

УДК 631.41

РОЛЬ ОРГАНИЧЕСКИХ И ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ В ФОРМИРОВАНИИ ФОСФАТНОГО РЕЖИМА ПАХОТНЫХ ГОРИЗОНТОВ ЭРОЗИОННО-ДЕГРАДИРОВАННЫХ АГРОДЕРНОВО- ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ

© 2015 г. З. С. Артемьева

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
e-mail: artemyevazs@mail.ru*

Одним из главных факторов, влияющих на сорбционные свойства почв по отношению к фосфат-ионам, является органическое вещество почвы. Особый интерес представляет изучение сорбционных характеристик продуктов органико-минеральных взаимодействий в почве. Наиболее важную роль с точки зрения участия в формировании фосфатного режима почв играют органико-глинистые (илистая фракция) и органические (легкие фракции) комплексы. Исследовано фосфатное состояние пахотных горизонтов эрозионно-деградированных агродерново-подзолистых почв на основе параметров сорбции фосфат-иона разных компонентов органического вещества. Органические и органико-минеральные фракции пахотных горизонтов несмытых почв характеризуются высокими уровнем подвижности фосфора и способностью поддерживать постоянный уровень доступных для растений фосфатов ($P_{\text{лаб}}$ составляет 17.95 ± 2.06 мг/кг почвы), низкой сорбционной способностью по отношению к фосфат-иону ($P_{\text{сорб}}$ 96.06 ± 0.53 мг/кг почвы). Агроэкологическими особенностями эродированных почв являются повышенная сорбция фосфат-иона ($P_{\text{сорб}}$ увеличивается более чем в 2 раза) и низкий уровень доступного растениям фосфора ($P_{\text{лаб}}$ уменьшается почти в 2 раза) по сравнению с таковыми полнопрофильных почв. Процессы наносонакопления способствуют некоторому улучшению сорбционных параметров почвы, что выражается в увеличении количества лабильного фосфора в растворе и уменьшения фосфора, сорбированного твердой фазой почвы: величина $P_{\text{лаб}}$ в смыто-намытых и намытых почвенных разновидностях увеличивается более чем на 20%, а величина $P_{\text{сорб}}$ уменьшается в среднем на 1% по сравнению со смытыми разновидностями.

Комплекс параметров сорбции фосфат-иона органо-минеральных фракций изученных агродерново-подзолистых почв разных элементарных почвенных структур является информативной системой оценки фосфатного состояния эрозионно-деградированных агродерново-подзолистых почв.

Ключевые слова: органические и органо-глинистые комплексы почвы, одноточечная изотерма сорбции фосфора, эрозия почвы.

ВВЕДЕНИЕ

Содержание и формы соединений питательных элементов в почве отражают характер почвообразовательных процессов и могут служить диагностическим признаком степени окультуренности почв. Наиболее тесную связь с почвообразованием и степенью окультуренности почвы имеют общее содержание и формы соединений почвенных фосфатов (Карпинский, 1974; Агробиогеохимический цикл фосфора, 2012).

Изменение состояния элементов питания в почве в условиях развития эрозионных процессов, часто вследствие интенсивной системы земледелия, и разработка диагностических показателей для оценки их уровня остается важной проблемой сельского хозяйства (Агробиогеохимический цикл фосфора, 2012).

Одним из главных факторов, влияющих на сорбционные свойства почв по отношению к фосфат-ионам, является органическое вещество почвы. Однако роль отдельных факторов и механизмов в формировании сорбционных свойств почв в интенсивных системах земледелия все еще остается дискуссионной (Ефимов и др., 2001).

Особый интерес представляет изучение сорбционных характеристик продуктов органо-минеральных взаимодействий в почве. Наиболее важную роль с точки зрения участия в формировании фосфатного режима почв играют органо-глинистые (илистая фракция) и органические (легкие фракции) комплексы. Легкие фракции характеризуются слабой прочностью связывания фосфат-иона, в противоположность органо-глинистым комплексам, для которых отмечается значительно большая прочность связи с фосфат-ионом (Травникова, Петрова, 1988, Артемьева, 2008). Органические и органо-глинистые комплексы формируют основное жизнеобеспечивающее свойство почв – плодородие и являются важ-

нейшими составляющими почвенного поглощающего комплекса (ППК). Именно ППК, представляющий *систему органо-минеральных частиц*, является важнейшим звеном в определении устойчивости почвы к различным негативным внешним воздействиям (смене ценоза, эрозии, неадекватной системы земледелия и т.д.) (Травникова, Шаймухаметов, 2000).

В связи с этим, представляется перспективным использование характеристик органо-минеральных фракций эродированных почв в качестве дополнительных диагностических признаков эрозионных процессов. Неоднородность условий формирования почвенного покрова на различных элементах ландшафта обуславливает различие значений показателей фосфатного режима склоновых почв.

