

КАЛЬЦИЙ В ГУМУСЕ ПОЧВ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ТРАНСЕКТА

Борис Максимович Клёнов

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2, доктор биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории географии и генезиса почв, тел. (383)363-90-30, e-mail: klenov@issa-siberia.ru

Михаил Владимирович Якутин

Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, пр. Академика Лаврентьева, 8/2, доктор биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биогеоценологии, тел. (383)363-90-25, e-mail: yakutin@issa-siberia.ru; Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, профессор кафедры экологии и природопользования

В статье рассмотрено поведение одной из основных составляющих гумуса (гумусо-кальциевой системы) в зависимости от участия Са в биологическом круговороте веществ. Показана роль Са в формировании экологической устойчивости гуминовых систем, что в значительной степени определяет и экологически устойчивое земледелие. Показано, что обменный Са в гумусовом горизонте автоморфных зональных почв составляет не более половины его валового содержания. В пределах трансекта участие обменного Са в связывании гуминовых кислот и фульвокислот пропорционально их содержанию в составе гумуса. Дополнительная оценка содержания обменного Са, определенного объемным комплексонометрическим методом, показала такую же географическую закономерность его распределения в почвах трансекта, как и в случае распределения основных гумусовых характеристик.

Ключевые слова: почва, широтный трансект, обменный кальций, гуминовые кислоты, фульвокислоты, экологическая устойчивость.

CALCIUM IN SOIL HUMUS OF WEST-SIBERIAN TRANSECT

Boris M. Klenov

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, 8/2, Academician Lavrentiev Avenue, Novosibirsk, Russia, 630090, D.Sc., Senior Researcher of Geography and Genesis of Soils Laboratory, phone:(383)363-90-30, e-mail: klenov@issa-siberia.ru

Mikhail V. Yakutin

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, 8/2, Academician Lavrentiev Avenue, Novosibirsk, Russia, 630090, D.Sc., Associate Professor, Leading Researcher of Biogeocenology Laboratory, phone: (383)363-90-25, e-mail: yakutin@issa-siberia.ru; Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, Russia, 630108, Professor, Department of Ecology and Environmental Management

The paper analyzes the behavior of one of the main components of humus (humic acids – calcium system) depending on the participation of calcium in the biological cycle of substances. The role of calcium in the formation of ecological stability of humic systems is shown, which largely determines the environmentally sustainable agriculture. It is shown that the changeable calcium amounts to no more than a half of its total content in humus horizon of automorphic zonal soils. Within the limits of the transect, the participation of calcium in binding of humic and fulvic acids is

distributed according to their content in humus composition. Additional assessment of exchangeable calcium content to be determined by nontraditional method showed the same geographic regularity of its distribution in the soils of the transect as in the case of distribution of the main characteristics of humus.

Key words: soil, latitudinal transect, exchangeable calcium, humic acids, fulvic acids, ecological stability.

Введение

Процессы взаимодействия органических веществ с минеральной частью почвы сложны и многообразны, они изучаются на протяжении более 150 лет, и, тем не менее, сущность их до сих пор полностью не раскрыта. Преобладающая часть гуминовых веществ в почвах находится в форме различных органо-минеральных соединений. Они обеспечивают гуминовым веществам не только устойчивость к разложению и минерализации, но и длительную устойчивость в окружающей среде, т.е. экологическую устойчивость (ЭУ). Наиболее обстоятельно изучено взаимодействие гуминовых веществ с катионами многих металлов, в частности, Fe, Al, Ca, Mg и некоторых микроэлементов. Среди щелочноземельных элементов, играющих заметную роль в связывании гуминовых веществ, выделяется кальций. Считается, что взаимодействие катиона Ca^{2+} обычно идет путем обмена с водородом функциональных групп гуминовых веществ. В отличие от других элементов поведение кальция изучено довольно хорошо, поскольку при любом исследовании состава гумуса всегда обязательно рассматривалась и рассматривается одна из основных фракций гумусовых кислот (ГК-2), связанных с этим элементом [1–5]. В данном сообщении рассмотрено поведение этой фракции в зависимости от участия Ca в биологическом круговороте веществ, а также показана роль Ca в формировании экологической устойчивости гуминовых систем и, следовательно, экологически устойчивого земледелия. Под последним понимается такое использование почвенных ресурсов, при котором обеспечивается их экологическая безопасность, а также постоянное возобновление их плодородия. В рамках экологически устойчивого земледелия в севооборотах обязательно должны использоваться многолетние травы, вносятся органические удобрения, добавки и пожнивно-корневые остатки в необходимых нормах [4, 6–9]. Американские экологи Д. Вольф и Дж. Снайдер [10, с. 12] отмечают, что «экологически устойчивое земледелие невозможно без экологически устойчивой почвы, а почва не сможет быть устойчивой без удовлетворительного органического вещества, которое, в свою очередь, сильно зависит от добавок органического вещества и от того, как они действуют. Сама устойчивость органического вещества берет начало от многих благоприятных воздействий как от внесимого, так и от собственно органического вещества почвы (ОВП)». В какой-то мере аналогичные мнения нередко встречаются в ряде отечественных и зарубежных источников, поэтому можно считать, что решение вопроса об устойчивости гумуса или его отдельных компонентов правомерно.

