

УТОЧНЕНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВ БИОФИЛЬНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ С УЧЕТОМ ПЛОТНОСТИ ЗАРЯДА СОРБЦИОННЫХ МЕСТ ППК

**В.И. Савич, РГАУ-МСХА, Н.П. Чижикова, Почвенный институт им. В.В. Докучаева,
В.Г. Витязев, Д.В. Карпова, МГУ им. М.В. Ломоносова,
В.В. Гукалов, ООО «Заветы Ильича» Краснодарского края**

Показана целесообразность уточнения обеспеченности почв биофильными элементами с учетом гранулометрического состава, степени гумусированности, емкости поглощения почв, их минералогического состава. Предлагается уточнение обеспеченности почв элементами питания при расчете их содержания на единицу плотности заряда сорбционных мест ППК, с использованием принципов и методов на основе обратной связи – по активности хлоропластов и активности фотосинтеза.

Ключевые слова: биофильные элементы, почвенный поглощающий комплекс, обеспеченность почв элементами питания.

Объектом исследования выбраны обыкновенные карбонатные малогумусные мощные тяжелосуглинистые черноземы Краснодарского края, дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы Московской области [9] и для сравнения другие типы почв [7, 8].

Методика исследования состояла: в определении содержания подвижных катионов в почвах общепринятыми методами [1, 8], в определении кинетики их перехода из почвы в раствор, депонирующей способности почв по отношению к ним, плотности заряда ППК, минералогического состава почв [2-6, 10], в оценке степени обеспеченности почв элементами питания на основе методов с использованием принципов обратной связи (по активности хлоропластов и фотосинтеза) [9].

Экспериментальная часть включала ряд уточнений обеспеченности почв элементами питания. 1. *Уточнение обеспеченности почв элементами питания с учетом гранулометрического состава почв.* У почв более тяжелого гранулометрического состава в 100 г содержится больше илистой (глинистой) фракции, и одно и то же количество элементов питания приходится на большую навеску ила. Поэтому оптимум содержания элементов питания в почвах более тяжелого гранулометрического состава лежит выше, чем в более «легких» почвах.

Приняв, что градации обеспеченности почв элементами питания разработаны для средних суглинков (частиц < 0,01 мм – 35%), можно в первом приближении определить оптимальный показатель для легких суглинков (частиц < 0,01 мм – 25%): $X = a \cdot 0,25 : 35 = a \cdot 0,7$; для тяжелых суглинков – $a \cdot 1,3$. Аналогичные расчеты можно привести для вычисления поправок на емкость поглощения почвами катионов и т.д.

При этом следует учитывать, что емкость поглощения почвами катионов определяется при pH 8,2, а при реальных значениях pH в дерново-подзолистых почвах, равных, например 5,2, емкость поглощения ими катионов будет значительно ниже. В зависимости от гранулометрического состава почв изменяются градации степени гумусированности, содержания подвижных форм микроэлементов, P_2O_5 , K_2O , pH и т.д. [1, 4, 5, 10, 11].

Возможно выражение содержания подвижных элементов на бескарбонатную навеску, на 100 г илистой фракции и физической глины. Если принять положение о том, что растения потребляют элементы питания из водной пленки, то перспективно выражение их содержания на доступную влагу.

2. *Уточнение обеспеченности почв элементами питания с учетом их емкости поглощения.* Обеспеченность почв элементами питания зависит от емкости поглощения почв. Чем больше емкость поглощения почвами катионов, тем выше оптимумы содержания подвижных форм этих катионов. Чем выше емкость поглощения почвами анионов, тем выше оптимумы содержания подвижных форм анионов.