Общепотребительные экстракционные методы определения обеспеченности почв фосфором часто оказываются недостаточно информативными, поскольку не позволяют учесть индивидуальные особенности почв, связанные с закреплением элементов (Артемяева, 2008; Агробиогеохимический цикл фосфора, 2012; Христенко, 2001). Большое разнообразие существующих методов создает дополнительные трудности в сравнительной оценке их содержания в почвах различного генезиса и стадии эволюции в антропогенезе. Эти недостатки особенно наглядно проявляются в ландшафтном подходе к оценке плодородия почв, поскольку в почвенном покрове нередко сочетаются почвы с резко различающимися свойствами. Усовершенствование диагностики фосфатного состояния почв может быть достигнуто с помощью физико-химических методов, в частности, изучения кинетики сорбции фосфат-иона на примере изотерм сорбции фосфора. Метод обладает неоспоримым преимуществом перед независимыми вытяжками, поскольку в отличие от них обеспечивает сравнение различных по свойствам почвенных разностей. Однако при всей очевидности преимуществ он достаточно трудоемок. Поэтому Д. Джонсом в соавторстве с Р. Фоксом (Jones, Fox, 1977) предложен метод одноточечной изотермы. Вся процедура значительно упрощается и сводится к методу построения изотермы сорбции по двум точкам, одна из которых – нулевая. Изотерма сорбции фосфора представляет источник получения целого комплекса параметров: концентрации равновесного раствора $C_{\text{равн}}$, которая харак-

теризует количество фосфора доступное для растений; количество сорбированного почвой фосфора $P_{\text{сорб}}$; отрицательный отрезок изотермы сорбции показывает количество лабильного фосфора в равновесном растворе $P_{\text{лаб}}$ и буферную способность почвы по отношению к фосфат-ионам (ПБС^P), характеризующую способность почвы поддерживать концентрацию фосфора в растворе на постоянном уровне (определяется по тангенсу угла наклона изотермы к оси абсцисс). Таким образом, одноточечную изотерму сорбции можно рассматривать как информативный экспресс-метод получения параметров сорбции фосфат-ионов. Для почвы этот метод с успехом применяется за рубежом (Henry, Smith, 2003, 2006).

Цель работы – изучить фосфатный режим агродерново-подзолистых почв разных элементарных почвенных структур, используя физико-химические методы.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования фосфатного режима почв различных элементов ландшафта служили агродерново-подзолистые почвы Зеленоградского стационара Почвенного института им. В.В. Докучаева. С учетом материалов картографического изучения агродерново-подзолистых почв выбрали 3 ключевых участка с преобладающими элементарными почвенными структурами, провели трансекты, вдоль которых исследовали характерные для распаханых склонов профили агродерново-подзолистых почв, они подробно описаны в работах Н.П. Сорокиной (2003), Е.И. Саввиновой (1982).

Все ключевые участки расположены в северо-восточной части Московской области, почти в центре Русской равнины, в бассейне р. Москва: близ сел Ельдигино, Семеновское и Тишково.

Для выделения органических и органо-глинистых комплексов использовали модифицированный вариант гранулоденсиметрического метода (Шаймухаметов, Травникова, 1984; Артемьева, 2010). Легкие фракции выделяли по упрощенной схеме с помощью бромформ-этанольной смеси плотностью 2.0 г/см^3 после того как из образца после предварительного 15-минутного воздействия ультразвука на почвенную суспензию (выходная мощность генератора 180–200 Вт, частота излучения 22 кГц) удалили ил.

Содержание углерода определяли методом мокрого сжигания по Тюрину (Аринушкина, 1970).

Для изучения фосфатного режима использовали метод одноточечной изотермы сорбции фосфора (Артемьева, 2008).

Построение одноточечной изотермы сорбции. Две навески воздушно-сухой почвы заливали 0.01М CaCl₂ в соотношении 1 : 100 в тefлоновых пробирках. В одну из них добавляли известное количество фосфора в виде KН₂РO₄. В работе опробован и уточнен данный экспресс-метод для качественно различных групп органических и органо-минеральных составляющих почвы. Проведя ряд экспериментов по выбору оптимальной концентрации добавляемого фосфора для построения второй точки изотермы сорбции фосфат-иона, в целях универсализации метода для разных органо-минеральных фракций, остановились на величине 15 мкг Р/мл (в виде KН₂РO₄) (Артемьева, 2008).

