

## Проблема плодородия почв с позиции трансформации их минерального состава

Н. П. Чижикова

*НАТАЛИЯ ПЕТРОВНА ЧИЖИКОВА — доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник Почвенного института им. В.В. Докучаева. Область научных интересов: почвоведение, минералогия почв, петрография, агротехногенез.*

*119017 Москва, Пыжевский пер., д. 7, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, тел. (095)230-81-96, факс (095)230-80-52*

Минералы почв — это естественные компоненты природы, в большей части своей унаследованные от материнской почвообразующей породы, трансформированные под влиянием процессов выветривания и почвообразования. В современных условиях в почвах синтезируются лишь минералы-соли (хлориды, сульфаты, карбонаты калия, натрия, кальция, магния) и оксиды-гидроксиды железа, алюминия, марганца.

А.Ф. Ферсман в своей книге «Занимательная минералогия» [1] подчеркивал огромное разнообразие минералов на земле — «три тысячи разных построек-минералов», которые наследуются почвой.

Именно минералы почв являются источником элементов питания растений, а их способность отдавать эти элементы обусловлена устойчивостью.

Устойчивость минералов характеризуется способностью противостоять внешним воздействиям (физическим, химическим). Она зависит от свойств среды, свойств минералов и продолжительности воздействия на них. Предложены ряды устойчивости — расположение минералов в соответствии с их устойчивостью в природных условиях, т.е. сопротивляемостью к изменениям или разрушению при выветривании материнской породы, истиранию при транспортировке, растворению после осадконакопления [2].

В почвоведении понятие устойчивости минералов используется при расчетах коэффициентов выветривания. К настоящему времени предложено несколько вариантов расчетов коэффициентов выветривания.

Наиболее широко используется отношение содержания устойчивого минерала к содержанию неустойчивого минерала в определенном горизонте. Ruhe [3] предложил кварц-полевошпатовый коэффициент, который затем был использован в ряде работ [4—6].

К настоящему времени используется более десятка однотипных коэффициентов для характеристики процессов разрушения минералов. Этот важный показатель применяется для решения генетических проблем почвоведения, но не был реализован при исследовании поведения минералов — поставщиков элементов питания при вовлечении почв в сельское производство.

Существует несколько рядов устойчивости минералов, которые условно делятся на весьма устойчивые, устойчивые, неустойчивые и весьма неустойчивые. Более корректно понятие «устойчивость минералов» рассматривать с позиции «поля устойчивости минералов», подразумевающей ряд условий, при которых минерал или минеральная ассоциация стабильна [7].

Утверждение о стабильности любой системы, в том числе системы минерал—окружающая среда должно содержать, по крайней мере, ссылку на условия, при которых данная система стабильна.

Многочисленные исследования [8—11] позволили установить основные закономерности и механизмы разрушения минералов и степень участия в этом процессе разных факторов.

Антропогенное воздействие является одним из мощнейших факторов, которые приводят к изменению естественного равновесия минерал—окружающая среда. Именно изменение минералогического состава почв как в количественном, так и в качественном отношении вызывает ряд негативных субстантивных свойств, которые принято относить к деградационным.

С позиции разрушения минералов и их роли как поставщиков элементов рассмотрим поведение калия.

Анализ минералов как поставщиков элементов питания позволил Н.И. Горбунову ранжировать их по фактору дисперсности [12]. При изучении проблемы, связанной с минералами-поставщиками природного калия, был предложен ряд калийсодержащих минералов, характеризующий направление изменения их состава при выветривании и уменьшение устойчивости к агентам выветривания, и в первую очередь, к агрогенным факторам [13]:

биотит-флогопит → смешаннослойные биотит-вермикулиты → глаукониты → смешаннослойные слюда-сметиты с мусковит-серицитовым пакетом → мусковиты, серициты, диоктаэдрические гидрослюды → ортоклаз, микроклин.

Историческая практика землепользования — неизбежность интенсификации земледелия как главного фактора роста его производительности привела в глобальном масштабе к потере естественного плодородия почв, обусловленной снижением содержания компонентов, дающих элементы питания растениям.

Постоянно возникает противоречие между использованием почв, их естественных природных ресурсов, каковыми являются минералы, и желанием сохранить плодородие почв.

