

## ПОЧВОВЕДЕНИЕ

УДК 631.41

© 1994 г. А. А. ПРИСЯЖНАЯ, В. В. СНАКИН

### АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗИ СОСТАВОВ ТВЕРДОЙ И ЖИДКОЙ ЧАСТЕЙ ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ *in situ*

Рассматривается применимость известных уравнений адсорбции (Ленгмюра и Фрейндлиха) и ионного обмена (Никольского, Гапона и Гейнса — Томаса) для описания обмена кальция и калия между твердой и жидкой частями почв в природных условиях на основе результатов измерений *in situ* и использования компьютерной базы данных «Деметра».

Исследования ионообменных свойств почв, как правило, проводятся на основе модельных экспериментов в системе почва — раствор с использованием физико-химических уравнений адсорбции и катионного обмена. С целью определить, в какой степени существующие теоретические уравнения отражают реальные процессы в биогеоценозе, нами был проведен анализ уравнений Фрейндлиха, Ленгмюра, Гапона, Никольского и Гейнса — Томаса с использованием результатов потенциометрического метода определения состава жидкой фазы почвы *in situ* в полевых условиях с помощью ионоселективных электродов (ИСЭ). Потенциометрия (или, точнее, ионометрия) является единственным методом, позволяющим исследовать состав жидкой фазы «живой» почвы при минимальном нарушении существующих равновесий.

#### ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводили в 1982—1991 гг. на территориях заповедников: Центрально-лесного Тверской обл., Приокско-террасного Московской обл., Центрального черноземного Курской обл., «Хомутовской степи» Донецкой обл., «Аскания-Нова» Херсонской обл., Кавказского Краснодарского края, а также Заокского лесничества Московской обл. и лесхоза «Малино» («Тульские засеки») Тульской обл. Почвы агроценозов исследованы на прилегающих к заповедным территориям пахотных угодьях, на опытной полевой станции ИПФС, Долгопрудной агрохимической станции Московской обл. Обобщения результатов в данной работе провели на уровне типа почвы. Были рассмотрены подзолистые, серые лесные, черноземы, каштановые, бурые лесные и коричневые почвы природных экосистем и агроценозов.

#### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Активности ионов в жидкой фазе измеряли с помощью опытных партий пленочных ионоселективных электродов, изготовленных в МХТИ им. Д. И. Менделеева. Показания регистрировали полевыми иономерами И-102 и И-150 (Гомельский завод измерительных приборов). Электроды (по два каждого вида)

устанавливали<sup>1</sup> в пяти точках на площадках примерно 400 м<sup>2</sup>. Для уменьшения влияния суточной динамики (Быстрицкая и др., 1981) измерения проводили в период с 11 до 15 час. Методика потенциометрического определения активности ионов в жидкой фазе подробнее опубликована нами в работе (Снакин и др., 1991), где рассмотрены основные проблемы применения ИСЭ, приводится практическое руководство использования метода в полевом варианте, изложена программа для автоматических расчетов на персональной ЭВМ.

Образцы почв в 3-кратной повторности отбирали путем смешивания пяти индивидуальных проб и использовали для определения полевой влажности<sup>2</sup> весовым методом и дальнейших лабораторных исследований. Обменные катионы в почвенных пробах вытесняли раствором 1 М  $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ . Концентрации К, Na в почвенных растворах и вытяжках измеряли методом пламенной фотометрии: Са, Mg — трилометрически. Гидролитическую кислотность определяли по Г. Каппену (Аринушкина, 1970) с использованием 1 М  $\text{CH}_3\text{COONa}$ . Емкость катионного обмена рассчитывали как сумму гидролитической кислотности и суммы обменных катионов.

К настоящему времени нами накоплен большой материал по исследованию состава жидкой фазы почв *in situ*. С целью систематизации этих данных и их обработки нами создана база данных «Деметра», которая включает в себя кроме данных по составу жидкой фазы почв, измеренных в полевых условиях с помощью ИСЭ, и результатов анализа вытесненных этанолом почвенных растворов также некоторые характеристики почвы и экосистемы (состав и свойства твердой части почвы, почвенного воздуха, продукционные характеристики и другие экологические данные). Основной массив базы включает описание более 600 объектов. Математическая обработка результатов выполнена нами с помощью пакета статистических программ типа «Statgraphics». Приложимость уравнений адсорбции и ионного обмена для описания экспериментальных зависимостей, т. е. значимость моделей, проверяли при помощи дисперсионного анализа по *F*-критерию. В качестве критерия для сравнения моделей использовали соответствующий коэффициент детерминации (Поллард, 1982).