Суспензию обрабатывали ультразвуком на установке зондового типа при частоте 22 кГц и выходной электрической мощности генератора 180–200 Вт в течение 3 мин. Обработанную суспензию выстаивали 12 ч (оставляли на ночь), после чего центрифугировали в течение 10 мин при скорости 3000 об/мин. Концентрацию фосфора в равновесном растворе определяли калориметрически. Количество сорбированного фосфора вычисляли по разности между содержанием его в исходном и равновесном растворах. Строили изотерму по двум точкам, первая из которых является нулевой, по ней находили количество лабильного фосфора в равновесном растворе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Сумма компонентов ППК в исследованных полнопрофильных почвах составляет $16.87 \pm 0.6\%$ (табл. 1). Из них на долю илистых фракций приходится $15.0 \pm 0.87\%$, легких фракций – $1.87 \pm 0.4\%$. Компоненты ППК представлены тонкодисперсными частицами в отличие от фракции остатка, где преобладают крупнодисперсные и более окристаллизованные оксиды, что сильно ограничивает их сорбционную способность. Исследование параметров сорбции компонентов, составляющих ППК и фракции остатка показало, что для органо-глинистых комплексов ППК (илистые фракции) несмытых агродерново-подзолистых почв ве-

Таблица 1. Содержание, свойства и параметры сорбции фосфат-иона компонентами почв

Компоненты почвы	Содержание компонентов почвы, % от массы почвы	С орг, % от массы фракции	С _{равн} , мкг Р/мл	Р _{сorb}		ПБС ^{рв} , мл/г
				Р _{дab}	Р _{сorb}	
мкг Р/г						
Несмытые						
Илистые фракции	15.0 ± 0.87	3.76 ± 0.25	1.01 ± 0.1	45.0 ± 5.8	378.3 ± 11.5	0.91
Легкие фракции	1.87 ± 0.40	20.58 ± 4.30	3.2 ± 0.5	60.0 ± 5.0	81.25 ± 8.8	0.21
Остаток	82.47 ± 1.25	0.41 ± 0.09	1.37 ± 0.3	13.8 ± 2.5	38.2 ± 0.9	0.11
Смытые						
Илистые фракции	20.73 ± 3.42	2.23 ± 0.49	0.16	10	756	1.60
Легкие фракции	0.88 ± 0.13	16.11 ± 5.6	2.76 ± 0.08	55	105	0.47
Остаток	78.18 ± 3.64	0.27 ± 0.10	0.77	7.3 ± 0.1	65	0.16
Смыто-намытые						
Илистые фракции	15.45 ± 1.06	3.29 ± 0.44	0.8	35.0 ± 7.1	457.0 ± 15.5	1.00
Легкие фракции	1.45 ± 0.46	19.54 ± 3.16	Нет	Нет	Нет	Нет
Остаток	83.1 ± 1.16	0.40 ± 0.20	1.0 ± 0.1	9.0 ± 1.4	57.5 ± 5.6	0.12
Намытые						
Илистые фракции	14.0 ± 0.57	4.04 ± 0.08	0.85	47.5 ± 3.5	422.5 ± 6.4	1.15
Легкие фракции	2.35 ± 0.5	22.14 ± 7.97	3.61 ± 1.06	75	85	0.47
Остаток	83.65 ± 1.06	0.71 ± 0.15	1.1	15	61.5	0.16

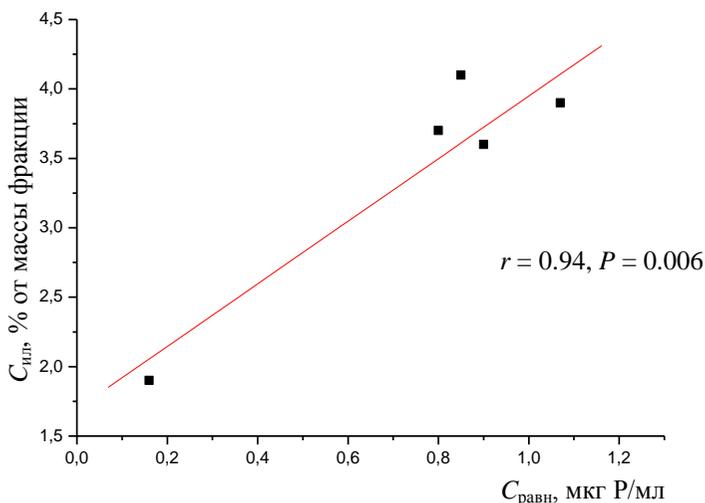


Рис. 1. Зависимость $C_{\text{равн}}$ от концентрации углерода в илистой фракции.

личина равновесной концентрации фосфора ($C_{\text{равн}}$) в 0.01М растворе CaCl_2 составляет 1.01 ± 0.1 мкг Р/мл.

Развитие эрозионных процессов способствует значительному снижению величины $C_{\text{равн}}$ до 0.16 мкг Р/мл. Для смыто-намытых и намытых почвенных разностей отмечено увеличение значений величины $C_{\text{равн}}$ до 0.8–0.85 мкг Р/мл.