В агроценозах регулярно отчуждается с урожаем значительное количество элементов питания растений, которые они берут из продуктов разрушения минералов.

Один из основных законов земледелия — закон возврата веществ в почву [14] доказывает необходи-

мость возврата в почву всех важнейших элементов питания, взятых у нее с урожаем. По мнению земледельцев, устойчивость любой системы сохраняется при полной сбалансированности процесса «потребление—внесение (восполнение)». Здесь мы сталкиваемся с парадигмой агрохимии — чем больше внесено сбалансированных минеральных удобрений, тем, казалось бы, выше должен быть урожай. Однако эффект от внесения высоких доз минеральных удобрений без навоза и известкования обычно краткосрочен, далее отмечается снижение плодородия почв, изменение экологического статуса. Отмеченное явление вполне закономерно, поскольку объект природной среды — минералы почв — никогда в таких масштабах не сталкивался с факторами антропогенной деятельности, будь то сельскохозяйственная обработка почв, внесение минеральных или органических удобрений, орошение разной интенсивности водой различного химического состава. На антропогенные факторы минеральная компонента почв начинает реагировать в соответствии с особенностями собственного статуса, начиная от фактора размера частицы, их организации в процессе естественного почвообразования и кончая особенностями кристаллохимии решетки минерала, их устойчивости в процессах выветривания.

Первым сигналом, требующим разъяснения состояния почв, причин потери ими плодородия, явились исследования почв на Соликамской СХОС, на которой внесение высоких доз минеральных удобрений привело к образованию депрессивных или мертвых пятен [15]. Решить возникшие проблемы возможно только с помощью анализа поведения петрографо-минералогической (магматической) основы почв, ее реакции на один из видов антропогенного воздействия, а именно, на внесение агрессивно кислых минеральных удобрений.

Наиболее детально и комплексно реакция минералов на внесение удобрений была изучена на Новозыбковской СХОС [16]. Опыт заложен в 1972 г. С.А. Тулиным. Анализировался минералогический состав фракции ила, тонкой и средней пыли опытных делянок, а также состав лизиметрических вод под делянками, где вносились различные количества минеральных удобрений (указаны дозы действующего вещества в кг/га):

- 1 — фон I — N90, P60;
- 2 — фон I + KCl — K90;
- 3 — фон I + KCl — K120;
- 4 — фон II — N90, P60, эпсомит ( $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ ) 30 т/га;
- 5 — фон II + KCl — K90;
- 6 — фон II + KCl — K120
- 10 — фон III — N90, P60, доломитовая мука по гидrolитической кислотности Нг;
- 11 — фон III + KCl — K90;
- 12 — фон III + KCl — K120.

Количество калия, внесенного с удобрениями за все годы опыта в расчете на наиболее высокую дозу составляют около 2000 кг/га. Исследование состава лизиметрических вод, проводимые в начальные этапы закладки опытов С.А. Тулиным [17] позволило установить, что количество вынесенного калия, в опыте с максимальными дозами калийных удобрений в сотни раз превышало количество калия, вносимого с удобрениями. Такое резкое увеличение калия в лизимет-

рических водах объясняется разрушением природных калийсодержащих компонентов (биотитов, смешаннослойных образований с различными пакетами слюдистого и хлоритового типа) как в илистых, так и в более крупных фракциях. Основным процессом такого разрушения является кислотный гидролиз. То есть применение минеральных удобрений без каких-либо нейтрализующих мелиорантов (известняковой муки, эпсомита и др.) приводит к активизации кислотного гидролиза слоистых силикатов илистых фракций, разрушению смешаннослойных образований с лабильными пакетами, к уничтожению минералов-биофилов, содержащих элементы питания растений (биотитов, хлоритов). Происходит относительное обогащение этих фракций инертным компонентом, таким как кварц. В более крупных фракциях (тонкой, средней пыли) активизируются процессы трансформационных превращений слоистых силикатов, их вермикулитизация и смектитизация.

