

СОСТОЯНИЕ ГУМУСА АГРОСЕРЫХ ПОЧВ ЛЕСОСТЕПИ ПРИБАЙКАЛЬЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

© 2014 С.Ю. Зорина, Л.Г. Соколова, Т.В. Засухина

Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН, г. Иркутск

Поступила 03.04.2014

Состояние гумуса пахотных почв предлагается оценивать по соотношению лабильного и стабильного пулов углерода. Выявлено, что независимо от характера загрязнения (ТМ и фториды), трансформация гумусовых веществ агросерых почв лесостепи Прибайкалья связана с увеличением содержания углерода в лабильном пуле (подвижные фракции), что повышает риск потерь почвенного органического вещества.

Ключевые слова: гумусовые вещества, лабильный и стабильный пулы углерода, агросерые почвы, загрязнение пахотных почв, тяжелые металлы, фториды алюминиевого производства, лесостепь Прибайкалья

ВВЕДЕНИЕ

В условиях нарастающего антропогенного воздействия проблема загрязнения почв приобретает все более острый характер, особенно если учитывать их ведущую роль в функционировании биосферы [6, 5]. Наибольшую опасность представляет риск, обусловленный воздействием промышленного загрязнения, вследствие нежелательных экологических последствий как для почв, так и для человека. Аккумуляция поллютантов в почвах, способствующая изменению свойств, существенно влияет на экологические функции почв, их плодородие и качество растениеводческой продукции [9, 12, 13]. Необходимо учитывать, что интенсивность негативных процессов определяется не только характером загрязнения, но и конкретными почвенно-климатическими условиями. Для лесостепной зоны Прибайкалья проблема техногенного загрязнения особенно актуальна, поскольку значительная часть пахотных почв расположена в зоне крупнейших промышленных агломераций [3]. Ежегодный суммарный объем техногенных выбросов составляет свыше 700 тыс. т загрязняющих веществ, преимущественно I-III классов опасности. Неблагоприятные природно-климатические условия, включая пониженную форму рельефа, слабую активность ветра, частые штили, туманы и инверсии [2], способствуют интенсивному загрязнению пахотных почв. Наиболее опасными токсическими элементами, широко распространенными на территории региона, являются тяжелые металлы (ТМ) и фториды. Их действие на процессы трансформации органического вещества пахотных почв, тесно связанные с состоянием гумуса, изучено недостаточно. Вместе с тем, подобные исследования

крайне необходимы для обоснования рационального использования загрязненных почв в земледелии.

Цель работы – выявить направленность трансформации гумусного состояния агросерых почв лесостепи Прибайкалья в зависимости от характера их загрязнения.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследований – незагрязненные и загрязненные аэровыбросами химического и алюминиевого производства агросерые почвы. Приоритетными загрязнителями ОАО «Саянскимпласт» являются тяжелые металлы. Их суммарное загрязнение в исследуемой почве соответствовало уровню «допустимое» [10]. В выбросах ОАО «ИрАЗ-СУАЛ» наиболее токсичными соединениями считаются фториды. Уровень загрязнения почвы их водорастворимыми формами составил 6 ПДК [15]. Полевые мелкоделячные опыты с посевом районированного сорта яровой пшеницы проводили в 3-х кратной повторности по разработанной ранее методике [12, 13]. Загрязненные почвы (пахотный слой), были вывезены из зоны аэровыбросов на стационар СИФИБР СО РАН, где по данным снегосъемки атмосферное загрязнение отсутствовало. Такая постановка опытов позволила устранить неконтролируемое действие продолжающегося загрязнения и обеспечить высокую репрезентативность почвенных образцов, что важно при анализе состояния гумуса. Незагрязненная почва стационара служила условным контролем. Почвенные образцы из пахотного слоя (0-20 см) почвы отбирали в фазу спелости пшеницы.

Свойства почв изучали общепринятыми методами [1]. Валовое содержание тяжелых металлов (ТМ) определяли атомно-абсорбционным методом. Содержание водорастворимых фторидов – спектрофотометрическим методом [4]. Анализ фракционно-группового состава гумуса проводили методом Пономаревой-Плотниковой, который обеспечивал не только выделение качественно различных по природе групп гуминовых кислот

Зорина Светлана Юрьевна, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агроэкологии, agroeco@sifibr.irk.ru; *Соколова Лада Георгиевна*, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории агроэкологии agroeco@sifibr.irk.ru; *Засухина Татьяна Валентиновна*, ведущий технолог лаборатории агроэкологии, agroeco@sifibr.irk.ru