Поскольку, к сожалению, в настоящее время существует небольшое количество видов ИСЭ, отвечающих требованиям для проведения измерений *in situ*, в данной работе мы ограничились рассмотрением поведения ионов Са и К.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основными процессами, регулирующими потоки веществ между твердой и жидкой частями почв, являются адсорбция — десорбция, ионный обмен, растворение — осаждение.

Адсорбция веществ на поверхности твердой части почвы наиболее общее явление и относится практически без исключения ко всем компонентам водной фазы. Количественные закономерности этого процесса можно описать с помощью уравнений Фрейндлиха:  $Q = mc^n$  — и Ленгмюра:  $Q = \frac{Kc}{1 + Kc} \cdot Q_{\max}$ , где  $Q$  — удельное количество адсорбированного вещества на единицу массы почвы;  $c$  — равновесная концентрация (активность) адсорбированного вещества в растворе;  $m$  и  $n$  — эмпирические коэффициенты, отражающие специфические свойства почв;  $K$  — константа равновесия процесса;  $Q_{\max}$  — максимальное количество вещества, адсорбируемое единицей массы почвы, т. е. сорбционная емкость почвы (по Орлову, 1985).

<sup>1</sup> Электроды устанавливали в определенном генетическом горизонте. В данной работе анализировали данные, полученные при измерении активности ионов в жидкой фазе почвы верхнего гумусового горизонта А.

<sup>2</sup> Измерения активности ионов *in situ* с помощью ИСЭ рекомендуется проводить при влажности почвы, превышающей влажность завядания.

Содержание К и Са в жидкой и твердой частях почв различных типов: числитель — среднее по всем объектам исследования, знаменатель — диапазон наблюдаемых значений