Выявлена прямая зависимость между концентрацией равновесного раствора фосфора и концентрацией углерода в илстых фракциях: $r = 0.94$ при $P = 0.006$ (рис. 1).

Таким образом, для илстых фракций агродерново-подзолистых почв очевидно резкое уменьшение (более чем в 6 раз) величины равновесной концентрации фосфора с развитием денудационных процессов. Это связано с тем, что с интенсификацией денудационных процессов на поверхность выходят более глубокие почвенные горизонты, менее гумусированные и обогащенные смектитовым компонентом, а также полуторными оксидами железа и алюминия что усиливает фосфатфиксирующую

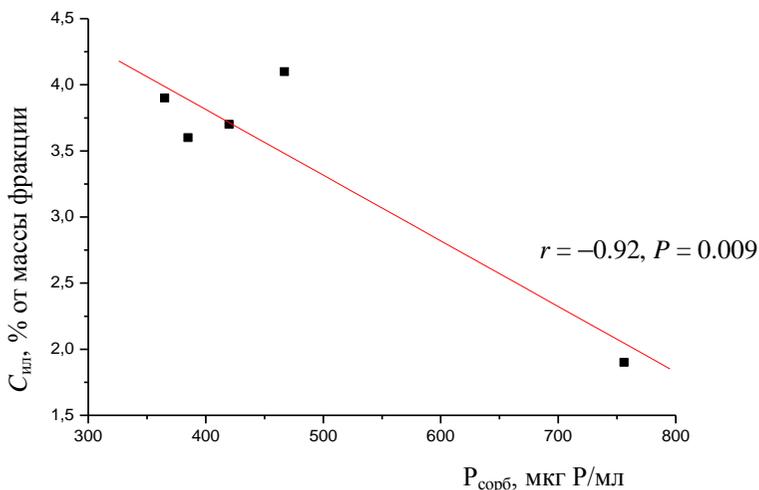


Рис. 2. Зависимость содержания $P_{\text{сорб}}$ от концентрации углерода.

способность почв. Чем больше степень смытости почвы, тем меньше величина равновесной концентрации фосфора.

Закономерности распределения лабильного фосфора в илистых фракциях почв различной локализации на склоне аналогичны таковым для $C_{\text{равн}}$.

Количество фосфора, накапливаемого в твердой фазе в результате его внесения в почву, было рассчитано при значении равновесной концентрации 5 мкг/мл. Наименьшими величинами $P_{\text{сорб}}$ среди исследованных илистых фракций агродерново-подзолистых почв разных элементарных почвенных структур характеризуются несмытые, смыто-намытые и намытые почвы: 375.0 ± 14.14 ; 457.0 ± 15.55 и 422.5 ± 64.35 мкг Р/г фракции соответственно. Илистые фракции смытых почв отличаются максимальными величинами $P_{\text{сорб}}$: в среднем 820.5 ± 91.22 мкг Р/г фракции. Смыто-намытые и намытые агродерново-подзолистые почвы занимают промежуточное положение между смытыми и несмытыми почвами. Количество сорбированного твердой фазой илистых фракций фосфора хорошо коррелирует с концентрацией углерода в илистой фракции почв ($r = -0.92$ при $P = 0.009$) (рис. 2).

Величина PBS^P характеризует буферную способность почвы по отношению к фосфат-ионам. Наименьшие величины PBS^P отмечены для илистых фракций несмытых почвенных разновидностей: в среднем 0.91. В смытых почвах этот показатель достигает максимальных величин: 1.6 мл/г. Смыто-намытые и намытые почвенные разности характеризуются промежуточными величинами PBS^P : в исследованных почвах он колеблется от 1 до 1.15 мл/г соответственно.

Органические компоненты ППК (легкие фракции), органическое вещество которых не связано прочными химическими связями с глинистыми минералами, по параметрам сорбции-десорбции фосфат-ионов существенно отличаются от органо-глинистых. Они характеризуются значительно большими величинами $C_{равн}$ по сравнению с илистыми фракциями. Величина $C_{равн}$ в несмытых почвах составляет 3.2 ± 0.5 мкг Р/мл.

В смытых почвах величина $C_{равн}$ снижается до 2.76 ± 0.08 мкг Р/мл. Для намытой агродерново-подзолистой почвы отмечается увеличение $C_{равн}$ по сравнению со смытыми, даже превышая таковые для несмытых разновидностей: величина $C_{равн}$ составляет 3.61 ± 1.06 мкг Р/мл. Величина $P_{лаб}$ для легких фракций в несмытых почвах составляет в среднем 60.0 ± 5.0 мкг Р/г фракции. С развитием эрозийных процессов она несколько снижается: до 55 мкг Р/г фракции. Для намытых почв отмечается увеличение величины $P_{лаб}$: до 75 мкг Р/г фракции.