Аналогичные материалы [18] были получены при исследовании влияния различных доз минеральных удобрений на минералогический состав тонкодисперсных фракций почв, проведенном на опытных делянках агробиологической станции МГУ «Чашниково». Почва дерново-подзолистая песчано-крупнопылеватая легкосуглинистая. Схема опытов включает 10 вариантов доз минеральных удобрений.

Сравнение минералогического состава илистых фракций, выделенных из пахотных и нижележащих генетических горизонтов на делянках с различными дозами удобрений свидетельствует о том, что ежегодное внесение минеральных удобрений (в кг/га по действующему веществу) в дозах N60, P60, K60, а также N60, P20, K60; N60, P60, K20 существенным образом не сказалось на минералогическом составе фракции менее 1 мкм как пахотных, так и подпахотных горизонтов. Резкие изменения обнаружены в профиле почвы, на опытной делянке с максимальными дозами минеральных удобрений N120, P120, K120. В пределах профиля зафиксировано разрушение слоистых силикатов и в первую очередь слюда-смектитовых, относительное накопление тонкодисперсного кварца, а также увеличение в пахотном горизонте количества каолинита.

Лизиметрические исследования, проводимые Ф.И. Левиным [19] на экспериментальных полях в «Чашниково» свидетельствуют о значительном подкислении почвенных растворов при внесении минеральных удобрений. Этот исследователь констатировал увеличение подвижности ряда элементов, в первую очередь алюминия, марганца, вытеснение кальция, продуктов разрушения минералов.

Приведенные примеры реакции почв на один из видов антропогенного воздействия (агрессивно кислые минеральные удобрения, изменяющие реакцию среды) иллюстрируют постепенное, но необратимое изменение минералогического состава почв, находящихся в сельскохозяйственном использовании. Менее четко зафиксированы изменения минералогических показателей в почвах более тяжелого гранулометрического состава.

Математическая обработка результатов исследования изменения минералогического состава дерново-подзолистых почв ряда опытных станций России, развитых на суглинистых-глинистых отложениях, позво-

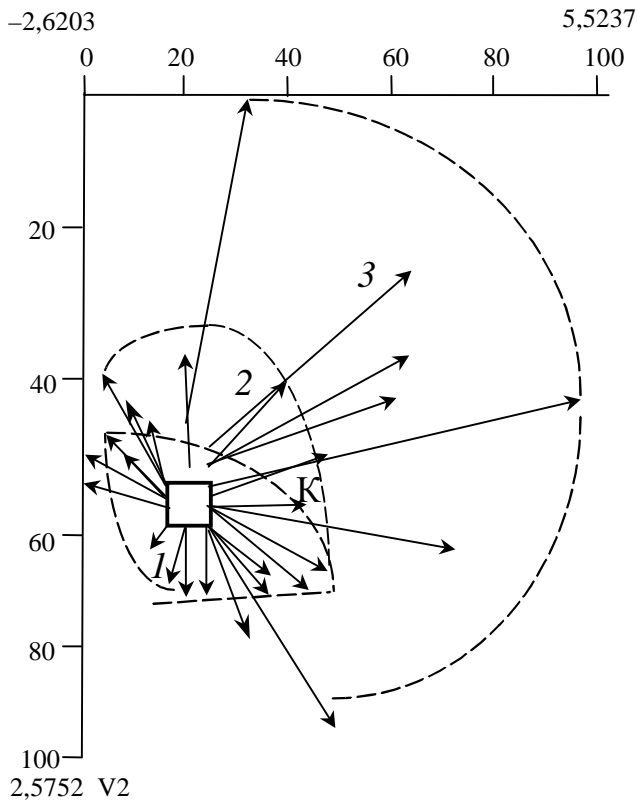


Рис. 1. Влияние минеральных удобрений на минералогический состав дерново-подзолистых почв. Разделение вариантов опытов в координатах главных компонент (V1 и V2, см. таблицу).

Обозначения: К — контроль для каждого варианта; 1 — варианты, в которых минеральные удобрения использовались на фоне извести и навоза; 2 — варианты с внесением 1–1,5 доз минеральных удобрений; 3 — варианты с внесением 3–5 доз минеральных удобрений

лила установить однонаправленность изменения минералогического состава почв при увеличении доз минеральных удобрений [20–23].

