

ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631 48

ОПЫТ СУБМИКРОСКОПИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЖЕЛЕЗИСТЫХ НОВООБРАЗОВАНИЙ В СЛИТОЗЕМАХ ЦЕНТРАЛЬНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ*

© 1998 г. И. В. Ковда¹, Е. Г. Моргун², А.-М. Жоне³, Д. Тессье⁵

Институт географии РАН, Москва

²*Институт почвоведения и фотосинтеза РАН, Пушкина, Московской обл.*

³*Национальный институт агрономических исследований (INRA), Версаль, Франция*

Поступила в редакцию 04.04.97 г.

Различные морфологические формы железистых стяжений из слитоземов Центрального Предкавказья изучены методами рентген-дифрактометрии, сканирующей электронной микроскопии и микронзондирования. Получена информация о вещественном составе и организации новообразований. Обнаружена рентгеноаморфность соединений железа. Соединения железа представлены пленками, покровами, глобулярными выделениями и гранулярными агрегатами. Наблюдается приуроченность соединений железа к порам, растительным остаткам, колониям бактерий. Практически все новообразования содержат биогенные компоненты. С некоторыми ограничениями наличие и состав биогенных компонентов могут свидетельствовать о времени формирования стяжений.

ВВЕДЕНИЕ

Сегрегация соединений железа относится к широко распространенным почвенным явлениям и выделяется в качестве одного из компонентов элементарного почвенного процесса метаморфизма минеральной массы наряду с гидролизом, окислением, гидратацией и дегидратацией соединений железа, оглеением и др. [5]. Представляя результат сложной последовательности геохимических трансформаций соединений железа в почве, наличие, локализация, морфологические и вещественные характеристики сегрегации несут генетическую информацию об условиях их формирования, наличии и интенсивности элементарных почвенных процессов [11]. С целью получения и расшифровки этой информации, сегрегации соединений железа в почвах подвергались детальным исследованиям с использованием различных методов.

Как правило, при исследованиях железистых новообразований определялись их химический и минералогический составы, исследовались шлифы [3, 7, 14, 29, 32 и др.]. Методы сканирующей и трансмиссионной электронной микроскопии привлекают возможностью изучения ненарушенного строения новообразований, взаиморасположений между компонентами при одновременном определении их вещественного состава. Ряд публикаций содержит информацию о составе и строении железистых и железо-марганцевых стяжений, полученную при использовании электронной микроскопии в качестве основного или дополнительного мето-

да исследований [1, 4, 8, 16-18, 30, 32, 34 и др.]. В результате наиболее полно изученными оказались гидроморфные почвы бореальных гумидных условий, а также субтропических и тропических областей, где железистые сегрегации представлены в обилии и разнообразных формах, динамика влажности почв хорошо выражена и связана с поверхностным или грунтовым переувлажнением.

Однако при ясности общей принципиальной схемы превращений железистых соединений в почве [11, 25, 29], ведущих к сегрегации железистого материала, наличии весьма обширной информации о морфологии и вещественном составе сегрегации вопрос о связи морфологии новообразований с их вещественным составом, по-видимому, еще нельзя считать решенным. Без этого, очевидно, затруднительно судить о наборе элементарных процессов сегрегации в наблюдаемых в природе случаях и, прежде всего, об условиях их протекания в настоящее время или в прошлом, что не позволяет в полной мере реализовать диагностический потенциал информативности железистых новообразований.

Почвы семиаридного климата в связи с характерным для них водным режимом, как правило, небогаты железистыми новообразованиями. Тем не менее железо-марганцевые конкреции изучали и в черноземах [2]. Свообразным исключением по своей обогащенности железистыми новообразованиями являются слитоземы, в которых может возникать общее или локальное насыщение и застой влаги из-за слабой водопроницаемости почвообразующих пород. В Центральном Предкавказье

* Работа выполнена при поддержке Министерства научных исследований Франции и РФФИ (проект № 98-04-48728).

Таблица 1. Характеристика новообразований

| № образца | Форма, размер | Цвет | Положение | Горизонт | Глубина, см |
|-----------|----------------------------|---------------------------|------------|----------|-------------|
| 617 | Неправильная, 3–5 × 2–6 мм | Палевый 7.5 YR 7/4 | Микросклон | A11 | 15–20 |
| 618 | Пропитка, 1–2 см | Буровато-ржавый 5 YR 6/6 | Западина | A12 | 5–10 |
| 619 | Округлая, 1–3 мм | Рыжий 5 YR 3/6 | » | A13 | 20–70 |
| 620 | Угловатая, 3 мм | Светло-палевый 7.5 YR 8/4 | » | То же | То же |
| 621 | Угловатая, 4 × 2 мм | Темно-коричневый 5 YR 3/3 | » | » | » |
| 622 | Неправильная, 5 × 4 мм | Темно-охристый 7.5 YR 5/6 | » | » | » |
| 623 | Округлая, 3 мм | Темно-красный 2.5 YR 3/3 | » | » | » |
| 623а | Неправильная, 3 × 2 мм | Красный 2.5 YR 3/3 | » | » | » |

Таблица 2. Влажность (W, %), pH, окислительно-восстановительные условия (Eh, мВ), магнитная восприимчивость (χ) и содержание различных форм железа в отдельных почвенных горизонтах

| Положение, глубина, см | W, апр. | W, авг. | pH, апр. | pH, авг. | Eh, апр. | Eh, авг. | X, Ю ⁻⁸ м ³ /кг | Fe | | |
|------------------------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|---------------------------------------|--------------------|----------------------------------|-----------------|
| | | | | | | | | • ^т общ | p _e ^т % | Fe ₀ |
| Склон, 15–20 | 44 | 22 | 8.1 | 7.7 | 450 | 548 | 868 | 4.6 | 0.87 | 0.80 |
| Западина, 5–10 | 64 | 34 | 5.5 | 6.8 | 226 | 633 | 123 | 3.8 | 0.96 | 1.08 |
| Западина, 20–40 | 43 | 28 | 7.3 | 7.5 | 588 | 575 | 105 | 4.2 | 0.96 | 0.88 |
| Западина, 40–70 | 38 | 28 | 7.4 | 7.9 | 397 | 484 | 85 | 4.2 | 0.40 | 0.90 |