Методы и материалы

В работе использованы резюмированные собственные и обзорные литературные данные [11–14]. Результаты получены с использованием методов, общепринятых в практике гумусовых исследований [15]. В качестве объекта исследования послужил трансект автоморфных почв Западной Сибири, простирающийся от тундры до сухих степей и представленный всеми основными почвенными типами. По установившимся канонам российского почвоведения, автоморфные почвы - это эколого-генетическая группа почв, формирующихся только в условиях атмосферного (нормального) увлажнения на хорошо дренируемых водоразделах с относительно глубоким положением грунтовых вод (глубже 6 м). В таких почвах токи атмосферной влаги систематически и закономерно перемещают химические элементы сверху вниз. Образцы были отобраны из гумусовых горизонтов подзола средней тайги, дерново-подзолистой почвы южной тайги (Томская область), серых лесных почв подтайги и северной лесостепи, черноземов выщелоченного и обыкновенного центральной лесостепи (Новосибирская область), а также чернозема южного и темно-каштановой почвы степи (Алтайский край). Почвы северной тайги и южной тундры в данное сообщение не включены вследствие очень слабой изученности их гумусовых веществ. Кроме того, для антропогенно ненарушенных вариантов этих почв невозможно сравнение с пахотными аналогами, поскольку в северных подзонах представлены лишь участки очагового земледелия, используемого в условиях защищенного грунта в поселках и небольших городах в районах добычи нефти и газа.

Результаты изучения обменного Са, который, как считается, полностью связан с гумусовыми кислотами (ГК и ФК), взяты из литературных источников и собственных лабораторных анализов, причем последние были в свое время получены нетрадиционным способом. В длительной процедуре выделения гуматов Са, как известно, применяется 0,1 н. раствор H_2SO_4 [16]. Этот раствор (т.н. декальцинат), обычно содержащий незначительные количества органического Са, в зависимости от задач исследования можно также использовать для определения, например, Са из полуторных окислов. Считается, что содержание Са в декальцинате приблизительно равно содержанию обменного Са, что нами было принято во внимание при проведении такого дополнительного контрольного определения обменного Са объемным комплексометрическим методом в почвах трансекта.

Результаты и обсуждение

Все данные нижеприведенной Таблицы 1 относятся к пахотным аналогам почв, за исключением среднетаежного подзола, и характеризуют известную географическую зональную закономерность изменения запаса гумуса, составляющего в гумусовом горизонте (или слое 0–20 см) всех почв половину фонда. Нижний и верхний предел общего содержания ГК равномерно возрастает от почв подзолистого типа к чернозему оподзоленному и выщелоченному. Далее идет закономерное его снижение, однако выраженное не так контрастно, как содержание

гумуса. Наибольший интерес представляет фракция ГК-Са, количество которой оказалось определяющим при установлении надежного критерия экологической устойчивости всей гумусовой системы почв. Доля ГК-Са в расчете на общий Са незначительна в подзолах (до 5 %) и не более 30 % в остальных почвах трансекта [14]. Здесь в Таблице приведены более информативные и контрастные данные ГК-Са в пересчете к общему содержанию всех фракций ГК. Количество ГК-2 в составе всех ГК почвы заметно возрастает с усилением сухости климата, вместе с тем, запас гумуса и содержание обменного Са, как и другие показатели гумусового состояния [3], изменяются по общей географической закономерности. Видимо, в почвах южной части трансекта на закрепление ГК кальцием влияет не только обменный Са, но и отчасти карбонатный. Если схематически проследить в трансекте полевые описания почвенных разрезов, то можно заметить повышение верхней границы вскипания с HCl с глубины 150–180 см в дерново-подзолистых почвах до 40 см и выше в каштановых. В последнее время установлено, что количество ГК-Са, как правило, закономерно коррелирует с содержанием обменных форм кальция [17], также Са и Mg [18]. Более того, этими исследователями обнаружено довольно интересное явление возрастания ГК-Са при внесении мелиоранта (конверсионного мела) на дерново-подзолистых почвах. При этом происходит одновременное снижение содержания подвижных ГК. Внешне аналогичную ситуацию можно отметить в изученном трансекте: возрастание в почвенном профиле валового содержания Са в южном направлении сопровождается усилением роли закрепленных и соответственно ослаблением подвижных форм ГК.