Количество фосфора, накапливаемого в твердой фазе легких фракций в результате его внесения в почву, рассчитано при универсальном значении равновесной концентрации 5 мкг Р/мл. Величина сорбированного фосфат-иона в несмытых почвах составляет 81.25 ± 8.8 мкг Р/г фракции. Для смытых почв она увеличивается до 105 мкг/г фракции. Для намытых почв величины сорбированного фосфат-иона уменьшаются по сравнению со смытыми почвами до 85 мкг Р/г фракции. Как и следовало ожидать, легкие фракции характеризуются существенно меньшими величинами PBS^P по сравнению с илистыми фракциями: 0.21 (несмытые почвы), 0.47 (смытые почвы).

Таким образом, легкие фракции по сравнению с илистыми фракциями обладают большей способностью выделять фосфат-

ионы в раствор и существенно меньшей способностью к его сорбции.

Величина $C_{\text{равн}}$ для фракции остатка несмытых разновидностей агродерново-подзолистых почв составляет 1.37 ± 0.3 мкг Р/мл. В смытых почвах она снижается почти в 2 раза: до 0.77 мкг Р/мл.

Смыто-намытые и намытые почвы характеризуются повышенными величинами $C_{\text{равн}}$ по сравнению с таковыми смытых почв: величина $C_{\text{равн}}$ составляет 1.0 ± 0.1 и 1.1 мкг Р/мл соответственно.

Фракция остатка характеризуется наименьшими величинами $P_{\text{лаб}}$ среди органо-минеральных фракций. В несмытых почвах она составляет 13.8 ± 2.5 мкг Р/г фракции. С развитием эрозионных процессов величина $P_{\text{лаб}}$ снижается до 7.3 ± 0.1 мкг Р/г фракции.

Смыто-намытые и намытые агродерново-подзолистые почвы характеризуется повышенными величинами $P_{\text{лаб}}$ по сравнению со смытыми, в ряде случаев превышая таковые для несмытых разновидностей: величина $P_{\text{лаб}}$ составляет 9.0 ± 1.4 и 15.0 мкг Р/г фракции соответственно.

Количество фосфора, накапливаемого в твердой фазе в результате его внесения в почву, рассчитано при значении равновесной концентрации 5 мкг/мл. Фракция остатка характеризуется наименьшими значениями величины $P_{\text{сорб}}$ среди органо-минеральных фракций. В несмытых разновидностях исследованных почв величины сорбированного фосфат-иона достигают 38.2 ± 0.9 мкг Р/г фракции. В смытых почвах величины $P_{\text{сорб}}$ несколько увеличиваются: до 65.0 мкг Р/г фракции. Для смыто-намытых и намытых почвенных разностей отмечено понижение величины $P_{\text{сорб}}$: она составляет 57.5 ± 5.6 и 61.5 мкг Р/г фракции соответственно.

Величина ПБС^P для фракции остатка исследованных несмытых разновидностей зонального ряда почв составляет 0.11 мкг Р/г фракции. В смытых почвах величина ПБС^P увеличивается до 0.16 мл/г. Смыто-намытые и намытые почвенные разности характеризуются промежуточными величинами ПБС^P, 0.12 и 0.16 мл/г соответственно.

Таким образом, исследования показали, что в целом компоненты ППК (илистые и легкие фракции) обладают более высокой

сорбционной способностью и способностью выделять фосфор в раствор по сравнению с фракцией остатка. Фракция остатка характеризуется низкими величинами растворимого фосфора, $C_{\text{равн}}$, низким уровнем накопления фосфора в твердой фазе и небольшой буферной способностью.

Составляющие ППК включают в себя практически все поверхности с переменным зарядом, обладающие способностью сорбировать анионы, т.е. именно эти компоненты почвы ответственны за регулирование фосфатного режима почвы на основе сорбции–десорбции (Травникова, Петрова, 1988; Артемьева, 2008а). Об этом свидетельствуют весьма высокие корреляционные зависимости между показателями сорбции фосфат-иона и содержанием в них органического вещества. Следует отметить, что илистые фракции отличаются большей способностью удерживать фосфат-ионы, и меньшей способностью выделять их в раствор по сравнению с легкими фракциями. В отличие от этих составляющих изменение параметров, характеризующих изотермы сорбции фракции остатка, не коррелирует с изменением факторов сорбции. По-видимому, при недостаточном количестве тонкодисперсных фракций, распределение вносимого фосфора между твердой фазой и раствором регулируется, главным образом, процессами осаждения–растворения.

