения не носят кардинальный характер, а проявляются скорее на уровне четко выраженной тенденции. Выявленные незначительные количественные различия соотношения форм Fe в исходном образце и при первом 5-часовом затоплении связаны с высокой буферностью черноземов, обогащенностью их кислородсодержащими соединениями (оксидами Fe, Mn, N и др.), которые и создают достаточно высокие запасы кислорода и при полном расходовании свободного кислорода. Это обстоятельство препятствует резкому и быстрому падению ОВП, смене условий аэробно-анаэробно [22], что тормозит процесс трансформации соединений Fe. Повторное создание режима затопления почв на 5 ч (после просушки их в течение 25 сут) и последующее, третье затопление (варианты 3.2 и 3.3) обозначили очень четко выявляющиеся изменения в соотношении окристаллизованных и аморфных форм Fe.

Доля окристаллизованных форм от свободных форм железа уменьшается в варианте 3.2 до 86 и в варианте 3.3 - до 82%, соответственно аморфных увеличивается до 14 и 18%. Особенно существенно меняется соотношение аморфных соединений Fe, связанных и не связанных с органическим веществом, - доля первых возрастает на 20% и более по сравнению с вариантом 3.1 (до 56%). Коэффициент активности Fe вырос практически в 1.5-2 раза. Такое прогрессивное увеличение содержания активных форм Fe, рост его подвижности при повторном затоплении, говорит о том, что полной релаксации почв в период их просушки между их затоплениями даже на короткий срок (5 ч) не происходит.

Тяжелый гранулометрический состав исследуемых почв, присутствие монтмориллонитового компонента, обеспечивающие высокую водоудерживающую способность почв, способствуют сохранению анаэробных условий в почве даже при не очень высоких абсолютных значениях влажности. В этих условиях идет накопление восстановленных и недоокисленных соединений. Этому способствует и истощение запасов свободного  $O_2$  и кислородсодержащих соединений при первом затоплении. Сказанное обуславливает очень медленное и неполное восстановление условий аэробно-анаэробно в почвах в период их просушки. ОВП этих почв редко превышает +350...+400 мВ, в них сохраняются предпосылки для перевода окисленных форм Fe в восстановленные.

Поэтому при каждом новом цикле повышенного увлажнения почв признаки гидроморфизма почв прогрессивно нарастают. Аналогичная динамика и трансформация соединений Fe отмече-

Таблица 1. Групповой состав соединений железа в почвах модельного опыта

Вариант	Железо, %					Коэффициент Швермана $Fe_{ам}/Fe_{своб} \cdot 100$	Модифицированный коэффициент Швермана $Fe_{ам}/Fe_{окр} \cdot 100$
	несиликатное (свободное)	окристаллизованное/% от свободного	аморфное ( $Fe_{ам}$ )				
			общее	связанное с органическим веществом/% от $Fe_{ам}$	не связанное с органическим веществом/% от $Fe_{ам}$		
1. Контроль	1.31	$\frac{1.20}{91.6}$	0.11	$\frac{0.03}{27.3}$	$\frac{0.08}{72.7}$	8.4	9.2
2. Увлажнение до ППВ	1.30	$\frac{1.18}{90.8}$	0.12	$\frac{0.04}{33.3}$	$\frac{0.08}{66.7}$	9.2	10.2
3. Затопление на 5 ч:							
3.1. Первое	1.11	$\frac{1.00}{90.0}$	0.11	$\frac{0.04}{36.4}$	$\frac{0.07}{63.6}$	10.0	11.0
3.2. Второе, после 1-й просушки	1.14	$\frac{0.98}{86.0}$	0.16	$\frac{0.09}{56.3}$	$\frac{0.07}{43.7}$	14.0	16.3
3.3. Третье, после 2-й просушки	1.09	$\frac{0.90}{82.3}$	0.19	$\frac{0.11}{57.9}$	$\frac{0.08}{42.1}$	17.7	21.1
4. Затопление на 20 ч:							
4.1. Первое	1.09	$\frac{1.00}{91.7}$	0.09	$\frac{0.05}{55.6}$	$\frac{0.04}{44.4}$	8.3	9.0
4.2. Второе, после 1-й просушки	1.28	$\frac{1.13}{88.3}$	0.15	$\frac{0.10}{66.7}$	$\frac{0.05}{33.3}$	11.7	13.3
4.3. Третье, после 2-й просушки	1.15	$\frac{0.97}{84.3}$	0.18	$\frac{0.12}{66.7}$	$\frac{0.06}{33.3}$	15.7	18.6
5. Затопление на 4 сут:							
5.1. Первое	1.38	$\frac{1.22}{88.4}$	0.16	$\frac{0.11}{68.8}$	$\frac{0.05}{31.2}$	11.6	13.1
5.2. Второе, после 1-й просушки	1.40	$\frac{1.14}{81.4}$	0.26	$\frac{0.13}{50.0}$	$\frac{0.13}{50.0}$	18.6	22.8
5.3. Третье, после 2-й просушки	1.14	$\frac{0.86}{75.4}$	0.28	$\frac{0.17}{60.7}$	$\frac{0.11}{39.3}$	24.6	32.6
Затопление, сут:							
7. 20	1.01	$\frac{0.75}{73.3}$	0.27	$\frac{0.19}{70.4}$	$\frac{0.08}{29.6}$	26.7	36.0
8. 56	1.13	$\frac{0.78}{69.0}$	0.35	$\frac{0.21}{60.0}$	$\frac{0.14}{40.0}$	31.0	44.9