слитоземы распространены в черноземной зоне, формируясь на выходах или переотложенном материале палеоген-неогеновых глинистых пород. Помимо высокого обилия железистых новообразований по всему почвенному профилю, в слитоземах отмечается крайнее разнообразие их выделения по морфологии и цвету. В частности, в почвенном комплексе гильгай нами выделены следующие основные типы: пленки различных оттенков; точечные ржавые и охристые примазки; прикорневые выделения; охристые, палевые и бурые угловатые стяжения, дробины различного цвета [13]. Профильные и пространственные закономерности распределения новообразований в слитоземах с микрорельефом гильгай, а также общие закономерности распределения содержания и форм растворимых соединений железа были нами проанализированы ранее [13, 22]. Следует отметить, что для изучаемых нами слитоземов в результате накопления талой воды и влаги весенних осадков в западинах гильгаев характерен двух-трех месячный застой влаги, достаточно широкие сезонные колебания влажности, Eh и pH (некоторые данные приводятся ниже). Таким образом, создаются условия для освобождения железа из кристаллической решетки минералов и его перераспределения в почвенном профиле. Были диагностированы такие процессы, как оглеение, разрушение и трансформация глинистых минералов, образование сильномагнитных компонентов. При этом, как было установлено изотопными методами, выноса растворов и, очевидно, коллоидно-дисперсных компонентов за пределы почвенного профиля практически не происходит. Следовательно, вся миграционная структура и полная последовательность транс-

формаций соединений железа реализуются и представлены в данном случае целиком в почвенной толще гильгайного комплекса. Это дает основание рассматривать настоящий объект как уникальный, имеющий существенные геохимические особенности по сравнению с другими. В частности, различные морфологические формы новообразований, которые обычно диагностируют определенные генетические горизонты и степень оглеения [10], здесь часто сочетаются в пределах одного горизонта.

Настоящая статья ставит целью получение информации о вещественном составе и организации различных морфологических типов железистых новообразований для выяснения их специфики в слитоземах, поиск связи между морфологией сегрегации, локализацией их в почвенном профиле и микроскопическими показателями, а также определение особенностей процессов их формирования в слитоземах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изучены восемь морфологически различных железистых новообразований из слитоземов с микрорельефом гильгай. Новообразования были описаны и отобраны из траншеи во время полевых работ. Краткая характеристика новообразований представлена в таблице 1. Подробная информация о физико-географических условиях района исследования, морфологии и свойствах почв была опубликована ранее [12, 13, 22]. В статье мы приводим лишь некоторые данные, характеризующие горизонты из которых изучались новообразования (табл. 2).

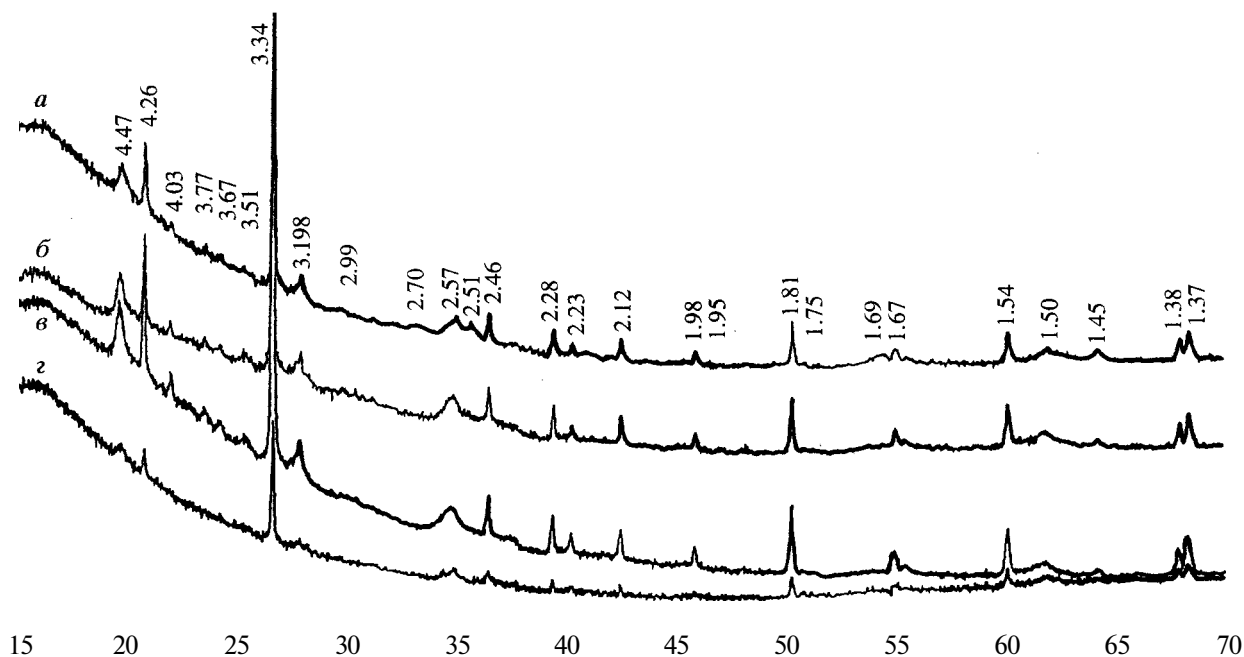


Рис. 1. Рентген-дифрактограммы новообразований: а - образец 623а; б- образец 622; в - образец 617; г — образец 619.

Железистые новообразования изучались на сканирующем электронном микроскопе PHILIPS 525 М с энергодисперсионным микроанализатором (EDS) LINK PCXA. Образцы напылялись углеродом, затем золотом и палладием, для наклеивания на алюминиевый держатель использовался углеродный клей. Проводился осмотр поверхности и сколов новообразований. Качественный анализ проводился при 20 кВ зондом (диаметр 50 нм) или площадным сканированием в окошке.

Дополнительно, ряд новообразований исследовался на дифрактометре SIEMENS D5000 в трансмиссионном режиме с SiK α -излучением, фильтрованным Ge. Образец растирался в пудру и помещался во вращающийся стеклянный капилляр d 0.7 мм. Инструментальные исследования выполнены в почвенной лаборатории Национального института агрономических исследований (INRA) в г. Версаль, Франция.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Рентген-дифрактометрический анализ вещественного состава четырех новообразований (образцы 617, 619, 622, 623а) свидетельствует об отсутствии либо весьма низком содержании окристаллизованного пьформа железа (рис. 1). Отсутствие рефлексов, характерных для железистых минералов, может быть связано как с низким содержанием железа, так и с их слабой окристаллизованностью либо супердисперсностью, достаточной для проявления рентгеноаморфности. В литературе имеются указания на плохую морфологическую выраженность кристаллов железистых со-

единений в почвах и отмечается, что размер кристаллов гетита и гематита в почвах, как правило, не превышает 10-30 нм [20, 21].