Обменный Са и гуматы Са в почвах изученного трансекта

Почвы (название по классификации WRB, 2014), природная зона	Запас гумуса в слое 0–20 см, т/га	Сумма ГК, % от Сорг почвы	ГК-Са от всех ГК, %	Обменный Са, мг-экв/100 г почвы	Обменный Са де-кальцината, мг-экв/100 г почвы
Подзолы (Albic Podzols), средняя тайга	40–50	10–15	5	8	13
Дерново-подзолистые (Haplic Luvisols), южная тайга	60–70	20–30	20	12	17
Серые лесные (Luvic Phaeozems), подтайга	195–105	25–35	40	16	26
Черноземы оподзоленные и выщелоченные (Greyzemic & Haplic Chernozems), лесостепь	145–155	35–40	60	32	43
Черноземы обыкновенные (Calcic Chernozems), степь	130–140	30–40	65	17	31
Черноземы южные (Hurogypsic Chernozems), степь	100–110	30–35	70	17	24
Каштановые (Calcic Kastanozems), степь	60–70	30–35	70	17	21

Прежде чем обратиться к данным обменного Са необходимо вспомнить, что содержание этого элемента (в пересчете на СаО) составляет не более 2 % в верхнем слое всех изученных почв (0–20 см) и большей части профиля почв северной части изученного трансекта. В нижней части почвенного профиля, особенно в южных почвах, где почвообразующими породами являются лессовидные карбонатные суглинки, содержание СаО достигает 8–10 %. Содержание обменного Са, возрастает в трансекте от 6 в подзоле до 32 мг-экв в черноземах и далее к югу снижается до 17 мг-экв. Следует отметить, что во всех почвах трансекта, кроме подзола и дерново-подзолистых, более половины обменного Са участвует в связывании фульвокислотной части гумуса, и, таким образом, относится условно к ФК, т.е. составной части ГК, их гидролизуемого компонента [3]. Аналогичная закономерность проявляется и при анализе емкости катионного обмена (ЕКО): во всех почвах, кроме подзолов и дерново- подзолистых, ЕКО обусловлена органической составляющей [13].

Представленные в окисной форме (% СаО) величины обменного Са также показывают возрастание в трансекте от 0,17 до 0,90, и затем снижение до 0,48. Вместе с тем, по ним можно судить о том, что содержание обменного Са в верхнем горизонте составляет примерно половину (на примере выщелоченного чернозема) его валового содержания. Это то количество Са, которое высвободилось из материнской породы за все время почвообразования и включилось в биологический круговорот. Кроме обменного Са, другими обязательными кальцийсодержащими компонентами почвы являются необменные формы Са – карбонат кальция, силикаты, гипс, минералы кристаллической решетки, а также водорастворимые соли Са, в той или иной степени влияющие на непростую гумусо-кальциевую систему. Относительно содержания обменного Са в декальцинате следует сказать, что данные оказались несколько завышенными по сравнению с литературными, которые были получены общепринятыми традиционными методами. Представляется, что это превышение закономерное. По-видимому, оно связано с особенностями декальцирования, при котором применяемая 0,1 н. H₂SO₄ высвобождает, видимо, не только обменный Са, но и карбонатный, особенно в почвах южной половины трансекта.

Заключение

Рассмотрено поведение одной из основных составляющих гумуса (гумусо-кальциевой системы) в зависимости от участия Са в биологическом круговороте веществ. Показана роль Са в формировании экологической устойчивости гуминовых систем, что в значительной степени определяет и экологически устойчивое земледелие. Установлено, что обменный Са в гумусовом горизонте автоморфных зональных почв составляет не более половины его валового содержания. Вместе с тем, он участвует в связывании до 40 % гумусовых кислот, обеспечивая их сохранность в почвенном профиле и экологическую устойчивость. В пределах трансекта участие обменного Са в связывании гуминовых кислот и фульвокислот пропорционально их содержанию в составе гумуса. Дополни-

тельная оценка содержания обменного Са, определенного объемным комплексометрическим методом, показала такую же географическую закономерность его распределения в почвах трансекта, как и в случае распределения основных гумусовых характеристик.