На рис. 1 представлены результаты исследований, обработанные с помощью многомерной статистики — метода главных компонент [24]. За точку отсчета были

взяты показатели минералогического состава почв контрольных делянок, на которых удобрения не вносились.

Выборка включала 41 вариант, каждый из которых охарактеризован пятью минералогическими признаками, представленными как разница показателей между вариантами опытов и их контролем: каолинита в сумме с хлоритом, гидрослюда, смектитовой фазы, соотношением интенсивностей  $I_{001}/I_{002}$  гидрослюда, отношением гидрослюдистой фазы к смектитовой.

По этим показателям четко обособляются следующие ареалы (рис. 1). Ареал 1 объединяет показатели, характеризующие изменение минералогии почв при внесении удобрений на фоне навоза и известкования. Здесь отмечаются наименьшие изменения показателей. Более широкий ареал 2 объединяет минералогические показатели полей, на которых применялись одна-полторы дозы минеральных удобрений. Наиболее сильные преобразования отмечались на полях с повышенными дозами минеральных удобрений — ареал 3.

Изменения состава тонкодисперсного материала пахотных слоев дерново-подзолистых суглинистых почв однонаправлены. Отмечается уменьшение содержания набухающей фазы с одновременным увеличением гидрослюда и каолинита, наблюдается некоторое увеличение количества кварца.

Интенсивность изменения минералогических показателей под влиянием различных доз минеральных удобрений в значительной мере зависит от исходного минералогического состава почв. Наиболее четко происходящие изменения фиксируются в дерново-подзолистых почвах средне-, тяжелосуглинистого гранулометрического состава, в тонкодисперсных фракциях которых преобладают смешаннослойные образования со смектитовым пакетом, т.е. данный компонент наиболее неустойчив к изменениям условий, в данном случае подкислению среды. Поэтому он быстро разрушается. Именно в таких почвах наблюдаются деградационные процессы, в том числе дегумификация, разрушение структуры, изменение физико-химических свойств. Дерново-подзолистые почвы, пахотные слои которых содержат минералы с жесткой структурой, характеризуются активизацией трансформационных преобразований минералов слюдяного и хлоритового

Таблица

Собственные числа ( $\lambda_i$ ) и собственные векторы ( $V_j$ ) корреляционной матрицы минералогических показателей почв опытных делянок для фракции менее 1 мкм

Показатель	Минералогические показатели (вариант минус контроль)	Главные компоненты	
		V1	V2
$\lambda_i$		2,85	1,16
Доля дисперсии, %		57	23
Собственный вектор ( $V_j$ )	каолинит + хлорит, %	-0,25	-0,76
	гидрослюда, %	0,57	0,14
	смектитовая фаза, %	-0,52	0,34
	$I_{001} / I_{002}$ для гидрослюда	0,41	0,24
	гидрослюда / смектитовая фаза	0,41	-0,47

типов, наблюдается переход биотитовых слюд пылевых фракций в вермикулитовые-сметитовые илистых фракций.

Интенсивность преобразования тонкодисперсной части почв значительно изменяется в зависимости от доз, продолжительности сроков внесения различных видов физиологически кислых удобрений, при выпадении кислых дождей и других факторов, вызывающих подкисление среды. Разрушение минералов изменяется в соответствии с полями их устойчивости. Так, в первую очередь начинают реагировать на подкисление минералы со сметитовым пакетом. Это, в основном, смешаннослойные образования, а также сметиты.

Разрушение или вынос минералов сметитового типа (как самых дисперсных) называется процессом десметитизации. Его можно отнести к деградационному процессу, поскольку исчезает компонент, ответственный за структурное состояние почв, который контролирует прочность связей между минеральной и органической составляющей. Снижение количества сметитовых минералов приводит к уменьшению емкости катионного обмена, поскольку илистый материал, представленный только гидрослюдами и каолинитом, обладает значительно меньшей емкостью, снижается водоудерживающая способность, уменьшается фиксация фосфора, увеличивается пептизируемость почвенного материала, приводящая к разрушению структуры пахотных слоев. Разрушение слоистых минералов приводит к относительному увеличению содержания кварца, активизируется процесс механического дробления зерен кварца крупнее чем илистых фракций.