В составе новообразований с помощью рентген-дифрактометрии и микронзондирования диагностируются глинистые и терригенные минералы, составляющие вмещающую минеральную массу: сочетание минералов, дающих отражение (001) 1.41-1.44 нм (возможно, хлорит, смектит, вермикулит), а также каолинит, иллит, кварц, альбит, анатаз. Более информативными для получения сведений о составе и организации железистых новообразований являются результаты электронно-микроскопического анализа.

На поверхности и внутри практически всех новообразований были обнаружены различные микроорганизмы и биогенные остатки. Оценка их распределения приведена в таблице 3. В целом можно отметить высокую долю биогенной составляющей практически во всех новообразованиях, за исключением двух красноцветных сегрегации и зоны с палевыми стяжениями. Наибольшее количество микроорганизмов и растительных остатков характерно для рыжеватой дробины (обр. 619), светло-палевого (обр. 620) и темно-коричневого (обр. 621) стяжений.

Наиболее богаты бактериями темно-охристое и темно-коричневое стяжения (обр. 621 и 622), а также обр. 618 и 619. Встречаются два-три, до пяти различных морфологических типов бактерий, сходных с *Siderocapsa* и *Siderococcus*. Колонии бактерий обнаружены в различных остатках и в углублениях минеральной массы. Формы бактерий

шаровидные, палочковидные и вибриоидные, длиной до 3 мкм (рис. 2а-2е). Минеральная и растительная масса вокруг бактерий обогащена соединениями железа; многие капсулы бактерий имеют мощные покровы из соединений железа.

Наличие растительных остатков различной степени трансформированности характерно для палевых, темно-коричневых и темно-охристых стяжений (обр. 620, 621, 622). Зондовый микроанализ показал, что ткани растительных остатков пропитаны соединениями железа, иногда алюминия (рис. 2г, 2д).

Гифы грибов встречаются на поверхности новообразований, но в целом их участие незначительно. На почвенных агрегатах (обр. 618) кроме гифов грибов встречаются тонкие уплощенные нити, предположительно тяжи органо-минерального аморфного вещества, а также нитчатые водоросли (рис. 2е).

По-видимому, фитоциты, диатомовые водоросли и насекомые не играют существенной роли в процессах сегрегации железа. Фитоциты и диатомовые водоросли, будучи компонентами сегрегации, достаточно инертны в отношении железа и являются основными источниками кремнезема. Наиболее часто встречаются фитоциты и диатомовые водоросли. Максимальное обилие диатомовых водорослей (до четырех видов) обнаружено в обр. 618, т.е. непосредственно в почвенной массе. Два вида диатомовых водорослей были определены Л.Г. Пирумовой как *Navicula* sp. и *Pinnularia borealis*. Иногда их поверхность покрыта слоем, обогащенным соединениями железа (рис. 2ж). Любопытным оказалось обилие остатков микрофауны в обр. 619, тем более, что в остальных новообразованиях, если они и встречаются, то единично. Эту дробину можно образно назвать "кладбищем" микрофауны: ее чрезвычайно много на поверхности дробины и внутри.

Энергодисперсионный микроанализ. Ниже обсуждаются формы элементов, не входящие в состав глинистых минералов.

Кремний. Помимо кварца, фитоцитов и диатомовых водорослей, в новообразованиях обнаружены кремнеземистые покровы и пропитки, наиболее характерные для образцов 621 и 620, в меньшей степени для других новообразований. Красные стяжения (обр. 623 и 623а) содержат кремний в минимальном количестве. Кремний пропитывает растительные остатки, края пор и образует покровы на минеральных зернах, вокруг корневых остатков, в углублениях (рис. 2з). Отдельные кремнеземистые покровы имеют явные признаки растворения в виде "кружевного" и продырявленного строения (рис. 2м).

Ст. науч. сотр. геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова.

Таблица 3. Наличие микроорганизмов, фитоцитов и растительных остатков в новообразованиях

| № образца | Бактерии | Грибы | Диатомовые водоросли | Другие микроорганизмы | Фитоциты | Растительные остатки |
|-----------|----------|-------|----------------------|-----------------------|----------|----------------------|
| 617 | | + | | + | + | |
| 618 | + | + | + | | + | |
| 619 | + | + | | + | + | + |
| 620 | + | | + | + | + | + |
| 621 | + | | + | + | + | + |
| 622 | + | | + | | + | + |
| 623 | + | | | + | | |
| 623а | | | | | | + |

Алюминий. В ряде новообразований концентрации алюминия отсутствуют (обр. 617, 618, 622). В других новообразованиях встречалось повышенное содержание алюминия в составе гелеобразных покровов (обр. 620, 621, 623) (рис. 2к), совместно с соединениями Мл (обр. 619, 623) (рис. 2л), в остатках биогенного происхождения (обр. 619, 621). В последнем случае в спектрах отмечаются также пики Na и Cl. В наибольшей степени соединения несиликатного алюминия характерны для образцов 619, 620, 623.

Марганец. Заметные концентрации марганца обнаружены в образцах 619, 623, 622, т.е. в дробинах независимо от их цвета и в темно-охристом стяжении неправильной формы. Марганец входит в состав аморфных покровов, а также образует сотово-ячеистые, вероятно, кристаллические выделения (рис. 2л), среди которых встречаются отдельные бактерии. Единично встречались шарообразные обособления или зерна, содержащие марганец. Площадные спектры состава элементов в дробинах показали увеличение доли марганца в более глубоких слоях.

Титан. Лишь в нескольких образцах спектры показали существенные пики титана. Титан появлялся в спектрах некоторых аморфных и окристаллизованных покровов, зернах, шарообразных образованиях или в глинистой массе основы. Как правило, повышенное содержание титана обнаруживалось совместно с пиками марганца либо железа. Наиболее часто пики титана обнаруживались в образцах 617, 619, 620, 621, 623. Максимальные пики титана обнаружены в железосодержащем зерне (обр. 621), окристаллизованном железистом покрове (обр. 617) и красной дробине (обр. 623).