В ряде стран градации обеспеченности почв элементами питания зависят от емкости поглощения почв. Так, например, очень хорошее содержание подвижных фосфатов по Ольсену при емкости поглощения катионов < 10 и > 10 мг-экв/100 г составляет, соответственно, 15 и 20 ppm, плохое – 4 и 6 ppm. Очень хорошее содержание обменного калия в вытяжке CH_3COONH_4 с pH 7 равно при емкости поглощения < 5 мг-экв/100 г – 0,15 мг-экв/100 г, а при $E > 10$ соответственно 0,8; очень плохое содержание < 0,04 и 0,08 [15, 16]. Зависимость оптимального содержания обменного калия от емкости катионного обмена предлагается и М.Ш. Шаймухаметовым [6].

В то же время, оптимальное содержание подвижных фосфатов в почвах зависит от pH среды, степени гумусированности, содержания подвижных форм железа [1, 8, 10, 15]. Однако, в соответствии с нашими исследованиями, эти закономерности изменяются в разных интервалах указанных независимых переменных.

3. *Уточнение обеспеченности почв элементами питания с учетом pH почв.* Подвижность элементов питания в почвах зависит от плотности заряда ацидоидов и базидов. Однако этот показатель определяется pH среды. При кислой реакции среды часть ацидоидов переходит в базиды, и плотность отрицательного заряда почв уменьшается. Это приводит к меньшей прочности связи катионов с почвой и с ППК по типу физико-химической сорбции. Одновременно увеличивается растворимость осадков, что также соответствует увеличению количества катионов в растворе. К этому же приводит и эффект протонирования комплексных соединений поливалентных катионов с органическими лигандами. Указанные закономерности эмпирически участвуют в ряде градаций обеспеченности почв биофильными элементами [3, 8, 10, 11, 16].

Так, например, по данным Veldkamp [16], содержание подвижных элементов в зависимости от pH в минеральных почвах (в % от оптимума) составляло при pH 4,5; 6,0 и 8,5: для фосфора – 10-25, 40-100 и 25-60%, для калия – 25-40, 100 и 100%, для кальция – 20-30, 65-100 и 100%; для цинка – 50-60, 75-100 и 30-50%. Для орга-

нических почв эти показатели равны для фосфора, соответственно, 65, 100 и 35%, для калия – 55, 100 и 40, для кальция – 55, 100 и 100, для цинка – 90, 90 и 20%. Однако для разных групп почв и в зависимости от сочетания их свойств данные зависимости будут различаться.

4. Уточнение обеспеченности почв элементами питания с учетом их минералогического состава. Емкость поглощения почвами катионов в значительной степени зависит от минералогического состава почв [10-14]. Она составляет для каолинита $(2,6-3,8) \cdot 10^{-3}$ мг-экв/м², а для монтмориллонита – $(5,8-12,5) \cdot 10^{-5}$ мг-экв/м². Разная плотность заряда характерна и для почв, составляя от $(1,6 \text{ до } 3,2) \cdot 10^{-3}$ мг-экв/м². Величину заряда оценивают на элементарную ячейку. Так, например, в вермикулите величина заряда меньше, чем в слюдах, но больше, чем в монтмориллоните и составляет 0,5-0,9 на элементарную ячейку.

Минералы имеют не только определенную емкость поглощения катионов и анионов, но и разную удельную поверхность. Так, Е (мг-экв/100 г) и удельная поверхность (м²/г) составляют в монтмориллоните, соответственно, 80-150 и 600-800, а в каолините – 3-15 и 7-30 [10]. При этом отдельные минералы различаются как селективностью в поглощении отдельных ионов, так и закономерностями изменения поглотительной способности от pH и Eh среды, ионной силы раствора (7).

5. Уточнение обеспеченности почв элементами питания с учетом кинетики их перехода из почвы в раствор и депонирующей способности почв. В почвах тяжелого гранулометрического состава и при преобладании в них минералов типа 2:2; 2:1 с разбухающей кристаллической решеткой и с интрамицеллярным типом поглощения биофильные элементы медленнее переходят из твердой фазы в раствор, на что указывал еще Д.Н.Прянишников. Растения в ряде случаев потребляют элементы с большей скоростью, чем те переходят из этих минералов в подвижную или водорастворимую форму.