Оценивая *роль отдельных компонентов почвы* в формировании уровня растворимых фосфатов, выявлено следующее: в исследованных агродерново-подзолистых несмытых почвах вклад компонентов ППК примерно равен вкладу остатка и составляет ~44% от общего уровня накопления растворимого фосфора в почве (табл. 2). Из этого следует, что содержание растворимых фосфатов в несмытых почвах регулируется примерно в равной мере как десорбцией из компонентов ППК, так и процессами растворения их минеральных соединений.

Развитие эрозийных процессов способствует снижению долевого участия компонентов ППК (илистых и легких фракций) в накоплении растворимого фосфора в почве: эта величина снижается до 25% (более чем в 1.7 раза). Соответственно, относительно увеличивается доля фракции остатка (до 70 против 57% в несмытых почвах). При агрогенно-активизированных эрозийных процессах количество растворимых фосфатов в почве в большей сте-

пени регулируется за счет процессов растворения минеральных соединений, чем десорбцией их из компонентов ППК.

Как показали исследования, легкие фракции обладают более выраженной способностью возобновлять запасы растворимых фосфатов по сравнению с илистыми фракциями. Последнее объясняется не только тем, что эти составляющие выделяют большее количество фосфатов на единицу массы, но и тем, что фосфаты связаны с поверхностью их адсорбционной фазы с наименьшей для всех компонентов ППК энергией связи (Травникова, Петрова, 1988; Артемьева, 2008а). Однако их доля в накоплении растворимых фосфатов невелика и составляет не более 13% от суммы компонентов ППК (табл. 2).

Оценивая роль отдельных компонентов почвы в процессах сорбции фосфора, выявили следующее. По вкладу компонентов

Таблица 2. Содержание растворимого ($P_{\text{лаб}}$) и сорбированного ($P_{\text{сорб}}$) фосфора в компонентах исследованных почв

Компоненты почвы	$P_{\text{лаб}}$		$P_{\text{сорб}}$	
	мг/кг почвы	% от $P_{\text{лаб}}$ почвы	мг/кг почвы	% от $P_{\text{лаб}}$ почвы
Несмытые				
Илистые фракции	6.53 ± 1.02	37.23 ± 10.41	54.37 ± 2.05	56.61 ± 2.44
Легкие фракции	0.98 ± 0.13	5.49 ± 1.02	2.57 ± 1.36	3.2 ± 0.66
Остаток	10.44 ± 2.98	57.28 ± 10.38	38.61 ± 1.93	40.19 ± 1.78
Почва в целом	17.95 ± 2.06		96.06 ± 0.53	
Смытые				
Илистые фракции	2.20 ± 0.36	20.59 ± 4.20	179.28 ± 9.48	78.03 ± 1.51
Легкие фракции	0.97 ± 0.64	4.44 ± 0.76	1.16 ± 0.74	0.51 ± 0.34
Остаток	7.57 ± 0.16	70.46 ± 1.41	49.24 ± 1.05	21.46 ± 1.17
Почва в целом	10.75 ± 0.44		229.97 ± 7.69	
Смыто-намытые				
Илистые фракции	5.49 ± 0.72	32.69 ± 8.10	72.12 ± 2.71	59.65 ± 1.34
Легкие фракции	0.98 ± 0.13	7.34 ± 2.05	1.08 ± 0.01	0.89 ± 0.05
Остаток	10.38 ± 2.91	61.04 ± 8.92	47.77 ± 4.54	39.45 ± 1.39
Почва в целом	16.85 ± 20.30		120.98 ± 7.26	
Намытые				
Илистые фракции	6.95 ± 0.22	34.02 ± 1.54	67.69 ± 8.83	56.40 ± 3.22
Легкие фракции	1.06 ± 0.53	5.65 ± 1.52	1.05 ± 0.13	0.89 ± 0.18
Остаток	12.44 ± 0.3	60.84 ± 0.98	51.01 ± 0.13	42.70 ± 3.03
Почва в целом	20.45 ± 0.28		119.76 ± 8.83	

ППК в исследованных несмытых агродерново-подзолистых почвах на их долю приходится более 59% от общего сорбированного почвой фосфора. Развитие эрозионных процессов способствует увеличению долевого участия компонентов ППК в накоплении сорбированного фосфора в почве: эта величина повышается до 78% (более чем в 1.3 раза). Соответственно, относительно снижается доля фракции остатка (до 21 против 40% в несмытых почвах). Можно утверждать, что накопление фосфора в твердой фазе несмытых почв осуществляется в большей мере сорбционными процессами, нежели механизмом осаждения. Агрогенно-активизированные эрозионные процессы способствуют дальнейшему увеличению доли сорбционных процессов накопления фосфора в твердой фазе, за счет обнажения нижних горизонтов, обедненных органическим веществом и обогащенных смектитовым компонентом. Легкие фракции почвы принимают минимальное участие в процессах сорбции фосфора: их доленое участие колеблется в пределах от 0.5 до 3.2%. Можно с уверенностью утверждать, что широком ряду равновесных концентраций, они лишь десорбируют фосфаты.