Железо. Основные формы нахождения соединений железа в новообразованиях - аморфные или

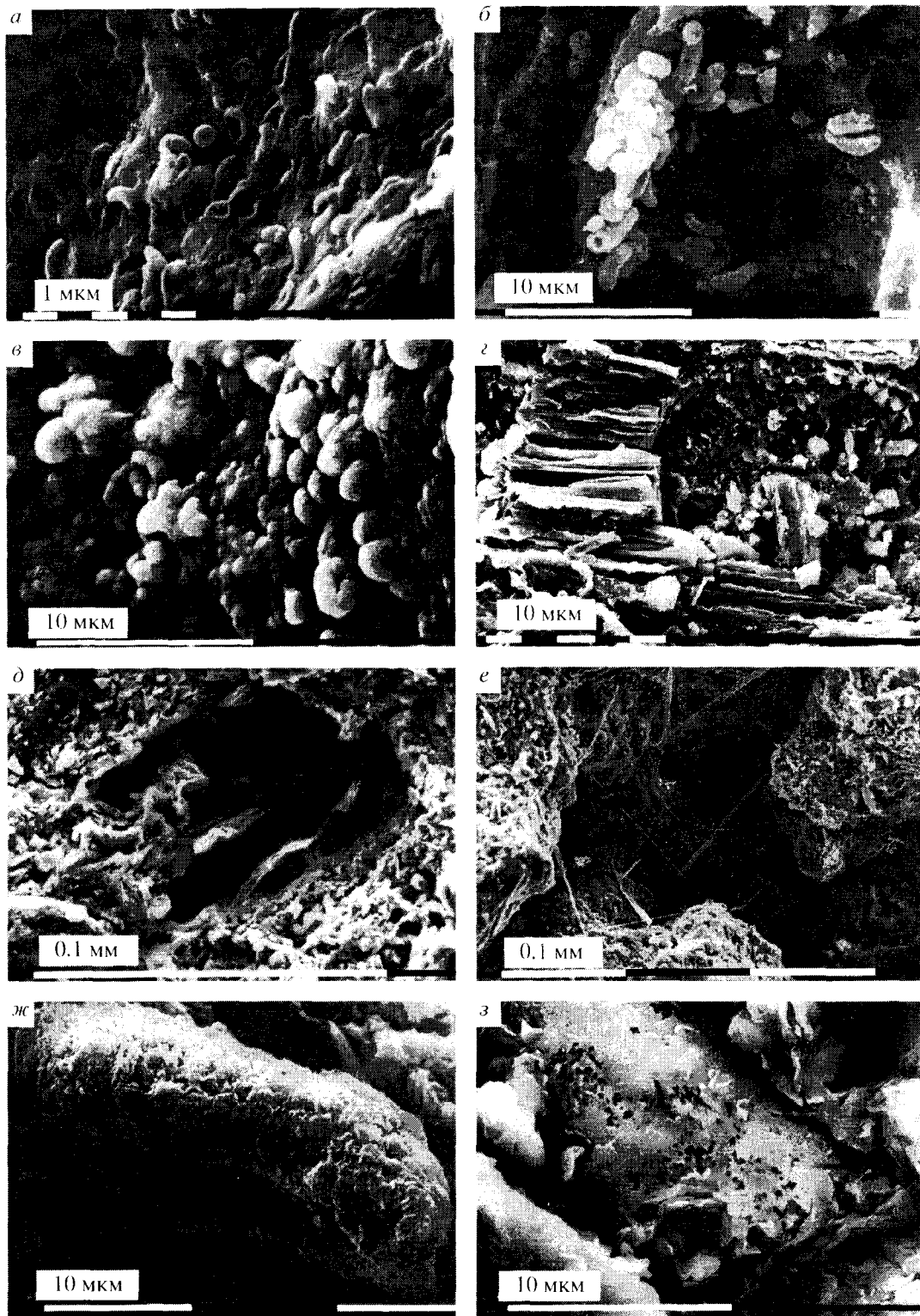


Рис. 2. Электронно-микроскопические фотографии (упеличение на фото): *a-v* - ожелезненные зоны с бактериями; *z-d* - ожелезненные растительные остатки; *e* - грибные гифы и тяжи органо-минерального вещества; *ж* - ожелезненный покров на диатомовой водоросли; *z* - кремнистый покров с признаками растворения; *и* - сильнодеградированный кремнеземистый покров; *к* - алюмо-железистый дегидратированный гель; *л* - соотнo-ячеистые выделения соединений марганца; *м* - трещиновато-бугристая поверхность железистого покрова; *и* - сгустково-глобулярные выделения железа; *о* - изометричные агрегаты в растительном остатке, предположительно ферригидрит; *п* - гранулированная зона, предположительно гематит; *р* - концентрическое строение дробимы.

