

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ АКТИВНОГО ПУЛА ПОЧВЕННОГО ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА НА ПРИМЕРЕ ПОЧВ СЕВЕРО-КАВКАЗСКОГО РЕГИОНА

*Прохоров А.А.
РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева*

ASSESSMENT OF THE POSSIBILITY OF USING DIFFERENT METHODS TO DETERMINE THE ACTIVE SOIL ORGANIC CARBON POOL ON THE EXAMPLE OF THE SOILS OF THE NORTH CAUCASUS REGION

*A.A. Prokhorov
Russian State Agrarian University - Moscow Timiryazev Agricultural Academy*

В рамках работы был рассмотрен вопрос, связанный с возможностью использования фракции Permanganate oxidizable carbon в качестве индикатора характеризующего состояние активного пула углерода в агроландшафтах. В качестве альтернативы также были рассмотрены фракции: Readily oxidizable carbon, cold water carbon, hot water carbon, а также денситометрические фракции f.POM <1.6 г/см³ и Mineral >2.0 г/см³. Из полученных данных были установлены наиболее индикаторные показатели.

We studied how the Permanganate oxidizable carbon fraction as an indicator of the active carbon pool in agricultural landscapes was considered. The following fractions were also considered as alternatives: Readily oxidizable carbon, cold water carbon hot water carbon, and density fractions f.POM < 1.6 г/см³ and Mineral >2.0 г/см³. The most indicative indicators were established.

Ключевые слова: почвенное органическое вещество, фракционирование, гумусовое состояние почв

Keywords: soil organic matter, fractionation, humus state of soils

ВВЕДЕНИЕ

На сегодняшний день в нашей стране достаточно мало внимания уделяется оценке гумусового состояния почв. [2,6] Во многих исследованиях в области почвоведения и агрохимии один из наиболее распространенных методов количественного определения «гумуса» – бихроматное окисление, в то время как уже существует достаточно большое количество альтернативных подходов, более простых в своей реализации. [3,6-8] Возможность применения одного из таких подходов была рассмотрена в рамках данной работы.

Основная цель исследования – оценка возможностей применения различных методов фракционирования для оценки гумусового состояния почв в агроландшафтах. [7]

Методы, используемые в данной работе, охватывают одно из фундаментальных направлений в изучении почвенного углерода: функционирование с точки зрения разделения на лабильные и стабильные компоненты, учитывая подвижность различных фракций. [6]

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследований было выбрано несколько ключевых участков на территории Краснодарского края, представляющих собой типичные для данного региона агроландшафты с каждого, из которых были отобраны почвенные образцы с глубины 0-30 см для дальнейших лабораторных исследований, а также путем закладки разрезов и полуразрезов были описаны морфологические особенности местных почв. В качестве сравнения с фоновыми условиями, пробы также были отобраны по периметру полезащитных насаждений, всего по 10 проб на один участок (по 5 внутри контуров полей и по 5 по лесополосам)

Почвенный покров участка №1 представлен – чернозёмами типичными мощными и сверхмощными тяжелосуглинистыми и легкосуглинистыми на тяжелых карбонатных суглинках и легких глинах, почвенный покров участков №2,3 – представлен черноземами обыкновенными мощными и среднемощными тяжелосуглинистыми на тяжелых карбонатных суглинках и глинах.

Выделение физических фракций производилось путем гранулоденсиметрического фракционирования с использованием йодида калия ($\rho=1,60, 2,00 \pm 0,02$ г/см³) в качестве тяжелой жидкости. Методика была и модифицирована сотрудниками ИЦПЭИ РГАУ-МСХА за основу взят метод из работы [4,5]. В основе метода лежит сегментация фракций органического вещества по плотности.

