

## **ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГУМУСА ПОЧВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ**

### ***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. (913)956-19-88, 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. Плеханово, 10, профессор кафедры экологии и природопользования

В работе анализируется вопрос экологической устойчивости (ЭУ) системы гумусовых веществ. Главная проблема в изучении ЭУ связана с установлением ее наиболее информативных критериев. Показано, что помимо биоклиматических факторов, в число обязательных критериев ЭУ входят также такие показатели гумусового состояния как содержание гумуса, его тип, степень гумификации органического вещества. Дополнительное исследование ГК как наиболее химически и экологически устойчивых почвенных органических соединений показало, что фракция ГК, связанная с обменным Са, оказалась наиболее информативным критерием ЭУ. Наиболее репрезентативные результаты дает сравнительное синхронное изучение ЭУ в целинном и пахотном аналогах почвы.

**Ключевые слова:** Западная Сибирь, почва, широтный ряд, экологическая устойчивость, система гумусовых веществ, критерии экологической устойчивости гумуса, гуминовые кислоты, антропогенная нагрузка.

## **ENVIRONMENTAL SUSTAINABILITY OF HUMUS OF WESTERN SIBERIAN SOILS**

### ***Boris M. Klenov***

Institute of Soil Science and Agrochemistry of SB RAS, 8/2, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, D. Sc., Senior Researcher of Geography and Genesis of Soils Laboratory, phone: (913)-956-19-88, e-mail: klenov@issa-siberia.ru

### ***Mikhail V. Yakutin***

Institute of Soil Science and Agrochemistry SB RAS, 8/2, Prospect Akademik Lavrentiev St., Novosibirsk, 630090, Russia, 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, 630108, Russia, Professor, Department of Ecology and Environmental Management

The paper analyzes the issue of environmental sustainability (ES) of the system of humus substances. The main problem in studies of ES consists in determination of its most informative criteria. Besides the bioclimatic indices, the characteristics of humus such as its content, type of humus and degree of humification of organic matter were ascertained to be included into the number of obligatory criteria of ES. Additional study of humic acids as more chemically and biologically sustainable soil organic substances showed that the fraction of calcium humates (combined with ex-

changeable calcium) proved to be the most informative criteria of ES. The most representative data on ES are obtained at simultaneous study of virgin and arable soil samples.

**Key words:** Western Siberia, soil, latitudinal row, environmental sustainability, system of humus substances, criteria of ecological stability of humus, humic acids, anthropogenic load.

### *Введение*

Термин устойчивость в настоящее время широко используют по отношению к различным природным объектам. Различают устойчивость вида, сообщества, ландшафта, экосистемы, а также устойчивость экологическую. В упрощенном понимании устойчивость окружающей среды – это ее способность выдерживать воздействие человека. Вопросы сохранения устойчивого функционирования всех природных систем, в том числе и почв, в региональном, общегосударственном и глобальном масштабах стали предметом всестороннего обсуждения на состоявшейся в 1992 г. в Рио-де-Жанейро Конференции по окружающей среде и развитию. Концепция устойчивого развития, которая была разработана и принята на этой конференции, предусматривает достижение разумной сбалансированности социально-экономического развития и сохранение всех компонентов окружающей среды.

В наиболее общем понимании устойчивость природных систем, в том числе и почв, – это способность их сохранять свои свойства при внешних воздействиях. Под экологической устойчивостью (ЭУ) органической составляющей почвы понимают ее реакцию на антропогенное воздействие и способность возвращаться к исходному состоянию. Вследствие сложной природы органического вещества почвы ЭУ его может рассматриваться в самых разнообразных аспектах. В частности, взаимодействие отдельных компонентов органического вещества с различными загрязнителями, детергентами, тяжелыми металлами, гербицидами, минеральными удобрениями, а также многие другие явления и в особенности реакция гумуса на длительное использование почв в качестве пашни – это все вопросы ЭУ.

В данном сообщении предпринята попытка пересмотреть и несколько дополнить литературные и собственные данные [1] по изучению ЭУ органической части почв.

### *Методы и материалы*

В качестве примера взят типичный для Западной Сибири зональный ряд почв от южной тундры и лесотундры до сухой степи. Это так называемый широтный трансект представлен ареалом зональных почв от глееватых слабоподзолистых на севере до каштановых на юге. Что касается понятия ЭУ гумусовых веществ, то оно не установилось. Хотя следует отметить, что в почвоведении все время существуют понятия «химической стойкости» и «устойчивости». А в классических трудах по гумусу [2–4 и др.] в качестве синонима «устойчи-

вости» встречается «стабильность и прочность связи гумуса с минеральной частью почвы». В современной зарубежной литературе понятие «sustainability», аналогичное «устойчивости» активно обсуждается за последние 20–30 лет. В большинстве случаев внимание акцентируется на вопросах развития устойчивого земледелия, при котором должна исключаться деградация почвенной структуры [5–7], а также почвенно-физических свойств (например, водопропускности агрегатов) в обеспечении устойчивого ведения земледелия, т.е. на факторах, значительно влияющих на ЭУ почвы [8–9].