Таким образом, кинетика рассматриваемых реакций (внутридиффузионная и химическая) определяет градации обеспеченности почв элементами питания. Такая оценка достаточно широко принята в развитых странах [8, 15, 16]. Ее целесообразность доказана и в наших исследованиях [7].

Содержание биофильных элементов в растворах десорбентов определяется эффективными произведениями растворимости осадков этих элементов, эффективными константами ионного обмена в почвах и константами нестойкости комплексных соединений этих ионов. Данное содержание не дает полной информации о количестве подвижных форм этих ионов в твердой фазе почв. Например, при одном и том же содержании калия в водной вытяжке 5 мг/100 г в песке его в твердой фазе будет меньше, а в глине и черноземе – больше.

Для оценки содержания подвижных форм иона в твердой фазе почв используют метод разноактивных индикаторов или исчерпывающее элюирование элемента рядом последовательных вытяжек применяемого десорбента (оценку депонирующей – возобновляющей способности почв). По полученным данным, она была выше в почвах более окультуренных, более гумусированных, более удобренных и более тяжелого гранулометрического состава.

6. Уточнение обеспеченности почв элементами питания с учетом их содержания на единицу плотности заряда ацидоидов на 1 м² поверхности. Ранее нами было предложено выражать содержание элементов питания в почвах на 1 м² общей и внешней поверхности почв, что более точно отражает возможность использования растениями элементов питания. Показана перспективность расчета содержания подвижных элементов на единицу плотности заряда ацидоидов и базоидов. По существу, это вычисление степени насыщенности катионами и анионами емкости поглощения ацидоидов и базоидов.

Плотность заряда ацидоидов и базоидов почвенного поглощающего комплекса зависит от взаимовлияния поглощенных почвой катионов, которое определяется индуктивным и мезомерным эффектами поглощенных ионов – оттягиванием ими электронов от соседних сорбционных мест. По полученным данным, при эквивалентном обмене катионы по значению их индуктивного эффекта располагаются в следующий ряд: $3\text{Na} > 3\text{K} > 1,5\text{Mg} > 1,5\text{Ca} > \text{Al}$. Освобождение катиона из обменной формы усиливается по мере возрастания прочности связи сопряженных обменных катионов.

Проведенными экспериментальными исследованиями установлено, что по уровню этого влияния на константы диссоциации H^+ от функциональных групп ППК катионы располагались в следующий ряд: $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, а по уровню влияния индуктивного эффекта на водно-физические и физико-механические свойства почв – $3\text{Na} > 3\text{K} > 1,5\text{Mg} > 1,5\text{Ca} > \text{Al}$. Изученный эффект зависел от плотности зарядов сорбционных мест ППК и их чувствительности к изученному воздействию. В качестве иллюстрации информативности предлагаемого параметра приведены данные таблицы 1.

1. Содержание подвижного фосфора и обменного калия в почвах в расчете на единицу плотности заряда, $\cdot 10^2$ (А_н 0-24)

Параметр	Чернозем выщелоченный		Дерново-подзолистая почва	
	P ₂ O ₅	K ₂ O	P ₂ O ₅	K ₂ O
На 1 м ² общей удельной поверхности, мг	0,05	0,28	0,3	0,6
На 1 м ² внешней удельной поверхности, мг/м ²	0,16	0,81	0,8	1,7
На единицу плотности заряда*, мг/(мг-экв/м ²):				
1	-	96,7	-	34,2
2	-	65,2	-	31,9
3	25,2	-	21,4	-

* 1 – с учетом емкости поглощения катионов, 2 – с учетом заряда ацидоидов, 3 – с учетом заряда базоидов.

Удельная поверхность рассчитана на максимальную гигроскопию; P₂O₅ – по Кирсанову; K₂O – в вытяжке CH₃COONH₄.