Таким образом, продукты органо-минерального взаимодействия обеспечивают значительную часть доступных растениям фосфатов в почве. Органические составляющие ППК (легкие фракции) поставляют доступные фосфаты, в основном, за счет содержащихся в них растворимых соединений, которые высвобождаются в процессе минерализации, в меньшей мере, за счет процессов обмена ионов почвенного раствора и ионами функциональных групп. Участие органо-глинистых комплексов ППК (илистых фракций) осуществляется, в основном, за счет процессов сорбции–десорбции. Фракция остатка участвует в накоплении доступных фосфатов процессами растворения–осаждения минеральных соединений.

Полученные параметры сорбции фосфат-иона органо-минеральных фракций, использованные в качестве критерия для оценки фосфатного режима, свидетельствуют о высокой подвижности фосфора в незеродированных агродерново-подзолистых почвах: $R_{\text{лаб}}$ составляет в среднем 17.95 ± 2.06 мг/кг почвы; $R_{\text{сорб}}$ – 96.06 ± 0.53 мг/кг почвы.

Они характеризуются высокой способностью поддерживать постоянный уровень доступных для растений фосфатов. В сочетании с предельно максимальной насыщенностью гумусом илистых фракций исследованного несмытых агродерново-подзолистых почв в условиях конкретной экологической обстановки, несмытые почвы можно считать наиболее устойчивыми к деградации (Артемяева, 2008а).

Почвы, подвергшиеся эрозии, характеризуются более неблагоприятным фосфатным режимом. Они отличаются высокой сорбционной способностью по отношению к фосфат-иону, сорбционные характеристики меняются в сторону увеличения прочности связывания фосфат-ионов, уменьшения количества доступного растениям фосфора: $P_{\text{лаб}} - 10.75 \pm 0.44$ мг/кг почвы; $P_{\text{сорб}} - 229.97 \pm 7.69$ мг/кг почвы.

Это обусловлено выходом на поверхность нижележащих почвенных горизонтов, менее гумусированных, илистые фракции которых обогащены смектитовым компонентом, способствующим увеличению количества сорбированного твердой фазой почвы фосфора. Соответственно, смытые почвы характеризуются значительно меньшей устойчивостью, в целом, и менее энергетически сбалансированным круговоротом фосфора, в частности.

Процессы наносонакопления способствуют улучшению сорбционных параметров почвы, что выражается в увеличении количества лабильного фосфора в растворе и уменьшения фосфора, сорбированного твердой фазой почвы: $P_{\text{лаб}}$ в смыто-намытых и намытых почвенных разновидностях составляет 16.85 ± 20.30 и 20.45 ± 0.28 мг/кг; $P_{\text{сорб}} - 120.98 \pm 7.26$ и 119.76 ± 8.83 мг/кг соответственно. Следует отметить, что почвы зоны преимущественной аккумуляции (намытые), как правило, приуроченные к нижним частям склонов, часто функционируют в условиях периодического повышенного увлажнения, что определяет уровень накопления органического вещества, превышающий экологически обусловленный. Поэтому, хотя данные почвенные разновидности можно считать вполне устойчивыми к деградации, они могут представлять угрозу с экологической точки зрения, в частности, за счет возможной миграции за пределы почвенного профиля и нарушения экологического равновесия в ландшафте.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Органические и органо-минеральные фракции пахотных горизонтов полнопрофильных почв характеризуются высокими уровнем подвижности фосфора и способности поддерживать постоянный уровень доступных для растений фосфатов ($P_{\text{лаб}}$ составляет 17.95 ± 2.06 мг/кг почвы), низкой сорбционной способностью по отношению к фосфат-иону ($P_{\text{сорб}}$ составляет 96.06 ± 0.53 мг/кг почвы). Агрэкологическими особенностями эродированных почв являются повышенная сорбция фосфат-иона ($P_{\text{сорб}}$ увеличивается более чем в 2 раза) и низкий уровень доступного растениям фосфора ($P_{\text{лаб}}$ уменьшается почти в 2 раза) по сравнению с таковыми полнопрофильных почв.