Благодарности

Работа выполнена по государственному заданию ИПА СО РАН. Финансирование Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гасанова Е. С., Стекольников К. Е., Котов В. В., Ненахов Д. В., Цыплаков С. Е. Фракционный и групповой состав гумуса чернозема выщелоченного и его трансформация под влиянием агротехнических приемов // Доклады по экологическому почвоведению. – 2010. – № 1. Вып. 13. – С. 19–29.
2. Громовик А. И. Гумусовый фонд агрочерноземов миграционно-мицелярных и его трансформация при длительном применении удобрений // Доклады по экологическому почвоведению. – 2010. – № 1. Вып. 13. – С. 30–49.
3. Орлов Д. С. Почвенные фульвокислоты: история их изучения, значение и реальность // Почвоведение. – 1999. – № 9. – С. 1165–1171.
4. Murphy B. W. Soil organic matter and soil function – Review of the literature and underlying data. – Canberra, Australia: Department of the Environment, 2014. – 155 p.
5. Семенов В. М., Когут Б. М. Почвенное органическое вещество. М.: Геос, 2015. – 233 с.
6. Varvel G. E., Wilhelm W. W. Long-term soil organic carbon as affected by tillage and cropping systems // Soil Science Society of America Journal. – 2010. – Vol. 74. – № 3. – P. 915–921. doi:10.2136/sssaj2009.0362.
7. Larney F. J., Angers D. A. The role of organic amendments in soil reclamation: A review // Canadian Journal of Soil Science. – 2012. – Vol. 92. – P. 19–38, <https://doi.org/10.4141/cjss2010-064>.
8. Alhameid A., Ibrahim M., Kumar S., Sexton P., Schumacher T. E. Soil Organic Carbon Changes Impacted by crop rotational diversity under no-till farming in South Dakota, USA // systems // Soil Science Society of America Journal. – 2017. – Vol. 81. – №. 4 – P. 868–877. doi:10.2136/sssaj2016.04.0121.
9. Maysoon M. M., Hergert G. W., Benjamin J. G., Jabro J. D., Nielse Rex A. Soil organic carbon and nitrogen in long-term manure management system // Soil Science Society of America Journal. – 2017. – Vol. 81. – №. 1. – P. 153–165. doi:10.2136/sssaj2016.04.0107.
10. Wolf D., Snyder G.H. Sustainable soils: the place of organic matter in sustaining soils and their productivity. NY: Food Products Press, 2003. – 352 p.
11. Кленов Б. М. Гумус почв Западной Сибири. М.: Наука, 1981. – 144 с.
12. Кленов Б. М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2000. – 176 с.
13. Кленов Б. М., Якутин М. В. Емкость катионного обмена гумусового комплекса почв широтного трансекта Западной Сибири // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгресс: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология»: сб. материалов в 2 т. Т. 2. – Новосибирск: СГУГиТ, 2018. – С. 218–223.
14. Кленов Б. М., Якутин М. В. Экологическая устойчивость гумуса почв Западной Сибири // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2019. XV Междунар. науч. Конгресс, 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск: сб. материалов в 9 т. Т. 4: Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология». – Новосибирск: СГУГиТ, 2019. – № 2. – С. 10–16. DOI:2618-981X-2019-4-2-10-16.

15. Орлов Д. С., Гришина Л. А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во МГУ, 1981. – 272 с.
16. Пономарева В. В., Плотникова Т. Н. Гумус и почвообразование. – Л.: Наука, Ленинградское отд-ние, 1980. – 222 с.
17. Воеводин О. В. Взаимосвязь обменных катионов кальция и магния с органическим веществом черноземных почв // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия, 2018. – Вып. 3 (63). – С. 156–160.
18. Литвинович А. В., Павлова О. Ю., Лаврищев А. В., Буре В. М. Влияние возрастающих доз известкового удобрения на закрепление кальция в составе гуминовых кислот // Агрохимия. – 2016. – № 4. – С. 3–9.

© Б. М. Клёнов, М. В. Якутин, 2020