Вычисленная плотность заряда составила для чернозема и дерново-подзолистой почвы, соответственно, $3,1 \cdot 10^{-3}$ и $5,4 \cdot 10^{-3}$ мг/(мг-экв/м²) общей удельной поверхности. С учетом заряда ацидоида – $4,6 \cdot 10^{-3}$ и $5,8 \cdot 10^{-3}$, с учетом заряда базоидов – $2,3 \cdot 10^{-3}$ и $4,2 \cdot 10^{-3}$ мг/(мг-экв/м²).

7. Уточнение обеспеченности почв элементами питания на основе систем обратной связи по активности хлоропластов. Согласно проведенным исследованиям, объективную характеристику обеспеченности растений биофильными элементами дает применение систем обратной связи: внесение в суспензию хлоропластов тестируемых растений биофильных элементов

– идентификация ответной реакции хлоропластов – оценка избытка или недостатка изучаемых элементов.

Если при внесении элемента в суспензию хлоропластов их активность повысилась, то наблюдается недостаток изучаемого элемента. Величину недостатка выражают в процентах от оптимума. Метод хорошо зарекомендовал себя и в производственных условиях при корректировке систем удобрения в парниках [9].

8. Уточнение обеспеченности почв элементами питания с использованием систем обратной связи по параметрам фотосинтеза. С нашей точки зрения перспективным методом оценки обеспеченности растений элементами питания является система обратной связи, основанная на внесении изучаемого элемента в суспензию почв, на которой развиваются растения – идентификация ответной реакции растений по параметрам фотосинтеза. Используя разные дозы внесения изучаемого элемента, можно установить оптимальные пределы его содержания в почве. Это иллюстрируют данные таблицы 2.

2. Изменение параметров фотосинтеза растений при введении KH_2PO_4 в суспензию почв, на которой выращивают растения

Вариант опыта	Чистая активность фотосинтеза, ммоль/ $(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$	Межклеточное содержание CO_2 , ppm	Устьичное сопротивление, сек/ом	Транспирация, ммоль/ $(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$
Контроль	$0,7 \pm 0,11$	$448,9 \pm 5,6$	$13,4 \pm 0,4$	$0,9 \pm 0,03$
+ 1 мл KH_2PO_4	$1,75 \pm 0,05$	$444,7 \pm 17,0$	$14,2 \pm 0,2$	$0,8 \pm 0,02$
+ 2 мл KH_2PO_4	$1,1 \pm 0,13$	$454,7 \pm 7,5$	$16,0 \pm 0,9$	$0,7 \pm 0,03$

При загрязнении дерново-подзолистой почвы свинцом - $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ содержание Pb в почвенном растворе изменилось с $0,25$ до $0,62$ мг/л. При этом активность фотосинтеза упала с $6,9 \pm 0,8$ до $3,6 \pm 0,5$, а транспирация уменьшилась с $0,6 \pm 0,1$ до $0,2 \pm 0,02$. В черноземе, в связи с его большей буферной емкостью при той же степени загрязнения активность фотосинтеза уменьшилась с $9,2$ до $7,0$, а транспирация – с $0,5$ до $0,4$ ммоль/ $(\text{м}^2 \cdot \text{сек})$.

Таким образом, для уточнения обеспеченности почв элементами питания целесообразна корректировка существующих градаций с учетом гранулометрического и минералогического составов, взаимосвязей свойств почв, содержания биотических элементов на единицу плотности заряда сорбционных мест, с учетом скорости протекающих реакций и депонирующей способности почв.

Однако, использование таких оценок экономически выгодно при получении высоких урожаев. Более точные корректировки дает применение систем обратной связи, когда само растение информирует о недостатке или избытке элемента, что перспективно при использовании в парниковых хозяйствах.