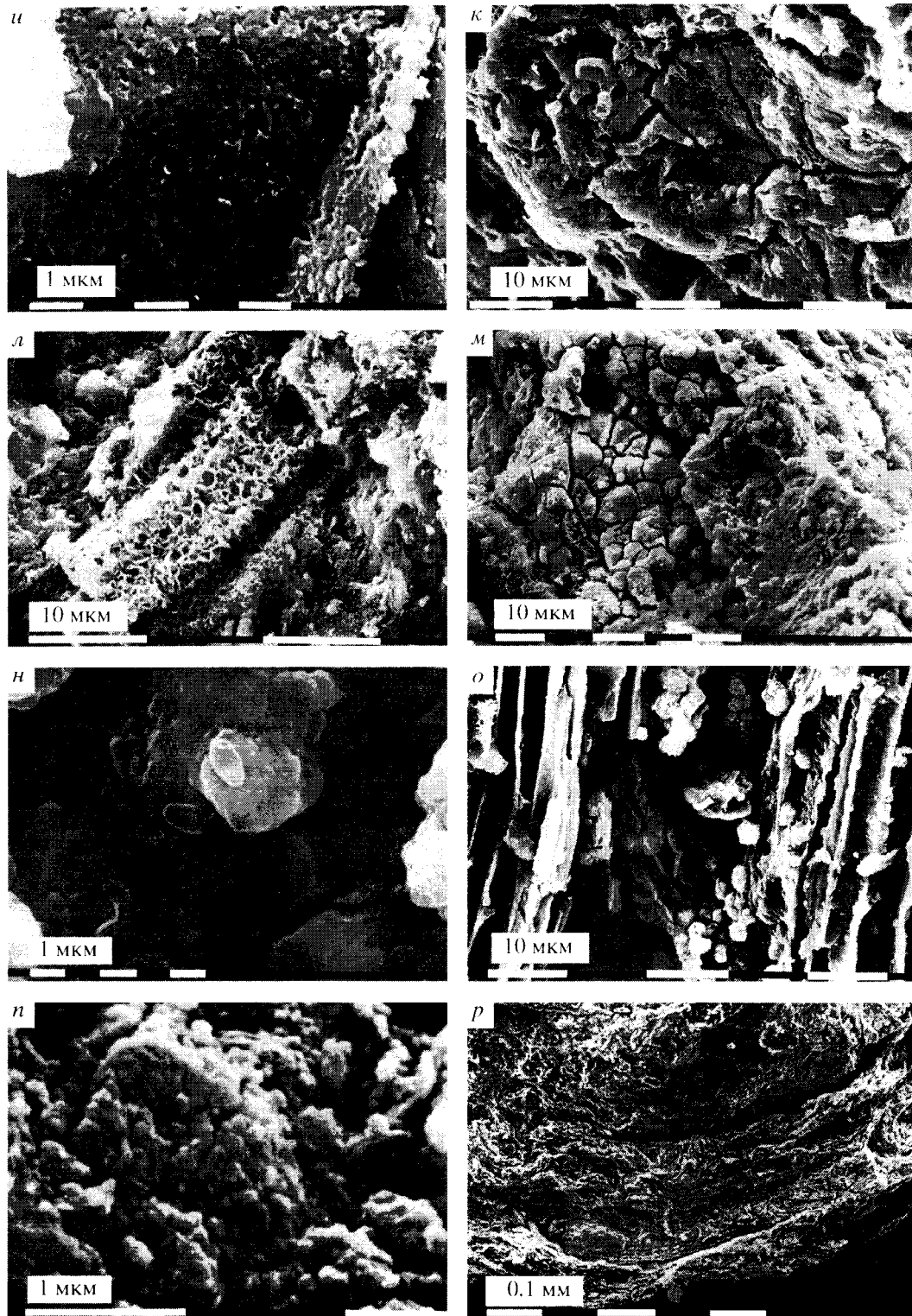


Рис. 2. Окончание.

слабокристаллизованные кутаны (пленки, покровы), агломерации кристаллов и пропитка. Покровы имеют гладкую, бугристую или трещиноватую поверхность (рис. 2м), представляющую раз-

личные стадии трансформации и дегидратации гелей. Обнаружены сгустково-глобулярные выделения (рис. 2н) и изометричные агрегаты (гранулы) (рис. 2о). Спектры, содержащие лишь пики

железа, довольно редки, в большинстве случаев в спектрах в той или иной пропорции присутствуют Si, Al, Mn.

Соединения железа в виде кутан встречаются главным образом в порах и углублениях, а также на поверхности минеральных зерен; в виде пропитки – в растительных остатках и глинистой массе основы; агломерации кристаллов и глобулярных выделений также приурочены к порам, углублениям и растительным остаткам. Значительно обогащены железом микрзоны, содержащие бактериальные колонии или другие микроорганизмы.

Общие закономерности состава и организации новообразований. Зона с палевыми стяжениями (обр. 617) характеризуется довольно слабым участием микроорганизмов, содержит мало кремния, алюминия, марганца, однако имеет высокие пики титана. Пики железа в площадных спектрах невысокие, соединения железа образуют аморфные и слабокристаллизованные покровы в порах и углублениях. Доля слабокристаллизованных покровов довольно высока.

Буровато-ржавая пропитка агрегатов около корней (обр. 618) сформирована в наиболее увлажняемой части почвенного профиля, что проявляется в максимальном количестве диатомовых водорослей и присутствии нитчатых водорослей в изученном образце. Практически не имеет аккумуляций алюминия, марганца и титана. Кремний присутствует в биолитах и совместно с железом в пропитках и покровых. Соединения железа аккумулированы главным образом в углублениях, формируют аморфные покровы и тяжи в зоне грибных гифов. Кроме того, оксиды железа пропитывают края пор и формируют агломерации кристаллов в порах. Однако пиков с высокой концентрацией чистого железа немного.

Округлые рыжеватые дробины (обр. 619) отличаются крайне высокой биогенностью, что свидетельствует об активной роли микроорганизмов в их формировании. Площадные спектры выявили высокое содержание железа, увеличение доли марганца и титана к центру дробины. Дробины в целом характеризуются высокой долей алюминия и марганца. Последний встречается как в аморфном, так и окристаллизованном виде. Алюминий, как правило, присутствует* органических остатках или находится совместно с марганцем (возможно, литиофорит). Участие кремния менее значимо. Соединения железа встречаются в виде пропиток, аморфных покровов и сферических агрегатов (предположительно, по морфологии, имеются гетит и гематит).

Палевое угловатое стяжение (обр. 620) также довольно биогенно. Содержит незначительное количество титана, марганец отсутствует. Напротив, палевое стяжение относительно обогащено алюминием, присутствующим в составе органических минеральных гелеобразных покровов и обособ-

ленно. Аморфный кремнезем присутствует в многочисленных биолитах, а также в составе гелей. Площадные спектры выявили умеренное содержание железа, кристаллизованные соединения нами не обнаружены. Соединения железа довольно равномерно пропитывают глинистую массу, а также встречаются в виде покровов, пропиток растительных остатков.

Темно-коричневое угловатое стяжение (обр. 621) при высокой биогенности отличается обилием бактерий и растительных остатков. Для этого новообразования характерно наличие титана совместно с железом и в отдельных минеральных зернах, отсутствие марганца. Алюминий имеет высокий пик в площадном спектре, присутствует в составе покровов и пропитывает растительные остатки. Весьма характерны кремнеземистые покровы и участие кремния в составе железистых покровов. Создается впечатление, что кремний играет важную роль в организации темно-коричневых стяжений. При этом кремнеземистые покровы имеют признаки деградации. Глинистая основа сильно пропитана железом. Кроме того, железо встречается в виде пропиток растительных остатков, агломераций кристаллов в растительных остатках (предположительно по морфологии – ферригидрит) и порах, покровах под бактериями.

Темно-охристое стяжение (обр. 622) характеризуется довольно высокой биогенностью. В спектрах железистых зон отмечено присутствие титана. Аккумуляций кремния и алюминия не обнаружено. Марганец встречается в виде совожачеистых и аморфных покровов. Железо приурочено к выделениям марганца. Кроме того, обнаружены покровы и глобулярные выделения оксидов железа, окруженные бактериями (возможно, ферригидрит), а также пропитка железом растительных остатков. В целом пиков высокого содержания железа в данном образце немного.

Красноцветная дробина (обр. 623) слабо биогенна. Площадные спектры показывают наличие титана и марганца, содержание которых увеличивается к центру дробины. Имеются также совожачеистые выделения марганца, обогащенные одновременно титаном и железом. Площадные спектры скола дробины обогащены алюминием. Алюминий также встречается в составе аморфных трещиноватых покровов с железом. Ожелезненность дробины высокая, однако окристаллизованных форм железа не обнаружено. Железо пропитывает массу и образует аморфные покровы.