Таким образом, комплекс параметров сорбции фосфат-иона органо-минеральных фракций изученных агродерново-подзолистых почв разных элементарных почвенных структур является весьма информативной системой оценки фосфатного состояния эрозионно-деградированных агродерново-подзолистых почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агробиогеохимический цикл фосфора. М.: Россельхозакадемия, 2012. 512 с.
2. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.
3. *Артемяева З.С.* Органические и органо-глинистые комплексы агрогенно-деградированных почв. Дис. ... д. б. н. М., 2008. 359 с.
4. *Артемяева З.С.* Органические и органо-глинистые комплексы агрогенно-деградированных почв. Автореф. ... д. б. н. М., 2008а. 48 с.
5. *Артемяева З.С.* Органическое вещество и гранулометрическая система почвы М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
6. *Ефимов В.Н., Суворов А.К., Диалло Бубукар* Роль отдельных компонентов кислых почв в сорбции фосфора // Почвоведение. 2001. № 6. С. 675–684.
7. *Карпинский Н.П.* Термодинамика почвенных фосфатов и фосфатный потенциал // X Международный конгресс почвоведов. М.: Наука. 1974. Т. II. С. 21–28
8. *Саввинова Е.И.* Агрономические особенности и продуктивность дерново-подзолистых почв на разных элементах рельефа // Почвенно-агрономическое районирование и агрономическая характеристика почв

основных регионов СССР. Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1982. С. 38–48.

9. *Сорокина Н.П.* Структура почвенного покрова пахотных земель: типизация, картография, агроэкологическая оценка. Автореф. дис. ... д. с.-х. н. М., 2003. 49 с.

10. *Травникова Л.С., Петрова Л.В.* Роль продуктов органо-минерального взаимодействия в формировании фосфатного режима дерново-подзолистой почвы // Физико-химия почв и их плодородие. М., 1988. С. 39–47.

11. *Травникова Л.С., Шаймухаметов М.Ш.* Продукты органо-минерального взаимодействия и устойчивость почв к деградации // Современные проблемы почвоведения. Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 2000. С. 356–368.

12. *Шаймухаметов М.Ш., Травникова Л.С.* Способ извлечения из почвы поглощающего комплекса // Авт. свид. № 1185238. Госком СССР по делам изобретений и открытий. Заявка № 3732977. Приоритет изобр. 30.03. 1984.

13. *Христенко А.А.* Проблема изучения фосфатного состояния почв // Агрохимия. 2001. № 6. С. 89–95.

14. *Henry P.C., Smith M.F.* A single point sorption test for the routine determination of the phosphorus requirement of low to moderate P-fixing soils // S. Afr. Tydskr. Plant Grond. 2003. V. 20(3). P. 132–140.

15. *Henry P.C., Smith M.F.* Two-step approach to determining some useful phosphorus characteristics of South African soils: a review of work done at the ARC-Institute for Soil, Climate and Water // S. Afr. Tydskr. Plant Grond. 2006. V. 23(1). P. 64–72.

16. *Jones J.P., Fox R.L.* Phosphate sorption as a soil testing technique: a simplified approach // Commun. Soil Science and Plant Analysis. 1977. V. 8(3). P. 209–219.

THE ROLE OF ORGANIC AND ORGANOMINERAL COMPONENTS IN THE FORMATION OF THE PHOSPHATE REGIME IN PLOUGH HORIZONS OF EROSION-DEGRADED AGRO SODDY-PODZOLIC SOILS

Z. S. Artemieva

*V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 119017, Moscow, Pyzhevskii, 7
e-mail: artemyevazs@mail.ru*

The soil organic matter is one of the factors affecting the phosphate ionic sorption of soils. Of special interest is the study of sorption char-

acteristics of organo-mineral relationship products in soil. The organic-clay (clay fractions) and organic (fine fractions) complexes play the most important role in developing the soil phosphate regime. Under study was the phosphate state in plough horizons of erosion-degraded agro soddy-podzolic soils as based upon the parameters of the phosphate-ionic sorption in different components of the organic matter. The organic and organomineral fractions of plough horizons in soils that were not subjected to water erosion are characterized by a high level of phosphorus mobility and the capacity to provide a constant amount of phosphates available for plants (P_{mob} is 17.95 ± 2.06 mg/kg of soil), the low sorption capacity to phosphate-ions (P_{sorp} is 96.06 ± 0.53 mg/kg of soil). Agro-ecological peculiar features of eroded soils are the increased sorption of phosphate-ion (P_{sorp} becomes higher by more than 2 times) and the low level of available phosphorus (P_{mob} is declined almost by 2 times) as compared to those in uneroded soils. The processes of sediment accumulation promote some improving the soil sorption parameters, what is manifested in increasing the amount of mobile phosphorus in the soil solution and in decreasing the phosphorus sorption by the soil solid phase. In this case P_{mob} is increasing by more than 20% in washed-out soils, whereas P_{sorp} becomes decreased by 1%. A set of parameters for the phosphate-ionic sorption of organomineral components in the studied soils with different elementary soil structures may serve as an informative system for estimating the phosphate regime in erosion-degraded agro soddy-podzolic soils.

Keywords: organic and organic-clay complexes of soil, one-point isotherm of phosphorus sorption, soil erosion.