ГК), фульвокислот (ФК) и гумина, но и фракций ГК и ФК, отличающихся по характеру их связи с минеральными компонентами почвы. По содержанию углерода в отдельных фракциях гумусовых веществ определяли величину лабильного ($C_{Лр} = \text{ГК-1} + \text{ФК-1a} + \text{ФК-1}$) и стабильного ($C_{МЛр} = \text{ГК-2} + \text{ГК-3} + \text{ФК-2} + \text{ФК-3} + \text{ГМ}$) пулов углерода в гумусе почв. Несмотря на некоторую условность, предлагаемый подход позволил получить количественную оценку пулов и их изменения в зависимости от характера загрязнения. Образцы анализировались в 3-5-кратной повторности. Для статистической обработки использован стандартный пакет программы Excel 2007 (Microsoft Office XP).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Физико-химические свойства исследуемых агросерых почв представлены в табл. 1. По гранулометрическому составу незагрязненная и загрязненная фторидами агросерые почвы характеризовались как среднесуглинистые, а загрязненная тяжелыми металлами (ТМ) почва как тяжелосуглинистая. Агрохимические показатели были типичными для агросерых почв лесостепной зоны Прибайкалья. Вследствие преобладания NaF в твердых выбросах алюминиевого производства, загрязненная фторидами почва отличалась высоким содержанием обменного натрия, который может способствовать пептизации органоминеральных коллоидов [7].

Таблица 1. Свойства агросерых почв (слой 0-20 см)

Почва, загрязнение	Сумма частиц, %		Гумус, %	N _{общ.} , %	pH _{сол.}	Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Na ²⁺	ЕКО
	<0.01	>0.01						
Контроль (незагрязненная)	30.6	69.4	3.1	0.20	5.6	22.4	0.19	28.6
Загрязненная ТМ («допустимое»)	45.1	54.9	3.0	0.16	5.9	22.8	0.10	24.0
Загрязненная фторидами (6 ПДК)	31.9	68.2	2.5	0.13	5.8	22.0	0.60	26.9
НСП ₀₅			0.12	0.07	0.4	0.3	0.05	2.1

Анализ качественного состава гумуса показал, что в группе гуминовых кислот (ГК) загрязненной ТМ почвы содержание углерода выше, чем в незагрязненной и загрязненной фторидами (табл. 2). Отличия между почвами по содержанию углерода в группе фульвокислот (ФК) сохранялись, но оказались менее выраженными. Группа гуминов (ГМ) преобладала в загрязненной фторидами почве (45%). Несмотря на выявленные различия в

групповом составе гумуса загрязненных почв, его содержание соответствовало уровню «низкое», тип гумуса оставался фульватно-гуматным, а степень гумификации «высокой» [11]. Данные указывают на сохранение типовых признаков качественного состава гумуса исследуемых агросерых почв под действием разного по характеру техногенного загрязнения.

Таблица 2. Качественный состав гумуса агросерых почв, % от С_{общ.}

Характер загрязнения	C _{общ.} , %	ГК				ФК					ГМ
		1	2	3	сумма	1a	1	2	3	сумма	
Контроль	1.92	3.5	22.9	7.0	33.4	2.6	2.6	15.6	6.4	27.2	39.8
ТМ	1.75	9.9	17.7	12.1	39.7	4.3	9.1	9.5	6.1	29.2	31.1
Фториды	1.47	2.2	20.7	7.7	30.6	11.0	1.0	9.0	3.4	24.4	45.0

Отличия во фракционном составе гумуса исследуемых почв более выражены (см. табл. 2). Анализ относительного распределения углерода (% от суммы фракций ГК и ФК) показал, что во всех почвах преобладала связанная с кальцием фракция ГК-2, что типично для серых лесных почв региона. В отличие от незагрязненной, загрязненная ТМ почва характеризовалась более высоким содержанием углерода в связанной с подвижными полуторными окислами фракции ГК-1. В группе фульвокислот этой почвы доля углерода в подвижной фракции ФК-1 также оказалась существенно больше (31, против 9% от

суммы фракций). В то время как в менее подвижной фракции ФК-2 почти вдвое меньше. В загрязненной фторидами почве различия в группе ФК были еще более выражены. Так, если в незагрязненной почве содержание углерода в наиболее подвижной фракции декальцината (ФК-1a) составляло 9%, то в загрязненной фторидами достигало 45% от суммы ФК. При этом доля углерода в прочно связанной с глинистыми минералами фракции ФК-3 оказалась в два раза меньше, чем в незагрязненной почве.