Также большое внимание уделяется вопросам потери гумусом в лесных почвах биопротекторных функций в результате воздействия жестких антропогенных факторов, в частности пожаров слабой и средней интенсивности [10–13]. Под химической стойкостью понимается обычная способность почвенных компонентов противостоять разрушающему действию кислот, щелочей, растворенных в воде солей и газов, органических растворителей. Вместе с тем под устойчивостью подразумевается «буферная способность почвы». Это способность почвы противодействовать изменению существующей реакции почвенного раствора в кислую или щелочную сторону. Буферная способность почвы определяется физико-химическими свойствами почвенных коллоидов, способных снижать подкисляющее действие органических и минеральных кислот или гидrolитически кислых соединений, в том числе и поступающих в почву минеральных удобрений [14].

### *Результаты и обсуждение*

Современные знания об устойчивости почвенных экосистем представляют собой расширенные понятия химической стойкости почвенных компонентов и буферной способности почв, когда во внимание принимаются различные виды антропогенного воздействия на почву. Самый древний антропогенный пресс на почву – это ее распашка и последующее длительное использование, в ходе которого проявляется наибольшая уязвимость органического вещества почвы в целом и его гумусовой части в особенности. В то же время известно, что в естественных биогеоценозах гумус представляет собой систему экологически устойчивых соединений, которая образуется в ходе своеобразного естественного отбора. В сложной многокомпонентной смеси органического опада, в первую очередь, трансформации подвергаются легко разлагающиеся соединения (белки, углеводы), медленнее разлагаются жиры, а самым устойчивым, как известно, являются лигнин [15–16]. Более трудно разлагающиеся компоненты и служат структурной основой биотермодинамически устойчивой системы гумусовых соединений, которая, тем не менее, значительно снижает свою устойчивость в результате использования почвы. Поэтому ЭУ нагляднее всего и более целесообразно рассматривать одновременно как в ненарушенных почвах, так и почвах, испытывающих антропогенный пресс, что позволит с известной долей условности дать сравнительную оценку ЭУ и степени нарушенности почвы. Хотя для получения

полной картины предпочтительнее впоследствии рассматривать одновременно и ЭУ минеральной почвенной основы.

Одним из трудных вопросов при изучении ЭУ системы гумусовых веществ является установление критериев, т.е. отличительных признаков, на основании которых производится экологическая оценка этой системы, ее определение или даже классификация. Такие оценки ЭУ органического вещества почв Западной Сибири отчасти проведены несколько ранее [1, 17]. В перспективе они могут быть необходимы для разработки мероприятий по сохранению почв и предотвращению дальнейшей потери их плодородия. Как известно, различные составляющие органического вещества почвы, т.е. вещества неспецифические и специфические (ГК, ФК и гумины), обладают не только неодинаковыми свойствами, но и неодинаковой степенью устойчивости к воздействию антропогенных факторов.

При разработке показателей экологической устойчивости системы гумусовых соединений во внимание были приняты три параметра: биоклиматические, гумусового состояния почв и структурного состояния ГК [17]. При этом допускается, что в естественных ценозах имеет место либо слабое проявление эрозивных процессов, либо их отсутствие. В то же время при наличии эрозии в агроценозах половина потерь гумуса, а иногда и больше происходит за счет этой эрозии [18]. Показано, что почвы, формирующиеся в условиях продолжительного периода биологической активности (ПБА) и повышенной среднегодовой температуры, будут экологически устойчивее почв, развивающихся в более суровых биоклиматических условиях.

В Западной Сибири разделительным барьером ЭУ автоморфных почв является подтаежная зона с коэффициентом увлажнения, равным 1. Представляется, что применение только одних биоклиматических параметров будет вполне достаточным, чтобы предварительно классифицировать почву как экологически устойчивую или экологически слабоустойчивую. Показатели же гумусового состояния (содержание и запас гумуса, степень гумификации и тип гумус), позволят полнее представить ЭУ почв и их гумусовых систем. Относительно параметров структурного состояния ГК (величина Н:С в молекуле ГК, степень бензоидности и отношение ГК к гидролизу минеральными кислотами), отмечается, что из-за сложности получения применять их целесообразно в случае сравнительного изучения целинных и пахотных почв или почв, экологическое равновесие в которых нарушено иными видами антропогенной деятельности (орошение, осушение и др.).