Красное стяжение (обр. 623а) практически не содержит биогенных включений. Пики титана и марганца отсутствуют. Концентраций алюминия и кремния не обнаружено. Данное образование обогащено соединениями железа, представленными

наиболее окристаллизованными формами. Высокое содержание железа характерно для общей массы новообразования, а также встречаются ожелезненные покровы с признаками окристаллизованности и гранулированные зоны, предположительно гематита (рис. 2п).

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты в целом совпадают с литературными данными и еще раз подтверждают, что в новообразованиях соединения железа не имеют хорошо выраженных кристаллов и формируют главным образом пленки, покровы, реже образуют округлые скопления [9]. На окристаллизованность оксидов железа в почвах, как известно, влияет состав почвенных растворов. В частности, выраженность кристаллов ухудшается в присутствии органического вещества, кремния, фосфора, алюминия [26, 27]. Как видно из таблицы 4, состав почвенных растворов в горизонтах, из которых были отобраны новообразования, обогащен кремнием, а в весенний период также и алюминием. Содержание органического углерода в данной почве также достаточно высокое и составляет в горизонтах 5.5–2.5%, в воде, скапливающейся в западине, – до 45 мг/л.

Кроме того, как видно на рисунке 3б, в почве практически во всей верхней метровой толще отношение Pe_0/Pe_d больше единицы. Хотя мы не рассматриваем сопряженные почвы микросклона и бугра гильгаев, тем не менее следует отметить, что в них отношение Pe_0/Pe_d менее единицы и находится в обычных для почв пределах. Таким образом, выявленный факт характерен именно для почвы западины. Считается, что преобладание оксалаторастворимого железа указывает на присутствие ферригидрита. Условия почвообразования в верхней толще профиля вполне соответствуют условиям формирования этого минерала, описанным в литературе [29]. Ферригидрит считается молодым слабоокристаллизованным оксидом железа, формирующимся при быстром окислении в присутствии ингибиторов кристаллизации (органического вещества, фосфатов, кремния). В формировании ферригидрита могут принимать участие бактерии. В свою очередь, ферригидрит является необходимым предшественником гематита [31].

Основным вещественным компонентом всех новообразований оказались глинистые и первичные минералы, скрепленные и покрытые соединениями железа, кремния и алюминия. Еще одним существенным компонентом новообразований являются различные биогенные остатки и микроорганизмы. Непосредственная диагностика соединений железа при используемых нами методах оказалась затруднительной. Данные общего рентген-дифрактометрического анализа были недостаточно информативны, а зондирование энер-

Таблица 4. Состав почвенных растворов в почве западины

| Глубина, см | Сумма, г/л | Al, мг/л | Fe, мг/л | Si, мг/л |
|--------------------|------------|----------|----------|----------|
| <i>Апрель</i> | | | | |
| Поверхностная вода | 0.1 | 9.5 | 7.6 | 8.8 |
| 0-40 | 0.4 | 1.7 | 0.1 | 10.0 |
| 50-90 | 0.9 | 2.0 | 0.05 | 3.9 |
| <i>Август</i> | | | | |
| 0-30 | 4.0 | 0.05 | 0.6 | 12.2 |
| 50-90 | 2.2 | 0.05 | 0.1 | 1.5 |

годисперсионным методом позволяет провести лишь качественную оценку состава. Однако некоторые предположения мы сделали по морфологическим данным. Как было указано выше, мы предполагаем наличие ферригидрита (обр. 621, 622) и гематита (619, 623а). По-видимому, в новообразованиях должен присутствовать и гетит как наиболее распространенный почвенный оксид железа. В нашем случае можно предполагать, что коллоидный гетит образует железистые покровы. В целом отсутствие в почве морфологически хорошо выраженных кристаллов затрудняет диагностику оксидов железа.

Все новообразования по типу формирования разделяются на две основные группы: послойного концентрического роста и цементации основы. Округлые дробины имеют отчетливую концентрическую слоистость во внешней части и консолидированное ядро внутри (рис. 2р). Мощность внешних слоев в основном варьирует в пределах 0.05–0.1 мм. В обеих дробинах площадные спектры показали различную долю железа в составе слоев и устойчивую тенденцию увеличения доли марганца к центру, что соответствует литературным данным [28].

Кремний и алюминий, вероятно, выпадают из почвенных растворов, образуя покровы, а также пропитывая растительные остатки. Кроме того, в ряде новообразований нами предполагается формирование вторичного гиббсита при выветривании биотита и полевых шпатов или в результате перекристаллизации аморфных алюминиевых гелей (обр. 621, 623). По-видимому, алюминий также частично идиоморфно замещает железо в ряде наиболее обогащенных им новообразований. Отмечается явная тенденция биогенной аккумуляции алюминия.

Повышенную магнитную восприимчивость некоторых зон почвенного профиля (рис. 3а), по-видимому, можно объяснить формированием титано-железистых соединений. Как правило, это связано с титаномагнетитом, титаномаггемитом или ильменитом [24]. В первую очередь, наличие

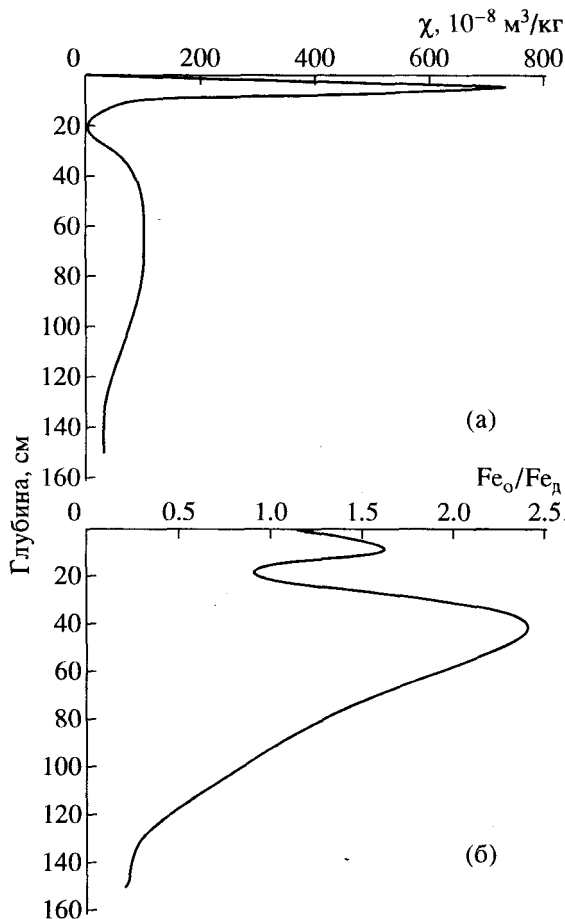


Рис. 3. Распределение магнитной восприимчивости ($10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$) (а) и Fe_o/Fe_d (б) в профиле почвы западины.