Высокое содержание углерода в подвижных фракциях ГК-1, ФК-1a и ФК-1 указывает на

большую подвижность гумусовых веществ в загрязненных почвах. Подобный характер изменений в отдельных фракциях гумусовых веществ в зависимости от уровня и характера загрязнения отмечался ранее при изучении трансформации азотсодержащих новообразованных веществ, меченных изотопом ^{15}N [13]. Известно, что новообразованные вещества, как сравнительно «молодые» структуры, наиболее активно участвуют в формировании фонда лабильных (потенциально доступных для минерализации) гумусовых веществ, сравнительно легко подвергающихся микробиологической трансформации.

Выделение лабильного и устойчивого к минерализации пулов почвенного органического вещества (ПОВ) является важным аспектом современных исследований процессов его трансформации. Использование разных подходов, основанных на применении физических, химических, изотопных и биокинетических методов [16, 14, 8], позволяет оценить размеры выделенных пулов и их роль в поддержании устойчивости ПОВ. Подобную оценку можно получить и с использованием традиционного метода химического фракционирования по Пономаревой-Плотниковой,

учитывающего разную степень связанности гумусовых веществ с минеральной частью почв. Несмотря на некоторую условность, предлагаемый подход позволяет выделить лабильный ($C_{\text{Лг}}$) и стабильный ($C_{\text{МЛг}}$) пулы углерода в гумусе почв. В зависимости от изменяющихся факторов среды в почве будет складываться определенное соотношение пулов, характеризующих трансформацию органического вещества.

Как показано в табл. 3. основная доля углерода в гумусе незагрязненной почвы содержалась в стабильном пуле (91,3 %), что характеризует ее сравнительно устойчивое гумусное состояние. В загрязненных почвах, независимо от характера загрязнения, направленность трансформации гумусовых веществ имела сходство, но отличалась повышением доли лабильного пула. Если в незагрязненной почве величина составляла 167мг/100г от $C_{\text{орг}}$, то в загрязненных почвах она была значительно больше. Максимальным показателем отмечался в загрязненной ТМ почве (407,8 мг/100). В результате соотношение $C_{\text{Лг}}:C_{\text{МЛг}}$ оказалось в 2-3 раза шире, чем в незагрязненной почве.

Таблица 3. Содержание пулов углерода в гумусе агросерых почв

Характер загрязнения	$C_{\text{МЛг}}$, % от Собщ.	$C_{\text{Лг}}$		$C_{\text{Лг}}:C_{\text{МЛг}}$
		% от Собщ.	мг/100 г	
Контроль	91.3	8.7	167.0	0.1
ТМ	76.7	23.3	407.8	0.3
Фториды	85.6	14.2	208.7	0.2

Количественные оценки лабильного пула углерода в полевых опытах согласуются с содержанием потенциально-минерализуемого углерода в почвах ($C_{\text{Лг}}$), измеряемого биокинетическим методом в инкубационных экспериментах [17, 16]. Согласно обобщенным литературным источникам, содержание $C_{\text{Лг}}$ в почвах агроэкосистем варьирует от 1,4 до 11% от $C_{\text{орг}}$, что вполне сопоставимо с данными, полученными нами на незагрязненной почве (8,7%). Однако в исследуемых загрязненных почвах расчетная доля лабильного углерода в общем пуле $C_{\text{орг}}$ достигала гораздо большей величины (14,2-23,3 % от $C_{\text{орг}}$). Увеличение лабильного пула может быть обусловлено активизацией микробиологических процессов, учитывая преимущественное микробное происхождение ПОВ (до 80% [18]). Косвенно о высокой оборачиваемости микробной биомассы в загрязненных почвах свидетельствуют относительные газообразные потери углерода, которые достигали (2,2-2,7, против 1,7% от $C_{\text{микр. сут}}$ в незагрязненной). Доказательством могут быть результаты наших исследований с использованием изотопа ^{15}N , проведенных на этих же почвах [13]. Показано, что в загрязненных почвах обновление

гумуса за счет новообразований выше (соответственно 5,3 и 3,5% от общего азота), чем в незагрязненной почве (2,8 %). Наряду с микробиологической составляющей, не исключено влияние физико-химических процессов при формировании пула лабильных органических веществ. Примером является деструкция органоминеральных компонентов и повышение доступности гумусовых веществ к минерализации в условиях моделирования загрязнения почв NaF [7].

ВЫВОДЫ

Таким образом, количественная оценка пулов углерода, основанная на использовании традиционного метода химического фракционирования, и их соотношение позволили выявить направленность трансформации гумусовых веществ агросерых почв под влиянием загрязнения. Независимо от его характера (ТМ и фториды), изменение гумусного состояния было связано с повышением содержания углерода в лабильном пуле (подвижные фракции) и снижением в стабильном. Негативные изменения в соотношении пулов свидетельствуют о нарушении стабильности системы гумусовых веществ загрязненных агросерых почв

лесостепи Прибайкалья. Поскольку преобладающая их часть характеризуется низким ресурсом гумуса, это существенно повышает риск деградации в условиях продолжающегося техногенного загрязнения. Рациональное использование загрязненных почв в земледелии региона требует проведения мероприятий по улучшению качественного состава гумуса, направленных на поддержание оптимального соотношения между лабильными и устойчивыми его компонентами (Спг:Смпг).