ны и в случае 20-часового затопления почв (варианты 4.1, 4.2, 4.3). В количественном отношении отмечается особенно сильное увеличение содержания аморфных соединений Fe, связанных с органическим веществом (рост доли аморфных железо-органических соединений уже при первом затоплении почв возрастает в 2 раза по сравнению с контрольным образцом - до 56%). При-

чины подобной трансформации соединений Fe те же, что и в предыдущем варианте опыта.

Создание избыточного непрерывного увлажнения в течение 4 суток и особенно повторном 4-суточном, 20- и 56-суточном - обусловило ярко выраженную трансформацию соединений Fe в сторону перехода окристаллизованных соединений в аморфные (до 35%) и образования аморф-

щих, связанных с органическим веществом (до 70%). Активность Fe в этих вариантах опыта по сравнению со слабо увлажняемыми образцами возросла в 3-5 раз.

Для оценки достоверности "различий" результатов исследований нами выполнен дисперсионный анализ. На основании его результатов установлено, что средние значения содержания всех изученных форм Fe по вариантам опыта с достоверной вероятностью 0.95 значительно различаются между собой.

В качестве общих трендов изменения состояния соединений Fe в черноземных почвах, испытывающих условия периодического переувлажнения, можно отметить следующие. Во-первых, - увеличение доли в наибольшей степени диспергированных, активных форм Fe, способных к передвижению по профилю почв. Содержание этих соединений Fe имеет прямую зависимость от длительности гидроморфного состояния почв. Кроме того, отмечается прогрессивное накопление их в почве при периодически повторяющихся режимах переувлажнения, разделенных циклами иссушения почв. Накоплению и сохранению в почвах этих соединений способствует также обогащенность черноземных почв гумусом и фосфатами, поскольку в присутствии достаточного высокого их содержания процесс окристаллизации аморфных форм тормозится [24]. Обусловлено это тем, что гумусовые кислоты и фосфаты, адсорбируясь на аморфных оксидах и гидроксидах, препятствуют кристаллизации последних. Так что в черноземах смена окислительных условий на восстановительные вызывает активный перевод окристаллизованных форм в аморфные, а обратный процесс, даже в окислительных условиях, в какой-то степени блокируется, что и вызывает высокое содержание в периодически переувлажняемых черноземных почвах соединений Fe, извлекаемых ОКС-вытяжкой.

Второе - это увеличение доли Fe, связанного с органическим веществом.

Обусловлено это тем, что режим переувлажнения почв, особенно обогащенных гумусом, вызывает трансформацию органической части почв. При этом существенно возрастает количество лабильных органических кислот, часть гуминовых кислот переходит в фульвокислоты, появляются низкомолекулярные органические кислоты. Все эти продукты органической природы обладают способностью образовывать комплексные соединения с Fe(II), которые отмечаются большой подвижностью и устойчивостью к осаждению, даже, как указывает Дюшофур [9], в благоприятных для этого условиях (при pH выше 4 и в хорошо аэрируемой среде).

Накоплению в почвах органо-железистых комплексов способствует также то, что их образова-

ние идет быстрее разрушения, поскольку они образуются как биохимическим, так и химическим путем, разрушаются же только биохимическим [25]. Численность микроорганизмов, способных разрушать железо-органические комплексы в условиях анаэробного невелика, что и обуславливает сохранение и накопление этих соединений в почвах. Количество миксотрофов, способных разрушать железо-органические соединения, резко возрастает только при создании в почвах устойчивой окислительной обстановки. Учитывая, что в черноземах восстановление окислительной обстановки, после периода их переувлажнения идет медленно, становится понятным сохранение в течение длительного времени повышенного содержания железо-органических соединений в почвах.