какого-либо из этих минералов следует ожидать в образцах 617 и 620, представляющих палевые стяжения из зон высокой магнитной восприимчивости. Однако непосредственных доказательств наличия хотя бы одного из указанных минералов мы не имеем. Почвенные условия не исключают также возможность синтеза тонкодисперсного

Таблица 5. Участие различных компонентов в составе новообразовании

| № | Si | Al | Mп | Ti | Fe | Микроорганизмы |
|------|----|-----|----|----|----|----------------|
| 617 | | | | + | + | |
| 618 | | | | | + | + |
| 619 | | • + | + | | + | + |
| 620 | + | + | | | + | + |
| 621 | + | | | + | + | + |
| 622 | | | + | | + | + |
| 623 | | | + | + | + | |
| 623a | | | | | + | |

магнетита как биогенным путем, так и абиотически [23].

Исследования выявили определенные различия в организации и составе новообразований. Схематично ведущее участие различных компонентов в составе новообразований суммировано в таблице 5. Обнаруживается вполне закономерный факт, что различные морфологические формы новообразований различаются и по ведущему участию различных компонентов их строения. В частности, дробины (обр. 619, 623) и темно-охристое стяжение (обр. 622) являются железо-марганцевыми стяжениями.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Условия почвообразования в слитоземах Центрального Предкавказья благоприятствуют достаточно высокой для данной климатической зоны активности соединений железа. В почвах западин создаются условия, особо благоприятные для мобилизации железа в результате выветривания силикатов и его перераспределения в форме оксидов внутри профиля. Аккумуляции свободного железа обнаруживаются в виде мелких конкреций, неясных пятен и кутан по всему профилю. На наш взгляд, постоянное перераспределение соединений железа можно считать специфическим процессом в слитоземах. Фактором подобного поведения соединений железа можно считать длительно сохраняющееся переувлажнение, обусловленное тяжелым гранулометрическим составом. При этом более высокая температура почв данного региона по сравнению с таежными почвами повышает миграционную способность соединений железа [15]. В то же время изученные почвы находятся в черноземной зоне, т.е. зоне максимального обилия микроорганизмов [6], играющих существенную роль в геохимии железа. По сравнению с тропическими и субтропическими регионами в слитоземах существуют различные факторы, препятствующие кристаллизации оксидов железа (в первую очередь, высокое содержание органического вещества), что затрудняет диагностику соединений железа по кристаллохимическим параметрам. Возможно, перечисленные выше особенности обуславливают то, что сегрегации соединений железа в слитоземах распространены по всей глубине почвенного профиля, а также не характеризуются крупными размерами и высокой плотностью.

Таким образом, сегрегационные явления в изученной почве обусловлены следующими биогеохимическими явлениями: биогенным окислением, концентрацией, а также миграцией и концентрацией на окислительном и щелочном геохимических барьерах. Судя по динамике окислительно-восстановительных условий и pH, поведение соединений железа в этих почвах имеет сезонно-контрастный

характер. Принципиальных отличий микроскопического строения железистых новообразований слитоземов от новообразований других типов почв не обнаружено, что предполагает сходные механизмы их формирования.

Все новообразования в большей или меньшей степени содержат биогенные компоненты. Это свидетельствует, что все они имеют почвенное происхождение, а не относятся к литогенно-унаследованным. Мы полагаем, что большая часть новообразований сформирована при сочетании микробиологических и абиотических физико-химических процессов. Различия состоят в доле тех или иных процессов, которая существенно различается.

Так, микробиологические процессы играют существенную роль в формировании рыжей дробины (обр. 619), темно-коричневого угловатого (обр. 621) и темно-охристого (обр. 622) стяжений. В меньшей степени микробиологические процессы участвуют в формировании палевых стяжений (обр. 617 и 620) и прикорневой пропитки (обр. 618). Здесь следует учесть, что образцы 617 и 618 находятся в сфере влияния грибов, которые, возможно, препятствуют развитию других микроорганизмов. Оба красноцветных стяжения сформированы практически без участия микробиологических процессов. Можно предположить, что красноцветные конкреции (обр. 623 и 623а) являются реликтовыми. Биогенная составляющая в них минимальна, а их цвет (2.5 YR) считается характерным для реликтовых конкреций гематита (31). К тому же образец 623а содержит наиболее окристаллизованные соединения железа. Аналогичное предположение о реликтовости красноцветных стяжений было сделано нами ранее по результатам анализа их распределения в связи с динамикой влажности в почвенном комплексе гильгаев [13].

По-видимому, с определенными ограничениями индикационным показателем времени формирования данных новообразований можно считать наличие диатомовых водорослей. Нами установлено, что диатомовые водоросли встречаются лишь в почвенных профилях западины и микросклона гильгаев, полностью отсутствуя в почвенном профиле на бугре. Вероятно, они появились в переувлажненных частях гильгаев уже после возникновения микрорельефа. Можно предположить, что нодулы, содержащие остатки диатомовых, активно формировались после возникновения микрорельефа, создавшего экологические условия обитания для появления диатомовых водорослей в почве западины. Диатомовые водоросли не обнаружены в красноцветных новообразованиях (обр. 623 и 623а), что может косвенно свидетельствовать об их древности. Однако диатомовые водоросли не обнаружены и в образцах 617 и 619. Тем не менее два последних образца