Тип почвы	ППК, мг-экв./100 г почвы			Жидкая фаза, мг-экв./л*	
	С <sub>обм</sub>	К <sub>обм</sub>	ЕКО	Са <sup>2+</sup>	К <sup>+</sup>
Естественные экосистемы					
Подзолистая	$\frac{3,5 \pm 4,9^{**}}{0,4 - 6,0}$	$\frac{0,6 \pm 1,0}{0,04 - 3,6}$	$\frac{16,7 \pm 8,7}{7,4 - 32,6}$	$\frac{1,4 \pm 1,9}{0,03 - 8,8}$	$\frac{1,0 \pm 3,0}{0,005 - 10,3}$
Серая лесная	$\frac{12,2 \pm 4,0}{7,2 - 15,6}$	$\frac{1,2 \pm 1,2}{0,26 - 3,7}$	$\frac{20,8 \pm 3,4}{16,2 - 27,5}$	$\frac{2,5 \pm 2,6}{0,3 - 7,2}$	$\frac{1,3 \pm 1,2}{0,01 - 4,6}$
Чернозем	$\frac{33,8 \pm 10,0}{13,7 - 47,9}$	$\frac{0,9 \pm 0,4}{0,2 - 1,4}$	$\frac{41,3 \pm 10,2}{22,8 - 54,7}$	$\frac{20,6 \pm 17,7}{1,2 - 54,0}$	$\frac{1,6 \pm 2,0}{0,02 - 7,9}$
Каштановая	$\frac{15,8 \pm 3,0}{13,6 - 17,9}$	$\frac{0,8 \pm 0,2}{0,7 - 1,0}$	$\frac{25,0 \pm 2,0}{22,2 - 27,1}$	$\frac{10,6 \pm 14,5}{0,1 - 44,0}$	$\frac{2,0 \pm 1,7}{0,02 - 5,6}$
Коричневая	$\frac{44,1 \pm 2,8}{39,3 - 48,4}$	$\frac{1,1 \pm 0,2}{0,8 - 1,5}$	$\frac{54,5 \pm 2,2}{49,0 - 57,0}$	$\frac{14,7 \pm 11,7}{3,8 - 41,7}$	$\frac{0,2 \pm 0,4}{0,04 - 1,8}$
Бурая лесная	$\frac{15,4 \pm 8,4}{4,2 - 28,1}$	$\frac{1,7 \pm 2,1}{0,3 - 6,9}$	$\frac{42,2 \pm 15,5}{15,9 - 76,1}$	$\frac{6,1 \pm 9,4}{0,1 - 30,6}$	$\frac{4,5 \pm 7,4}{0,05 - 22,7}$
Агроэкосистемы					
Подзолистая	$\frac{9,0 \pm 5,0}{0,4 - 12,7}$	$\frac{0,2 \pm 0,1}{0,12 - 0,42}$	$\frac{13,1 \pm 4,1}{6,3 - 17,0}$	$\frac{9,1 \pm 7,5}{0,38 - 28}$	$\frac{1,9 \pm 5,0}{0,008 - 25,1}$
Серая лесная	$\frac{13,5 \pm 1,7}{7,1 - 18,2}$	$\frac{0,4 \pm 0,1}{0,12 - 0,63}$	$\frac{18,0 \pm 2,1}{13,9 - 20,0}$	$\frac{13,7 \pm 17,1}{1,1 - 57,4}$	$\frac{0,2 \pm 0,2}{0,02 - 0,84}$
Чернозем	$\frac{27,7 \pm 8,0}{17,7 - 37,0}$	$\frac{1,1 \pm 1,7}{0,3 - 1,3}$	$\frac{35,0 \pm 4,3}{28,1 - 39,8}$	$\frac{21,6 \pm 16,5}{1,8 - 74,0}$	$\frac{1,7 \pm 3,7}{0,02 - 19,4}$
Каштановая	$\frac{20,0 \pm 5,9}{7,4 - 27,4}$	$\frac{0,9 \pm 0,3}{0,3 - 1,3}$	$\frac{26,4 \pm 5,4}{11,1 - 29,8}$	$\frac{5,8 \pm 1,9}{2,6 - 8,5}$	$\frac{0,3 \pm 0,2}{0,1 - 0,5}$

\* Активность (как и концентрацию) иона более корректно выражать в мг-ион/л. Однако в силу того, что в почвенно-агрохимической практике для характеристики ППК общепринято выражение концентрации в мг-экв./100 г, мы здесь приводим активность в сравнимых единицах (мг-экв./л).

\*\* Среднеквадратичное отклонение.

Реакция катионного обмена, включающая катионы К<sup>+</sup> и Са<sup>2+</sup>, может быть описана эмпирическими уравнениями, предложенными:

$$\text{Е. Н. Гапоном (1937): } \frac{N_{\text{Ca}}}{N_{\text{K}}} = K_{\text{r}} \cdot \frac{\sqrt{a_{\text{Ca}^{2+}}}}{a_{\text{K}^{+}}},$$

$$\text{Б. П. Никольским (1934): } \frac{\sqrt{N_{\text{Ca}}}}{N_{\text{K}}} = K_{\text{H}} \cdot \frac{\sqrt{a_{\text{Ca}^{2+}}}}{a_{\text{K}^{+}}},$$

$$\text{Гейнсом и Томасом (Gaines, Thomas, 1953): } \frac{\sqrt{N_{\text{Ca}}} \cdot \sqrt{\text{ЕКО}}}{N_{\text{K}}} = K_{\text{r-T}} \cdot \frac{\sqrt{a_{\text{Ca}^{2+}}}}{a_{\text{K}^{+}}},$$

где  $N_{\text{Ca}}$  и  $N_{\text{K}}$  — количества первого и второго катионов в обменном состоянии в ППК (мг-экв./100 г почвы),  $a_{\text{Ca}^{2+}}$  и  $a_{\text{K}^{+}}$  — активности катионов в равновесном растворе; ЕКО — емкость катионного обмена;  $K_{\text{r}}$ ,  $K_{\text{H}}$  и  $K_{\text{r-T}}$  — константы обмена, отражающие селективность почвы в отношении поглощения катионов в соответствующих уравнениях.