Таким образом, полученные нами данные по абсолютному содержанию и, особенно, по соотношению различных групп и форм Fe в черноземах, испытывающих периодическое переувлажнение, однозначно свидетельствуют о том, что в данном случае Fe перестает быть консервативным элементом, оно приобретает высокую подвижность и активность, оказывая существенное влияние "на ход процесса почвообразования, участвуя в процессах пептизации глинистой массы, что в конечном итоге обуславливает развитие процесса слитизации, негативно влияя на фосфатный режим. Так по данным Горбунова [7], активное Fe (извлекаемое ОКС-вытяжкой) поглощает фосфора в 100 и более раз больше, чем окристаллизованное. Причем этот процесс как правило необратим.

В условиях отточного режима мобилизация подвижных форм Fe приводит к неизбежному выносу его из почв, что подтверждается данными (табл. 2). При этом направленность процесса элювиирования Fe из почв четко выражена и связана с увеличением длительности условий гидроморфизма в почве. Концентрация Fe в элюате возросла с 0.65 мг/л при 5-часовом застое влаги на поверхности почв до 46.8 мг/л при двухмесячном переувлажнении почв. Наиболее благоприятные условия для выноса Fe имеют место обычно при кислой или нейтральной реакции почвенного раствора. В карбонатных почвах условия для миграции Fe не столь благоприятны в результате нейтрализации кислых продуктов щелочноземельными металлами. Однако известно [19], что затопление почв, особенно длительное, нарушает карбонатно-кальциевое равновесие в почвах, сдвигает его в сторону растворения карбонатов кальция и выхода кальция из почвенного поглощающего комплекса. Это обуславливает декальцинацию почв. Поэтому можно считать, что присутствие в почвах соединений кальция будет тормозить процесс миграции Fe только на самых первых этапах изменения экологии почв и связан-

Таблица 2. Динамика содержания Са и Fe в элюате в зависимости от длительности затопления, рН элюата и рН почвенной суспензии. Модельный опыт

Вариант	Са, мг-экв/л	Са, мг/л	рН элюата	рН суспензии, водный
1. Контроль	≈0.68	Не опр.		6.5
2. Увлажнение до ППВ		Не опр.		6.6
3. Затопление на 5 ч:				
3.1. Первое	2.6	0.65	6.3	6.4
3.2. Второе, после 1-й просушки	4.0	0.65	Не опр.	6.4
3.3. Третье, после 2-й просушки	2.5	2.65	6.4	6.6
4. Затопление на 20 ч:				
4.1. Первое	3.7	0.2	6.7	6.4
4.2. Второе, после 1-й просушки	3.8	0.4	6.7	6.3
4.3. Третье, после 2-й просушки	3.3	1.3	7.0	6.6
5. Затопление на 4 сут:				
5.1. Первое	23.4	5.0	6.5	6.2
5.2. Второе, после 1-й просушки	26.5	Не опр.	5.9	5.6
5.3. Третье, после 2-й просушки	20.5	19.2	5.3	5.5
Затопление, сут:				
6. 10	16.5	7.8	5.2	5.5
7. 20	57.0	8.0	5.5	5.2
8. 56	Не опр.	46.8	4.6	4.7

ной с этим трансформации соединений Fe. Лишение почв кальция зафиксировано и в наших опытах (табл. 2). Отмечено также подкисление почвенного раствора на 1.5-2 единицы рН (до 6-4.5 при затоплении почв на 4 и более суток). В этих условиях активность Fe(II), его гидрокомплексов и органокомплексов резко увеличивается, увеличивается и вынос Fe из почв.

Восстановление оксидных форм Fe и несбалансированный вынос несиликатного Fe - что является характерным общим признаком преобразования, оказывающего при застойно-промывном водном режиме существенное влияние на минеральный субстрат, становится активным фактором деградации почв [10].

Основываясь на результатах выполненного модельного опыта можно с большой Долей вероятности прогнозировать, что в степной зоне на черноземах при усилении гидроморфности и создании периодического застойно-промывного режима на участках, являющихся водосбором, неизбежно проявление глееобразования и элюирования из почв как легкорастворимых солей, гипса, карбонатов, так и железа, й ила. С выносом этих веществ связаны обескальцивание и подкисление почв, текстурные изменения почвенной толщи, их уплотнение, вплоть до формирования слитого горизонта, т.е. в данном случае имеют место деградационные изменения почв, эволю-

ция их в сторону почв, принципиально отличающихся от черноземов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Александрова Л.Н.* Органическое вещество почвы и процессы его трансформации. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1980. 284 с.
2. *Ачканов А.Я., Николаева С.А.* Вторичный гидроморфизм почв степных ландшафтов Западного Предкавказья // Почвоведение. 1999. № 12. С. 1424-1432.
3. *Безуглова О.С., Назаренко О.Т.* Генезис и свойства мочаристых почв Предкавказья // Почвоведение. 1998. № 12. С. 1423-1430.
4. *Блынская И.В.* Окислительно-восстановительное состояние черноземов в условиях различных режимов увлажнения // Тез. докл. Междунар. конф. студентов и аспирантов по фундаментальным наукам "Ломоносов-96". М., 1996. С. 8.
5. *Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 270 с.
6. *Воробьева Л.А., Далзжит Синх.* Влияние гидроморфизма на состояние железа и марганца в почвах сероземной зоны // Вести. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 1995. № 2. С. 32-41.
7. *Горбунов Н.И.* Связь минералогии с почвоведением и агрохимией // Почвоведение. 1970. № 2. С. 133-145.
8. *Добровольский Г.В., Карпачевский Л.О., Зубкова Т.А.* О роли железа в почвообразовании // Же-