В таблице сведены основные показатели гумусового состояния целинных почв трансекта Западной Сибири [19], которые предполагалось полностью использовать для оценки ЭУ гумусовой системы. Результаты для пахотных аналогов этих почв, как правило, меньшие, и их интерпретация для оценки ЭУ, подробно рассмотрены в работе [1]. Даже беглый обзор этих данных еще раз подчеркивает общеизвестный факт, что в Западной Сибири, как ни в одной другой части планеты строго проявляется закон горизонтальной зональности, а сам по себе трансект есть удобная модель для изучения закономерностей гу-

мусообразования и изменения ЭУ гумусовых систем в широтном аспекте. В первом приближении [17] приведены в качестве критериев ЭУ следующие показатели гумусового состояния: содержание и запас гумуса, степень гумификации (т.е. содержание ГК в % от  $C_{орг}$  почвы) и тип гумуса, что было достаточно для нахождения разделительного барьера между экологически слабоустойчивыми и устойчивыми системами. Тем более ГК оказались также и химически устойчивыми соединениями по их известной способности трудно гидролизываться минеральными кислотами. Показано, что использовать данные содержания ФК необязательно. Прежде всего, ФК не характеризуются такой повышенной химической стойкостью, как ГК [20], с другой стороны, для ориентировочной оценки содержания ФК достаточно величины  $C_{гк}:C_{фк}$ .

#### Некоторые характеристики гумусового состояния зональных почв

Почвы	Гумус, %	ГК	ФК	ГМ	ГК-Са	ГК-Са от всех ГК, %	$C_{гк}:C_{фк}$
		% от $C_{орг}$ почвы					
Слабоподзолистые	0,5–1,5	5–15	20–30	30–70	8–10	10	0,3–0,6
Подзолы	0,5–1,5	10–20	15–40	30–60	3–5	5	0,4–0,7
Дерново-подзолистые	2,0–4,0	20–30	20–35	20–50	10–15	20	0,7–1,2
Серые лесные	3,5–5,0	25–35	30–40	30–35	15–25	40	0,7–2,0
Черноземы оподзоленные и выщелоченные	8,0–13,0	35–40	20–30	30–40	25–35	60	1,8–2,6
Черноземы обыкновенные	6,0–10,0	30–40	20–30	25–40	20–30	65	1,6–2,2
Черноземы южные	4,0–6,0	30–35	15–25	30–40	15–30	70	1,5–1,8
Каштановые	2,0–5,0	30–35	15–25	30–40	15–30	70	1,5–1,8

Также необязательно использование и данных содержания гумина (ГМ), хотя эта группа веществ составляет существенную долю гумуса и отличается высокой химической стойкостью. Известно, что эта гуминовокислая часть гумуса наиболее дегидратирована и окислена, а также наиболее прочно связана с почвой [21]. Тем не менее, ГМ оказалась мало информативной группой веществ для определения ЭУ. Кроме того, анализ литературы не позволил выявить какую-либо четкую закономерность накопления ГМ в пределах всего трансекта. Возможно, ГМ не всегда имеет гуминовокислую природу, о чем отмечалось ранее [22–24]. Основным показателем химической стойкости ГМ – его нерастворимость в реагентах, применяемых при фракционировании гумуса, в которых не растворяются также и лигнин и более того целлюлоза. Поэтому формально ГМ не может быть индикатором ЭУ. В данном следует остановиться на содержании в изученных почвах фракции ГК-Са, т.е. кальциевых солей

ГК, которые в первом приближении не были приняты во внимание в качестве критерия ЭУ. Оказалось, что эта фракция ГК, составляющая совсем незначительную часть в составе гумуса почв подзолистого типа северных подзон и не более 1/3 гумуса почв южных подзон, может служить надежным критерием ЭУ всей гумусовой системы. Более информативными и контрастными оказались расчеты количества ГК-Са к содержанию органического С не всей почвы, а только ее гуминовокислой части. Полученные расчеты показывают, что роль кальциевых солей среди всех фракций ГК планомерно возрастает по мере повышения ЭУ гумусовой системы. Резкое снижение содержания этой фракции в подзолах даже на фоне тундровых почв четко коррелирует с установленным ранее «провалом» участия Са в биологическом круговороте этого участка, а в настоящее время это обстоятельство можно связать с ЭУ его гумусовой системы.

### *Заключение*

В изучении ЭУ основная сложность заключается в установлении критериев устойчивости. Показано, что помимо биоклиматических факторов, в число обязательных критериев ЭУ входят также такие показатели гумусового состояния как содержание гумуса, его тип, степень гумификации органического вещества (содержание ГК). Дополнительное исследование ГК как наиболее химически и экологически устойчивых почвенных соединений показало, что фракция ГК, связанная с обменным Са, оказалась наиболее информативным критерием ЭУ. Как правило, наиболее репрезентативные результаты дает сравнительное изучение ЭУ в целинном и пахотном аналогах почвы.