В табл. 1 приведены содержания ионов К и Са в жидкой и твердой частях

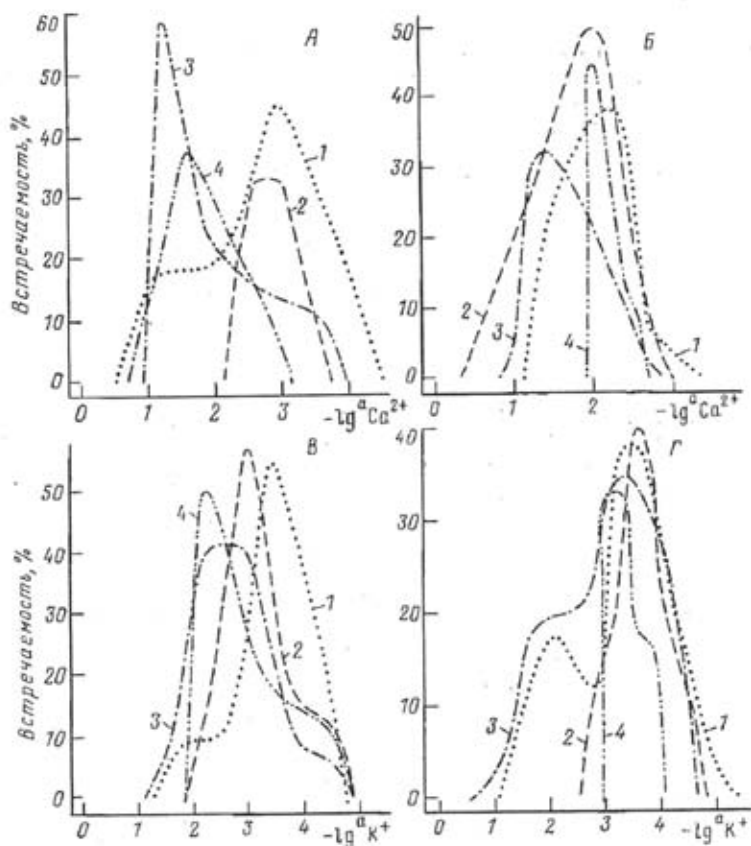


Рис. 1. Кривые распределения величин активности ионов Ca (А, Б) и К (Б, Г) в естественных экосистемах (А, Б) и агроценозах (Б, Г): 1 — подзолистые; 2 — серые леса; 3 — черноземы; 4 — каштановые почвы (кривые построены при разных интервалах значений активности для различных типов почв)

почв естественных экосистем и агроценозов, свидетельствующие о больших разбросах наблюдаемых значений внутри одного типа почв. В то же время изменчивость активности ионов Ca и K в жидкой фазе в значительной степени превышает колебания концентраций этих ионов в обменном состоянии (скорее всего, из-за анализа твердой части почвы из смешанных образцов).

Между типами почв естественных сообществ достаточно отчетливо прослеживаются различия по содержанию обменного Ca: самые высокие значения отмечены в коричневой почве и черноземах, минимальные значения — в подзолистых почвах. По активностям ионов Ca в жидкой фазе (табл. 1 и рис. 1) различные типы почв естественных сообществ можно расположить в ряд: черноземы > коричневые ≥ каштановые > бурые лесные > серые лесные > подзолистые. По содержанию обменного K рассмотренные типы почв различаются в меньшей степени. Можно отметить, что самые высокие значения отмечены в бурых лесных почвах, самые низкие — в подзолистых. По величине активности ионов K в жидкой фазе почвы естественных сообществ можно расположить в ряд: бурые лесные > каштановые ≥ черноземы > серые лесные > подзолистые > коричневые.

Различия между почвами агроценозов по содержанию Ca не столь отчетливы за счет значительного увеличения его количества и в твердой, и в жидкой частях кислых почв в процессе окультуривания. Различия по содержанию K

Коэффициенты корреляции между параметрами жидкой и твердой частей почвы (для всего массива данных)

Твердая часть	Жидкая фаза				
	Eh	pH	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>
Обменные катионы					
Ca	-0,18	0,38	0,37	-0,05*	-0,08*
Mg	-0,13*	-0,02*	0,01*	0,09*	-0,05*
K	-0,05*	-0,18	-0,11*	0,14*	-0,05*
Na	-0,13*	-0,10*	-0,05*	0,13*	-0,08*
Гидролитическая кислотность	-0,07*	-0,45	-0,22	0,48	0,06*
EKO	-0,12*	0,03*	0,17*	0,26	-0,05*

\* Коэффициенты недостоверны ( $P = 0,95$ ).