Исследования выполнены при финансовой поддержке грантов РФФИ (№ 03-04-49450-а, № 12-04-98054 р_сибирь_а, № 14-05-00735_а).

Авторы выражают благодарность профессору Л.В. Помазкиной за постановку и руководство исследованиями, а также сотрудникам лаборатории агроэкологии, принимавших участие в выполнении экспериментов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Беркин Н.С., Филиппова С.А., Бояркин В.М. Иркутская область (природные условия административных районов). Иркутск: Изд-во Иркутского ун-та, 1994. 218-229 с.
3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2012 году». Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2013. 337 с.
4. Дмитриев М.Т., Казнина Н.И., Пинигина И.А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде. Справочное издание. М.: Химия, 1989. 386 с.
5. Добровольский Г.В. Деградация почв – угроза глобального экологического кризиса // Век глобализации. 2008. № 2. С. 54-65.
6. Ковда В.А. Патология почв и охрана биосферы планеты (препринт). Пушино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1989. 35 с.
7. Кремленкова Н.П., Гапонюк Э.И. Изменение состава гумуса и ферментативной активности почв под влиянием фторида натрия // Почвоведение. 1984. № 11. С. 73-77.
8. Ларионова А.А., Золотарева Б.Н., Евдокимов И.В., Быховец С.С., Кузяков Я.В., Бюггер Ф. Идентификация лабильного и устойчивого пулов органического вещества в агросерой почве // Почвоведение. 2011. № 6. С. 685-698.
9. Мотузова Г.В. Загрязнение почв – наиболее опасный вид деградации экосистем // Мат. III Межд. Науч. конф. «Современные проблемы загрязнения почв». Москва, 24-28 мая. 2010. С. 10-12.
10. О выполнении работ по определению загрязнения почв: Письмо от 10.12.90 / Госкомприрода СССР. 1990. Приложение.
11. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Розанова М.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов // Почвоведение. 2004. № 8. С. 918 - 926.
12. Помазкина Л.В., Котова Л.Г., Лубнина Е.В. Биогеохимический мониторинг и оценка режимов функционирования агроэкосистем на техногенно загрязняемых почвах. Новосибирск: Наука. Сиб. изд. фирма РАН, 1999. 208 с.
13. Помазкина Л.В., Котова Л.Г., Лубнина Е.В., Зорина С.Ю., Лаврентьева А.С. Устойчивость агроэкосистем к техногенному загрязнению фторидами. Иркутск: ИГ СО РАН, 2004. 225 с.
14. Помазкина Л.В. Трансформация азота в составе гумусовых веществ серой лесной почвы лесостепи Байкальского региона // Агрохимия. 2010. № 2. С. 5 - 13.
15. Санитарные нормы допустимых концентраций химических веществ в почве САН ПиН 42-128-4433-87. М.: МЗСССР, 1987. С. 5-53.
16. Семенов В.М., Тулина А.С. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем // Агрохимия. 2011. № 12. С. 53-63.
17. Collins H.P., Elliott E.T., Paustian K., Bundy L.G., Dick W.A., Huggins D.R., Smucker A.J.M., Paul E.A. Soil carbon pools and fluxes in long-term corn belt agroecosystems // Soil Biol. Biochem. 2000. V. 32. № 2. P. 157-168.
18. Liang C., Cheng G., Wixon D.L., Balsler T.C. An Absorbing Markov Chain approach to understanding the microbial role in soil carbon stabilization // Biogeochem. 2011. V. 106. № 3. P. 303-309.

THE HUMUS STATUS IN THE AGROGREY SOIL OF THE BAIKAL FOREST -STEPPE SUBJECTED TO TECHNOGENIC CONTAMINATION

© 2014 S.Yu. Zorina, L.G. Sokolova, T.V. Zasukhina

Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Irkutsk

The ratio of labile and stable carbon pool was used for the estimation of a humus status of arable soils. It was found that regardless of nature of contamination (heavy metals and fluoride of aluminum production), the transformation of humus substance in the agrogrey soils was related to increase of carbon content in labile pool (mobile fractions). Consequently a risk of the humus loss was enhanced.

Key words: humus substance, labile and stable carbon pool, agrogrey soils, technogenic contamination, heavy metals, fluoride of aluminum production, the Baikal forest-steppe