Легкоокисляемый углерод - Readily oxidizable carbon (ROC) определяли путем мокрого озонения пробы в присутствии ($K_2Cr_2O_7: H_2SO_4$ (1.86) - 1:1, углерод водногидролизующих фракций cold water carbon, hot water carbon (CWC) и (HWC) в мг в соответствующих вытяжках [8] согласно ЦВ 3.01.17-01 «А», содержание Permanganate oxidizable carbon (POXC) устанавливали согласно методике предложенной в работе [7]. В основу

метода положена обработка почвы 0.02 н. р-ом $KMnO_4$, с последующим измерении оптической плотности раствора, (D) при этом последняя будет тем больше – чем меньше количество углерода было окислено за период экспозиции. В качестве модификации метода был использован более концентрированный раствор $CaCl_2$ для ускорения оседания коллоидов.

Все определения проводили в смешанном образце в трех повторностях, показатели принимали идентичными при $\rho=0.95$. В дальнейшем для проведения статистической обработки данных: проверки типа распределения, установления корреляционных зависимостей, а также применения метода principal component (PCA) и построения модели было использовано ПО «STATISTICA» 10.0

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

Данные, полученные в ходе лабораторно-практической части приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Распределение фракций углерода в исследуемых объектах

Точка	ROC < 0.25 мм (%)	ROC 1-0.25 мм (%)	POXC 1.0 мм (мг/кг)	HWC <1.0 мм (мг/кг)	CWC <1.0 мм (мг/кг)	f.POM <1.6 г/см ³ (%)	Mineral > 2.0 г/см ³ (%)
Участок-1 (A ^c) Чернозем типичный 0-30 см	4,4	3,9	896	181	34	0,23	88,9
	3,6	4,2	662	176	21	0,26	89,1
	3,2	3,7	659	91	*	*	86,4
	4,1	3,4	724	103	*	0,21	90,2
	4,7	3,8	770	209	106	0,19	91,3
Участок-1 (Л) Чернозем типичный 0-30 см	8,3	8,5	1338	302	126	0,96	87,1
	8,1	8,1	1252	121	42	1,56	88
	7,4	7,6	1566	79	36	1,64	84,7
	6,9	6,1	901	106	29	*	89,2
	7,6	7,3	1070	237	41	1,37	88,4
Участок-2 (A [*]) Чернозем обыкновенный 0-30 см	5,4	5,3	1124	112	27	*	89,9
	5,6	4,9	850	84	*	0,23	90,1
	4,9	4,2	906	72	35	0,19	91,2
	5,1	5,1	844	57	*	0,18	90,3
	5,8	4,6	825	139	41	0,27	88,7
Участок-2 (Л) Чернозем обыкновенный 0-30 см	8,0	6,4	1163	*	*	0,19	89,3
	7,3	5,0	1080	107	26	1,1	87,1
	7,1	5,3	1450	212	30	1,3	89,3
	6,9	6,2	1131	207	17	*	87,1
	8,3	5,4	1321	71	*	1,12	89,2
Участок-3 (A [*]) Чернозем обыкновенный 0-30 см	6,3	4,7	819	50	16	1,16	89,1
	7,1	5,1	712	74	23	0,21	90,3
	5,9	5,0	812	63	29	0,18	87,4
	6,5	4,7	564	*	34	*	91,2
	6,3	5,2	676	52	42	0,16	89,6
Участок-3 (Л) Чернозем обыкновенный 0-30 см	8,3	6,8	1194	112	*	*	89,6
	8,1	4,7	1122	98	*	1,3	85,4
	6,6	5,6	985	181	23	0,97	88,6
	7,5	4,2	1327	141	*	0,72	89,4
	6,9	5,3	1260	301	98	*	*

A^{}- предшественник кукуруза; A^c-предшественник сахарная свекла; Л-лесополоса; *-Не определяли

Для упрощения представления набора данных был применен метод главных компонент, построена модель и произведена замена переменных. Помимо этого, для каждой из исследуемых фракций была построена линейная зависимость с фракцией РОХС.

Величина массового содержания РОХС варьировала в диапазоне от 564 мг/кг до 1450 мг/кг, и в среднем составляет 11-18% от РОС. Фракции НWC и CWC характеризовались низкой воспроизводимостью. Вариация по содержанию данных фракций для одного образца внутри повторности в некоторых случаях составляла > 70% (от 37 до 249 мг/кг) для НWC и 80% для CWC (от 21 до 106 мг/кг).