Таблица 3

Анализ уравнения Фрейндлиха для почв различных типов ( $m$  и  $n$  — коэффициенты уравнения;  $R^2$  — коэффициент детерминации)

Тип почвы	Ca			K		
	$m$	$n$	$R^2$	$m$	$n$	$R^2$
Почвы естественных сообществ	6,9	0,43	0,31	-0,22*	0,1*	0,04*
В том числе						
подзолистая	1,1*	0,18*	0,06*	-1,1*	0,07*	0,01*
серая лесная	9,0	-0,25*	0,72*	1,1*	0,67*	0,76*
чернозем	20,0	0,2	0,55	-0,33*	0,005*	0*
коричневая	44,7	-0,02*	0,06*	0,2	0,06*	0,11*
бурая лесная	10,0	0,3	0,34	-0,26*	0,14*	0,14*
Почвы агроценозов	5,2	0,49	0,39	-0,12	0,34	0,43
В том числе						
серая лесная	6,7	0,2	0,62	-0,83	0,10	0,64
чернозем	13,0	0,27*	0,81*	-0,18*	0,25*	0,81*
каштановая	18,2	0,03*	0,03*	0,33*	0,12*	0,76*
В целом по всем почвам	6,7	0,43	0,32	-0,25	0,15	0,08

\* Коэффициенты недостоверны ( $P = 0,95$ ).

также незначительны, но в окультуренных подзолистых и серых лесных почвах содержание обменного K в процессе окультуривания по средним величинам уменьшилось, а диапазон наблюдаемых значений значительно сузился. Активность ионов K в жидкой фазе различных почв колеблется в значительных пределах, особенно в весенние сроки после применения удобрений.

Известно, что концентрация ионов в почвенном растворе буферизируется за счет адсорбции на поверхности почвенных частиц. Общая подвижность ионов зависит от их количества и подвижности в твердой фазе. Анализ корреляционной взаимосвязи между параметрами жидкой и твердой частей почвы, проведенный для всех, имеющихся в базе «Деметра» данных, показывает невысокий уровень взаимосвязи (табл. 2). Поэтому попытаемся проанализировать такую взаимосвязь на примере отдельных типов почв, используя уравнения адсорбции и катионного обмена.

Анализ уравнения адсорбции Ленгмюра для почв различных типов ( $K_{Ca}$  и  $K_K$  — константы равновесия;  $R^2$  — коэффициент детерминации)

Тип почвы	Ca			K		
	$K_{Ca}$	$R^2$	значимость модели*	$K_K$	$R^2$	значимость модели*
Почвы естественных сообществ	0,33	0,77	+	0,02	0	—
В том числе						
подзолистая	0,06	0,95	+	0,008	0	—
серая лесная	0,37	0	—	0,23	0,82	+
чернозем	0,77	0,71	+	0,008	0	—
коричневая	0,60	0	—	0,02	0	—
бурая лесная	0,18	0	—	0,002	0	—
Почвы агроценозов	0,47	0,85	+	0,07	0,04	—
В том числе						
серая лесная	0,28	0,78	+	0,05	0	—
чернозем	0,38	0,81	+	0,05	0	—
каштановая	0,33	0	—	0,09	0	—
В целом по всем почвам	0,34	0,78	+	0,003	0	—

\* По  $F$ -критерию ( $P = 0,95$ ).

Из данных табл. 3 и 4 следует, что анализируемые уравнения Фрейндлиха и Ленгмюра позволяют удовлетворительно описать экспериментальные зависимости содержания обменного Ca и его активности в жидкой фазе. В то же время можно видеть, что по соответствующим коэффициентам детерминации уравнение Ленгмюра обеспечивает большее приближение к наблюдаемым значениям. Линейная аппроксимация уравнения Ленгмюра даже для всей совокупности исследованных объектов приводит к достаточно высокому значению коэффициента корреляции — 0,88 (рис. 2). Следует также отметить, что взаимосвязь Ca обменного и растворимого сильнее для почв агроценозов.