следует считать современными, исходя из проведенного ранее сопряженного анализа их распространения в почве и динамики влажности, а также присутствия других биогенных компонентов в их составе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабанин В.Ф., Карпачевский Л.О., Опаленко А.А., Шоба С.А.* О формах Fe-соединений в конкрециях из разных почв // Почвоведение. 1976. № 4. С. 132-138.
2. *Богданов Н.И., Воропаева З.И.* Mn-Fe конкреции в западносибирских черноземах как показатель их гидроморфности // Почвоведение. 1969. № 11. С. 3-16.
3. *Водяницкий Ю.Н., Роговнева Л.В.* Оксиды железа в слитых солонцеватых черноземах Ставрополя // Почвоведение. 1993. № 6. С. 33-42.
4. *Водяницкий Ю.Н., Горшков А.И., Сивцов А.В.* Термодинамически нестабильные гидроксиды железа в дерново-подзолистых и бурых лесных почвах // Почвоведение. 1996. № 12. С. 1440-1447.
5. *Глазовская М.А.* Общее почвоведение и география почв. М.: Высш. шк., 1981. 400 с.
6. *Глазовская М.А., Добровольская Н.Г.* Геохимические функции микроорганизмов. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1984. 153 с.
7. *Добровольский В.В.* Микроморфология новообразований гидроксидов железа и гиббсита в тропических продуктах выветривания // Микроморфологическая диагностика почв и почвообразовательных процессов. М.: Наука, 1983. С. 109-120.
8. *Добровольский Г.В., Терешина Т.В.* Марганцовисто-железистые новообразования в почвах южной тайги // Почвоведение. 1970. № 12. С. 16-25.
9. *Добровольский Г.В., Шоба С.А.* Растровая электронная микроскопия почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1978. 143 с.
10. *Зайдельман Ф.Р.* Подзоло- и глееобразование. М.: Наука, 1974. 208 с.
11. *Зонн С.В.* Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 207 с.
12. *Ковда И.В., Моргун Е.Г., Алексеева Т.В.* Формирование и развитие почвенного покрова гильгай (на примере Центрального Предкавказья) // Почвоведение. 1992. № 3. С. 19-34.
13. *Ковда И.В., Моргун Е.Г., Рысков Я.Г.* Структурно-функциональный анализ микрокомплекса почв гильгаев: морфологические признаки и динамика влажности // Почвоведение. 1995. № 11. С. 1326-1339.
14. *Оглезнев А.К.* Новообразования тяжелых гидроморфных дерново-подзолистых почв и их значение для диагностики // Почвоведение. 1968. № 3. С. 27-39.
15. *Перельман А.И.* Геохимия ландшафта. М.: Высш. шк., 1975. 341 с.
16. *Шоба С.А., Балабко П.Н.* Микростроение и состав марганцово-железистых новообразований почв лесной зоны // Микроморфологическая диагностика

- почв и почвообразовательных процессов. М.: Наука, 1983. С. 21-33.
17. *Arocena J.M., Pawluk S.* The nature and origin of nodules from podzolic soils from Alberta // *Can. J. Soil. Sci.* 1991. V. 71. P. 411-426.
 18. *Bouzigues R., Favrot J., Herrera J., Cid G.* Valeur diagnostique des caracteres hydromorphes et halomorphes de vertisols de la vallee du Cauto a Cuba. Application a l'evaluation des besoins en drainage agricole // *Cah. Orstom, Ser. Pedol.* 1992. V. 27. № 2. P. 297-313.
 19. *Golden D., Chen C., Dixon J. et al.* Pseudomorphic replacement of manganese oxides by iron oxide minerals // *Geoderma.* 1988. V. 42. № 3-4. P. 199-211.
 20. *Jones R.C., Hudnall W.H., Sakai W.S.* Some highly weathered soils of Puerto Rico, 2. Mineralogy // *Geoderma.* 1982. V. 27. P. 75-137.
 21. *Kampf N.* Eisenoxidmineralogie einer Klimasequenz von Boden aus eruptiva in Rio Grande do Sul. Dissertation. T.U. Munchen-Weihenstephan, Germany, 1981.
 22. *Kovda I., Morgun E., Tessier D.* Etude de Vertisols a gillgai du Nord-Caucase: mecanismes de differenciation et aspects pedogeochimiques // *Etude et Gestion des Sols.* 1996. V. 3. № 1. P. 41-52.
 23. *Maker B.A., Taylor R.M.* Formation of ultrafine-grained magnetite in soils // *Nature.* 1988. V. 336. P. 368-370.
 24. *Milnes A.R., Fitzpatrick R.W.* Titanium and Zirconium minerals // *Minerals in soil environments.* SSSA Book Ser. 1. Madison, 1989. P. 1132-1205.
 25. *Murad E.* Properties and behaviour of iron oxides as determined by Mossbauer spectroscopy // *Iron in soils and clay minerals.* NATO ASI Ser. 1988. V. 217. P. 309-350.
 26. *Schwertmann U.* The effect of pedogenic environments on iron oxide minerals // *Advances in Soil Sci.* N.Y., 1985. V. 1. P. 172-200.
 27. *Schwertmann U., Cornell R.M.* Iron oxides in the laboratory. Preparation and characterization. Weinheim, 1991. 137 p.
 28. *Schwertmann U., Fanning D.S.* Iron-manganese concretions in hydrosequence of soils in loess in Bavaria // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1976. V. 40. № 5. P. 731-738.
 29. *Schwertmann U., Taylor R.M.* Iron oxides // *Minerals in soil environments.* SSSA Book Ser. 1. Madison, 1989. P. 379-438.
 30. *Shadfam H., Dixon J.B., F.G. Calhoun.* Iron oxides properties versus strength of ferruginous crust and iron-glaebules in soils // *Soil Sci.* 1985. V. 140. № 5. P. 317-325.
 31. *Vepraskas M.J., Wilding L.P., Drees L.R.* Aquic conditions for Soil Taxonomy: concepts, soil morphology and micromorphology // *Soil Micromorphology. Proc. 9th Int. Working Meeting on Soil Micromorphology.* Townsville, Australia. Developments in Soil Sci. Amsterdam: Elsevier, 1994. P. 117-131.
 32. *White N., Dixon J.* Iron and manganese distribution in nodules from a young Texas Vertisol // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1996. V. 60. P. 1254-1262.
 33. *Zaidelman F.R., Nikiforova A.S.* Changes in soil Mn-Fe concretions under human impact // *Arch. Acker-Pfl. Boden.* 1996. V. 40. P. 189-196.
 34. *Zauyah S., Bisdom E.B.A.* SEM-EDXRA investigation of tubular features and iron nodules in lateritic soils from Malaysia // *Geoderma.* 1983. V. 30. № 1-4. P. 219-232.

An Experience in the Submicroscopic Study of Iron Neof ormations from Vertisols of the Central Ciscaucasian Region

I. V. Kovda, E. G. Morgun, A-M. Jaunet, and D. Tessier

Different morphological forms of iron neof ormations from Vertisols of the central Ciscaucasian region were studied by means of X-ray diffractometry, scanning electron microscopy, and an energy-dispersing X-ray system. The data obtained characterize the composition and structure of iron neof ormations. Iron neof ormations are roentgen-amorphous. They are represented by ferruginous films and coatings, glaebules, and granular aggregates. Most of them are allocated to pores, plant remains, and bacterial colonies. Virtually all iron neof ormations contain biogenic components. Under certain constraints, the abundance and the composition of these components can be used for judging the relative age of iron neof ormations.