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

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клёнов Б. М. Устойчивость гумуса автоморфных почв Западной Сибири. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, филиал «ГЕО», 2000. – 176 с.
2. Ваксман С. А. Гумус: происхождение, химический состав и значение в природе. – М.: Сельхозгиз, 1937. – 471 с.
3. Тюрин И. В. Некоторые результаты работ по сравнительному изучению состава гумуса в почвах СССР // Труды Почвенного института им. В.В.Докучаева. – 1951. – Т. 38. – С. 95–96.
4. Кононова М. М. Органическое вещество почв. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. – 314 с.
5. Carter M. R. Soil quality for sustainable land management: organic matter and aggregation interactions that maintain soil functions // *Agronomy Journal*. – 2002. – Vol. 94. – P. 38–47.
6. Tiessen H., Stewart J. W. B. Particle-size fractions and their use in studies of soil organic matter: II. Cultivation effects on organic matter composition in size fractions // *Soil Science Society of America Journal*. – 1983. – V. 47. – № 3. – P. 509–514.
7. Tiessen H., Stewart H. W. B., Bettany J. R. Cultivation effect on the amount and concentration of carbon, nitrogen and phosphorus in grassland soils // *Agronomy Journal*. – 1982. – V. 74. – P. 831–835.

8. Mari G. R., Changing J. I. Conservation tillage for the protection of soil quality and sustainability // American-Eurasian scientific journal of scientific research. – 2006. – Vol. 1. – №. 1. – P. 55–60.
9. Arshad M. A., Schnitzer M., Angers D. A., Ripmeester J. A. Effects of till vs no-till on the quality of soil organic matter // Soil Biology and Biochemistry. – 1990. – V. 22. – P. 595–599.
10. Almendros E. Sorptive interactions of pesticides in soils treated with modified humification // European Journal of Soil Science. – 1995. – V. 46. – № 2. – P. 287–301.
11. Almendros G., Gonzales-Vila F. J., Martin F. Fire-induced transformation of soil organic matter from an oak forest: an experimental approach to the effect of fire on humic substances // Soil Science. – 1990. – V. 149. – № 3. – P. 158–168.
12. Almendros G., Martin F., Gonzales-Vila G. J. Effects of fire on humic and lipid fraction in a disrtic xerocrept in Spain // Geoderma. – 1988. – V. 42. – P. 115–127.
13. Almendros G., Gonzalez-Vila F. J. Wildfires, soil carbon balance and resilient organic matter in Mediterranean ecosystems. A review. // Spanish Journal of Soil Science. – 2012. – V. 2. – № 2. – P. 8–33.
14. Возбуцкая А. Е. Химия почвы. – М.: Высшая школа. – 1964. – 398 с.
15. Тейт Р. III Органическое вещество почвы: Биологические и экологические аспекты / пер. с англ. О.Д. Масаловой, Д.С. Орлова. – М.: Мир, 1991. – 400 с.
16. Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – 326 с.
17. Клёнов Б. М. Некоторые критерии устойчивости системы гумусовых веществ почвы // Вестник ТГУ. – 2005. – № 15. – С. 160–162.
18. Хмелев В. А., Танасиенко А. А. Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования. – Новосибирск: Изд-во СО РАН. – 2009. – 349 с.
19. Клёнов Б. М. Гумус почв Западной Сибири. – М.: Наука, 1981. – 144 с.
20. Орлов Д. С. Почвенные фульвокислоты: история их изучения, значение и реальность // Почвоведение. – 1999. – № 9. – С. 1165–1171.
21. Тюрин И. В. Органическое вещество почв и его роль в плодородии. – М.: Наука, 1965. – 320 с.
22. Клёнов Б. М., Корсунова Т. М. Гумус некоторых типов почв Западной Сибири. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. – 158 с.
23. Клёнов Б. М. Изменение емкости катионного обмена гумусовых кислот почв Западной Сибири под влиянием распашки // ГЕО-Сибирь-2006. Междунар. науч. конгр. : сб. материалов в 6 т. (Новосибирск, 24–28 апреля 2006 г.). – Новосибирск : СГГА, 2006. Т. 3, ч. 1. – С. 129–132.
24. Клёнов Б. М. Якутин М. В. Емкость катионного обмена и органическая составляющая выщелоченных черноземов Приобья // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2017. XIII Междунар. науч. конгресс. Междунар. науч. конф. «Дистанционные методы зондирования Земли и фототраметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 17–21 апреля 2017 г.). – Новосибирск: СГУГиТ, 2017. – Т. 2. – С. 166–170.

© Б. М. Клёнов, М. В. Якутин, 2019