Достоверная зависимость между обменным и растворимым K обнаружена только для почв агроценозов по уравнению Фрейндлиха (см. табл. 4).

Приложимость уравнений адсорбции для описания экспериментальных данных по содержанию обменного Ca и его активности в жидкой фазе может свидетельствовать о наличии адсорбционного механизма взаимосвязи. Поведение такого биофильного элемента, как K, в природных экосистемах подчинено иным механизмам, среди которых роль биологического фактора может быть определяющей, что подтверждает работа В. В. Волковой (1978), анализирующая различные формы K в степном биогеоценозе.

Проведенный анализ возможности применения уравнений катионного обмена на основе использования данных по составу жидкой фазы почвы, полученных потенциометрическим методом *in situ* (табл. 5), показал достаточно хорошее описание моделей для почв агроценозов. Функциональная связь между соотношениями обменных ионов Ca и K и соотношениями их активностей в жидкой фазе почв природных экосистем выражена гораздо слабее. Оценивая анализируемые уравнения по соответствующим коэффициентам детерминации, невозможно однозначно выделить какое-либо уравнение в качестве лучшего.

Как показывают коэффициенты селективности (табл. 6), селективность почв к кальцию увеличивается в ряду; подзолистые почвы — серые лесные — черноземы (в соответствии с увеличением содержания гумуса). Известно, что из компонентов твердой части почвы наиболее селективно к Ca органическое

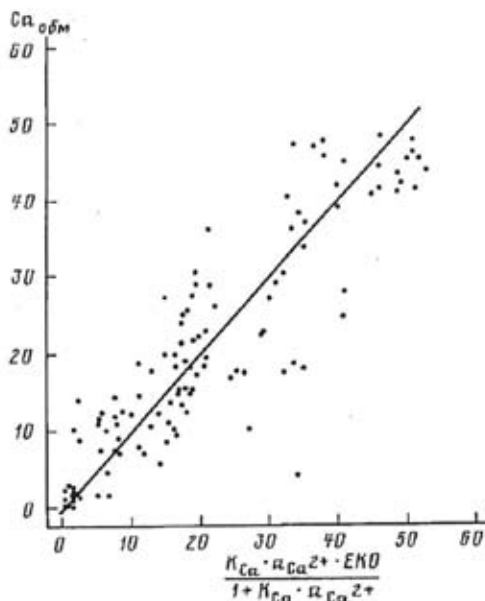


Рис. 2. Аппроксимация экспериментальных данных для всех исследованных почв уравнением Ленгмюра ( $K_{Ca} = 0,34$  — см. табл. 4)

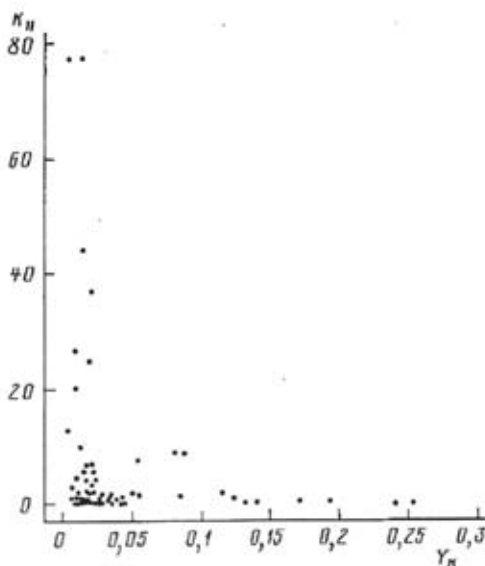


Рис. 3. Зависимость коэффициента селективности от доли К в ППК для всех исследованных почв (уравнение Никольского)

вещество. Самая низкая селективность почвы к Са (и соответственно самая высокая к К) отмечена для коричневых почв. Бурые лесные почвы по этой характеристике изменяются в наибольших пределах и характеризуются самой низкой селективностью к К. Сравнивая наши данные по величинам коэффициентов селективности (см. табл. 6) с приведенными в обзоре (Volt, 1982), можно отметить сопоставимость этих величин, исключая данные для бурых лесных почв.