Литература

1. Аристархов А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах. - М.: ЦИНАО, 2000. - 500 с.
2. Витязев В.Г., Рабий А., Ключников А.Н. Влияние обменных катионов на общую и внешнюю удельную поверхность некоторых глинистых минералов // Сб. «Особенности почвенных процессов дерново-подзолистых почв». - М.: ТСХА, 1977. - С. 129-139.
3. Градусов Б.П., Чижикова Н.П., Плакхия Д.М. Блок петрографо-минералогических показателей почвенного плодородия // Сб. «Расширенное воспроизводство плодородия почв в интенсивном земледелии». - М., 1988. - С. 117-124.
4. Градусов Б.П., Яковлева О.А. Структура и емкость ближнего резерва калия в связи с минералогическим составом и листового вещества // Докл. Академии наук. - 1997. - Т. 356. - №1. - С. 91-93.
5. Карпова Д.В., Чижикова Н.П. Оценка почв Владимирского Ополя по содержанию минералов – носителей элементов питания растений // Докл. Российской академии с.-х. наук. - 2009, №4. - С. 34-37.
6. Петрофанов В.Л., Шаймухаметов М.Ш., Чижикова Н.П. Оценка запасов калия в почвах в гранулометрических фракциях с использованием растворов $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ и $0,01\text{M CaCl}_2$ // Агрохимия. - 2012. - №12. - С. 67-82.
7. Савич В.И. Физико-химические основы плодородия почв. - М.: РГАУ-МСХА, 2013. - 431 с.
8. Савич В.И., Шишов Л.Л., Амергузин Х.А. Агрономическая оценка и методы определения агрохимических и физико-химических свойств почв. - Астана, 2004. - 618 с.
9. Савич В.И., Сычев В.Г., Шишов Л.Л. Экспрессные методы оценки обеспеченности почв элементами питания и уровня загрязнения токсикантами. - М.: ЦИНАО, 2004. - 152 с.
10. Соколова Т.А. Глинистые минералы в почвах гумидных областей СССР. - Новосибирск: Наука, 1985. - 250 с.
11. Чижикова Н.П. Минералы разных гранулометрических фракций, как источники элементов питания растений (на примере агросерых тяжелосуглинистых почв Владимирского Ополя) // Бюлл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. - Вып. 63. - 2009. - С. 41-49.
12. Чижикова Н.П. Преобразование минералогического состава почв в процессе агрогенеза // Автореф. докт. дисс. - М., 1992. - 49 с.
13. Чижикова Н.П. Агротехногенные преобразования минералогического состава дерново-подзолистых почв // Почвоведение. - №4. - 1994. - С. 85-91.
14. Чижикова Н.П. Проблема плодородия почв с позиции трансформации их минерального состава // Российский химический журнал. Н/т журнал по химии и химической технологии, Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева. - Т. XLIX. - №3. - 2005. - С. 44-48.
15. Singh R., Savich V.I. Analysis of the composition and properties of soils tropics and subtropics, Agrobios, India, 2014, 253 p.
16. Veldkamp M.J., Traore A.N. Fertilité des sols du Mali, Mali-Sud office de Niger interpretation des donnees analytiques des sols et plantes, Inst. Royal des Tropiques, Amsterdam, Pays-Bas, 1991, 149 p.

SPECIFYING THE SUPPLY OF SOILS WITH BIOPHILIC ELEMENTS IN VIEW OF CHARGE DENSITIES AT THE SORPTION SITES OF SOIL EXCHANGE COMPLEX

V.I. Savich¹, N.P. Chizhikova², V.G. Vityazev³, D.V. Karpova³, V.V. Gukalov⁴

¹Russian State Agrarian University – Moscow Agricultural Academy
ul. Timiryazevskaya 49, Moscow, 127550 Russia

²Dokuchaev Soil Science Institute,

Pyzhevskii per. 7/2, Moscow, 119017 Russia

³Moscow State University, Moscow, 119991 Russia

⁴ООО Zavety Il'icha ul. Sadovaya 218, Krasnodar, 350033 Russia

It is found that the supply of soils with biophilic elements should be specified in view of particle size distribution, degree of humification, soil exchange capacity, and mineralogy. It is proposed to specify the supply of soils with nutrients at the calculation of their content per unit charge density at sorption sites of soil exchange complex on the basis of feedback principles and methods: from the activity of chloroplasts and photosynthesis.

Keywords: biophilic elements, soil exchange complex, soil supply with nutrients.