Актуальность поднятой проблемы подтверждается работой симпозиума «Глинистые минералы и подкисление» на XVI Международном конгрессе почвоведов (Франция, 1998), в которой отражена важность оценки отзывчивости почв на подкисление путем анализа поведения минералов, скорости их выветривания. Показано, что на огромной территории Европейского континента, подверженного влиянию техногенных кислотных осадков происходит разрушение минералов, приводящее к деградации, истощению почвы. Подчеркивалась актуальность проблемы отказа от использования агрессивно-кислых удобрений, необходимость разработок более экологически равновесных систем мелиорантов [25].

Активизация процессов выветривания минералов при интенсификации земледелия быстро сокращает потенциальные источники питательных веществ в почве и в связи с этим, уменьшает возможный период (длительность) сравнительно устойчивой продуктивности этих почв без их деградации.

Необходимо подчеркнуть важность названной проблемы в связи с особенностями разрушения минералов почв. Этот компонент почв изменяется необратимо [25]. Поэтому снижение скорости разрушения структуры минералов необходимо для долгосрочного функционирования почв.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ферман А.Ф. Занимательная минералогия. М., 1945.
2. Goldich S.S. J. Geol., 1938, v. 46, № 1.
3. Ruhe R. An. J. Sci., 1954, v. 252.
4. Соколова Т.А., Смирнова Г.И. Почвоведение, 1965, № 6, с. 41—48.
5. Pawluk S. Canadian J. Soil Sci., 1960, v. 40, p. 1—14.
6. Рубилина Н.Е. Почвоведение, 1983, № 11, с. 75—84.
7. Толковый словарь геологических терминов. Под ред. М. Гери, Р. Мак-Афи мл., К. Вульфа. Т. 3. М.: Мир, 1979, с. 543.
8. Гинзбург И.И., Яшина Р.С. Экспериментальные исследования в области выветривания. М.: Из-во АН СССР, 1962, с. 87.
9. Гинзбург И.И., Белецкий В.В., Матвеева Л.А. и др. В кн.: Экспериментальные исследования по разложению минералов органическими кислотами. М.: Наука, 1966.
10. Матвеева Л.А. В кн.: Кора выветривания. М.: Наука, 1974, с. 227—239.
11. Correns C.W. Clay minerals, 1961, Bull. 4, № 26.
12. Горбунов Н.И. Минералогия и физическая химия почв. М.: Наука, 1978, с. 293.
13. Градусов Б.П., Чижикова Н.П., Плакхина Д.М. В: Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии. Сб. науч. тр., М., 1988, с. 117—124.
14. Каишанов Н.Н. В сб.: Научные основы современных систем земледелия. М.: Агропромиздат, 1988, с. 3—28.
15. Прокошев В.И., Васильева Л.В. Тр. Соликамской опытной станции, 1975, т. IV, с. 154—176.
16. Чижикова Н.П., Прищеп Н.И. Докл. РАСХН, 1996, № 3, с. 20—21.
17. Тулин С.А. Тр. Новозыбковского филиала ВИУА. Брянск, 1994, вып. 5.
18. Чижикова Н.П., Кобзаренко В.И. В сб.: Агрогенные загрязнения природной среды и пути их оптимизации. М., Министерство сельского хозяйства, Главное управление учебных заведений, 1996, с. 77—88.
19. Левин Ф.И., Субботина Е.И. Науч. докл. Высшей школы, сер. Биологические науки, 1963, № 3, с. 216—222.
20. Чижикова Н.П. В сб. науч. тр.: Минералогический состав и микростроение почв в решении вопросов их генезиса и плодородия. М., 1990, с. 16—29.
21. Чижикова Н.П. Автореф. дис. ... доктора сельскохозяйственных наук. М., 1992, с. 43.
22. Чижикова Н.П. Почвоведение, 1994, № 4, с. 85—91.
23. Чижикова Н.П. Там же, 2002, № 7, с. 867—875.
24. Рожков В.А. Там же, 1975, № 10, с. 141—151.
25. Chizikova N.P. XVI World Congr. of Soil Science. Montpellier (France), 1998, v. I, p. 1—7.
26. Чижикова Н.П. Проблемы эволюции почв. Пущино, 2003, с. 216—221.