Характер изменения коэффициентов селективности при обмене К — Са в



Анализ уравнений катионного обмена для различных типов почв агроценозов и естественных сообществ (нескорректированный дисперсионный анализ\*)

Тип почвы	Уравнение Гапона		Уравнение Никольского		Уравнение Гейнса и Томаса	
	$R^2$	значимость модели**	$R^2$	значимость модели**	$R^2$	значимость модели**
Почвы естественных сообществ	0,24	+	0,17	+	0,23	+
В том числе						
подзолистая	0,06	—	0,08	—	0,07	—
серая лесная	0,78	+	0,84	+	0,75	+
чернозем	0,15	—	0,13	—	0,15	—
коричневая	0,49	+	0,49	+	0,50	+
бурая лесная	0,73	+	0,67	+	0,66	+
Почвы агроценозов	0,47	+	0,54	+	0,49	+
В том числе						
серая лесная	0,67	+	0,76	+	0,74	+
чернозем	0,51	—	0,57	—	0,54	—
каштановая	0,98	+	0,98	+	0,98	+
В целом по всей базе данных	0,29	+	0,25	+	0,28	+

\* Во всех анализируемых уравнениях обмена, обозначив левые части через  $y$ , а правые — через  $x$ , получим уравнение  $y = Kx$ , т. е. априори известно, что прямая регрессия должна пройти через начало координат. В этом случае дисперсионный анализ является нескорректированным, а коэффициент детерминации не будет квадратом обычного коэффициента корреляции (Поллард, 1982).

\*\* По  $F$ -критерию ( $P = 0,95$ ).

генетическом ряду для почв агроценозов соответствует наблюдавшимся изменениям для почв природных экосистем. Можно отметить также тенденцию к увеличению селективности изучаемых почв к К в процессе окультуривания (исключая каштановую почву, представленную в базе данных лишь двумя естественными экосистемами).

Достоверная зависимость величин коэффициентов селективности К в Са от их долей в ППК для отдельных типов почв не была обнаружена. В то же время проведенный анализ для всей совокупности имеющихся в базе «Деметра» данных формально показывает увеличение селективности почв к Са (и соответственно уменьшение к К) при содержании К в ППК меньше 2% (рис. 3). Поскольку в соответствии с общепринятой точкой зрения уменьшению доли К в ППК соответствует увеличение селективности к нему почв, полученная нами картина свидетельствует, что в природе могут существовать и другие факторы, которые имеют большее влияние на рассматриваемый процесс.

Проведенный анализ экспериментальных данных, полученных на основе измерений в ненарушенных почвах (*in situ*), позволяет сделать следующие выводы: уравнения ионного обмена Гапона, Никольского и Гейнса — Томаса удовлетворительно описывают ионный обмен К — Са между твердой и жидкой частями почв;

адсорбцию Са почвой в экосистемах удовлетворительно описывают уравнения Ленгмюра и Фрейндлиха, при этом уравнение Ленгмюра оказалось более точным; описание адсорбции К почвой в экосистемах удовлетворительно подчиняется лишь для агроценозов уравнению Фрейндлиха; в естественных экосистемах для описания адсорбции К непригодно ни одно из проанализированных уравнений; во всех случаях процессы в почвах агроценозов в сравнении с естественными



Коэффициенты селективности обмена Са и К для почв различных типов (числитель — средние значения; знаменатель — диапазон рассчитанных по соответствующим формулам значений)