- лезу в почвах: Тез. докл. Междунар. совещания. Ярославль, 1999. С. 15-16.
9. Дюшофур Ф. Основы почвоведения. М.: Прогресс, 1970. 587 с.
  10. Зайдельман Ф.Р. Процесс глееобразования и его роль в формировании почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 300 с.
  11. Зайдельман Ф.Р., Никифорова А.С. Диагностика степени гидроморфизма светло-бурых и дерново-подзолистых почв // Почвоведение. 1986. № 2. С. 5-14.
  12. Зайдельман Ф.Р., Тюльпанов В.И., Ангелов Е.Н., Давыдов А.И. Почвы мочарных ландшафтов - формирование, агроэкология и мелиорация. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 160 с.
  13. Зонн С.В. Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 202 с.
  14. Зонн С.В., Маунг Вин Хтин. О формах железа, методах их определения и значения для диагностики тропических почв // Почвоведение. 1971. № 5. С. 7-20.
  15. Кауричев И.С., Ноздрунова Е.М. Роль компонентов водорастворимого органического вещества растительных остатков в образовании подвижных железоорганических соединений // Почвоведение. 1961. № 10. С. 10-18.
  16. Кауричев И.С., Орлов Д.С. Окислительно-восстановительные процессы и их роль в генезисе и плодородии почв. М.: Колос, 1982. 246 с.
  17. Костенков Н.М. Особенности окислительно-восстановительных процессов в почвах рисовых плантаций приморья // Химия почв рисовых полей. М.: Наука, 1976. С. 127-151.
  18. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Под ред. Д.Г. Звягинцева. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 300 с.
  19. Минкин М.Б., Ендовицкий А.П., Калиниченко В.П. Карбонатно-кальциевое равновесие в почвенных растворах. М.: Изд-во МСХА, 1995. 210 с.
  20. Моргун Е.Г., Ковалевская И.С., Ковда И.В., Рыскова Е.Л. Соединения железа в степных почвах (на примере ТЦентрального Предкавказья) // Железо в почвах. Тез. докладов международного совещания. - Ярославль, 1999. С. 24-26.
  21. Николаева С.А., Дерюжинская В.Д., Дуришова А.В. Формы соединений железа в почвах рисовых полей // Почвоведение. 1987. № 7. С. 31-37.
  22. Николаева С.Л., Майнашева Г.М. Окислительно-восстановительный режим черноземных почв, используемых под культуру риса // Науч. докл. высш. шк. Биол. науки. 1976. № 8. С. 122-125.
  23. Овечкин С.В., Исаев В.Л. Периодически-переувлажненные почвы ЦЧР // Генезис, антропогенная эволюция и рациональное использование почв: Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1989. С. 18-25.
  24. Чухров Ф.В., Горшков А.И., Березовская В.В., Тюрюканов А.Н., Сивцов А.В. К геохимии и минералогии марганца и железа в молодых продуктах гипергенеза // Изв. АН СССР. 1980. Сер. геол., № 7. С. 5-24.
  25. Шапова Л.Н. Микрофлора почв рисовых полей Приморья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Л., 1972. 24 с.
  26. Blurne H.P., Schwertmann U. Genetic evaluation of profile distribution of aluminum, iron and manganese oxides // Soil Sci. Soc. Proc. 1969. V. 33. P. 438-444.
  27. Gotoh S., Patrik W.H. Transformation of iron in Waterlogged soil as influenced by redox potential and pH // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1974. V. 38. P. 66-71.
  28. McKeague T.A., Day T.H. Dithionite and oxalate-extractable Fe and Al as aids in differentiating various classes of soils // Canad. J. Soil Sci. 1966. V. 46. P. 13-22.

## Transformation of Iron Compounds in Chernozems upon High Moisture Content

S. A. Nikolaeva and A. M. Eremina

The results of laboratory modeling of short- and long-term flooding of chernozemic soils and its effect on the status of iron compounds are discussed. The recurrent soil moistening is found to raise the share of the most active, mobile, and dispersed forms of nonsilicate iron compounds. An increase in the content of the most mobile and resistant to sedimentation iron-organic complexes is also registered. The soil overmoistening and the removal of soil solutions lead to the soil depletion of Fe and Ca and promote the development of gleyzation.

x