Тип почвы	Естественные экосистемы			Агроценозы		
	КГ	КН	КГ — Т	КГ	КН	КГ — Т
Подзолистая	$\frac{2,0}{0,08 - 4,8}$	$\frac{0,7}{0,06 - 2,1}$	$\frac{4,4}{0,36 - 11,4}$	$\frac{1,3}{0,06 - 4,1}$	$\frac{0,5}{0,1 - 1,1}$	$\frac{1,9}{0,3 - 6,8}$
Серая лесная	$\frac{2,6}{0,6 - 5,6}$	$\frac{0,8}{0,24 - 2,0}$	$\frac{4,5}{1,2 - 9,3}$	$\frac{2,8}{0,4 - 12}$	$\frac{0,7}{0,1 - 3,2}$	$\frac{3,3}{0,5 - 14}$
Чернозем	$\frac{6,5}{1,1 - 21}$	$\frac{1,1}{0,16 - 3,2}$	$\frac{7,7}{1,2 - 23}$	$\frac{4,1}{0,4 - 10}$	$\frac{0,8}{0,1 - 20}$	$\frac{4,2}{0,5 - 11,3}$
Каштановая	$\frac{1,5}{1,3 - 1,7}$	$\frac{0,4}{0,3 - 0,5}$	$\frac{1,9}{1,6 - 2,2}$	$\frac{2,5}{0,8 - 3,1}$	$\frac{0,5}{0,2 - 0,7}$	$\frac{2,8}{1,0 - 3,7}$
Коричневая	$\frac{1,5}{0,5 - 3,3}$	$\frac{0,3}{0,07 - 0,5}$	$\frac{1,7}{0,5 - 3,6}$	—	—	—
Бурая лесная	$\frac{20}{2,4 - 77}$	$\frac{10,5}{0,4 - 42}$	$\frac{52}{2,4 - 182}$	—	—	—

Примечание. «—» — данные отсутствуют.

экосистемами описываются рассмотренными уравнениями адсорбции и ионного обмена более точно.

В заключение авторы выражают благодарность проф. Т. А. Соколовой за полезные замечания, высказанные при обсуждении рукописи статьи.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Аришуккина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
- Быстрицкая Т. Л., Волкова В. В., Снакин В. В. Почвенные растворы черноземов и серых лесных почв. М.: Наука, 1981. 148 с.
- Волкова В. В. Динамика содержания подвижных форм калия в черноземе обыкновенном//Почвенно-биогеоценологические исследования в Приазовье. М.: ИАП АН СССР, 1978. Вып. 3. С. 40.
- Гапон Е. Н. Исследование обменной адсорбции//Журн. общ. химии. 1937. Т. 7. Вып. 23. С. 2801.
- Никольский Б. П. Обмен катионов в почвах//Почвоведение. 1934. № 2. С. 180.
- Орлов Д. С. Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1985. 375 с.
- Поллард Дж. Справочник по вычислительным методам статистики. М.: Финансы и статистика, 1982. 344 с.
- Снакин В. В., Присяжная А. А., Ена М. Л., Кречетов П. П. Методика потенциометрического определения активности ионов в жидкой фазе и окислительно-восстановительного потенциала почв *in situ*. Пушкино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1991. 64 с.
- Bolt G. H. (ed.). Soli Chemistry. В. Physico-Chemical Models. ESPC, 1982. P. 427.
- Gaines G. J., Thomas H. C. Adsorption studies on clay minerals. 11. A formulation of the thermodynamics of exchange adsorption//J. Chem. Phys. 1953. V. 21. P. 714.

Институт почвоведения и фотосинтеза РАН  
Пушино  
Всероссийский институт охраны природы  
и заповедного дела Минприроды РФ,  
Москва

Поступила в редакцию  
13.XII.1993

ANALYSIS OF INTERRELATIONS BETWEEN THE SOLID  
AND LIQUID PARTS OF DIFFERENT SOILS ON THE BASIS  
OF MEASUREMENTS *IN SITU*

*Institute of Soil Science and Photosynthesis,  
Russian Academy of Sciences, Pushchino, Russia*

We have considered applicability of the known equations of adsorption and ion exchange for description of actual processes (*in situ*) in soils of natural and cultured ecosystems using our database «Demetra». Equations of ion exchange by Gapon, Nikol'skii, and Gaines and Thomas described satisfactorily the K-Ca ion exchange between the solid and liquid parts of soils, especially in the case of agrocoenoses. Calcium adsorption by the soil was satisfactorily described by the Langmuir equation (by 85% in agrocoenoses), while the Freundlich equation proved to be less applicable. Potassium adsorption by the soil was satisfactorily described by the Freundlich equation only for agrocoenoses. None of the analyzed equations was applicable for description of the potassium adsorption in the natural ecosystems (reserved territories).