Фракции РОХС достаточно хорошо коррелируют в линейной модели при $r^2=0.34$ с величиной содержания f.POM <1.6 г/см³, а также с величиной РОС при $r^2=0.47$

Не смотря на то, что данные достаточно сильно скоррелированы, следует отметить что фракция f.POM <1.6 г/см³ тут выступает как эквивалент легкоразлагаемого органического вещества (ЛОВ) [1] и фракция РОХС очень хорошо отражает изменчивость содержания ЛОВ в образцах, т.к. для проб отобранных в лесополосе в целом характерно большее содержание макроорганических веществ не связанных прочно с минеральной массой почвы. [1]

Построенная «РСА» модель включает в себя четыре компоненты охват дисперсии которых распределен следующим образом: 48.9% изменчивости данных приходится на p1, 22,6 % на p2, 10,9 % на p3 и 7,3 % на p4 количество компонент было установлено путем применения правила «сломанной трости».

В области определения модели переменная характеризующая содержание углерода фракции РОХС в большинстве случаев попадала в диапазон охвата данных переменной углерода фракции РОС <0.25, но в то же время совершенно не попадала в диапазон охвата данных по CWC и НWC что может свидетельствовать о том, что фракции CWC и НWC в основном охватывают и содержат в себе другую информацию, в большей степени связанную с более тонкими изменениями в системе почвенного органического вещества, что также не раз подтверждалась в работах других авторов [5], а перманганатый метод наряду с традиционным для нашей страны бихроматным может работать как альтернатива в рамках оценки гумусового состояния почв в агроландшафтах.

Данный вопрос требует проведения дальнейших исследований, в особенности определения зональных ограничений в использовании данного метода на территории нашей страны, однако, в рамках исследуемых объектов на территории Краснодарского края выявлено, что метод достаточно хорошо работает, а в силу хорошей воспроизводимости результатов, а также относительной простоты может быть использован для оценки свойств почв данной территории.

Активные фракции ($C_{[hwc]}$ и $C_{[cwc]}$) подтверждают высокий уровень реакции лабильных компонентов углеродной системы на изменения общего углерода в течение относительно короткого периода времени.

Интерпретируя результаты по взаимосвязи РОХС с другими фракциями по «РСА» а также исходя из линейных зависимостей, можно отметить, что, оксидиметрические фракции тесно связаны с легкой денсиметрической фракцией f.POM <1.6 г/см³, но в меньшей степени отражают динамику водногидролизумой части органического вещества. Таким образом, если рассматривать систему гумуса с точки зрения оптимизации режима органического вещества в агроландшафтах [2], то фракции РОС или бихроматные фракции включают в себя: более стабильные оксидиметрические и лабильные оксидиметрические, фракции РОХС – отражают динамику лабильных оксидиметрических компонент, фракции CWC и НWC – это часть лабильных фракций – обладающих наибольшей активностью за счет как их низкого содержания, так и низкого по продолжительности среднего времени прибывания в почве в рамках агроландшафта при смене растительных формаций.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При формировании агроландшафтов происходит качественное перераспределение углерода по функциональным пулам. Сокращается доля наиболее подвижных фракций (CWC, НWC, РОХС, f.POM <1.6 г/см³). Содержание углерода фракции РОХС в агропочвах в среднем по выборке составило 790 мг/кг в то время как для почв лесополос эта величина находилось на уровне 1211 мг/кг на всех исследуемых участках Углерод фракции РОХС сильно коррелирует с другими фракциями, в большей степени это выражено для f.POM < 1.6 г/см³ и РОС ($R^2 = 0,34$ и $0,47$) соответственно. После проведения замены переменных методом главных компонент были установлены вклады каждой компоненты в общий охват дисперсии. На основании данных описательной статистики, а также информации модели «РСА» были сделаны следующие выводы: распределение данных независимых наблюдений по выборке показателя «CWC» отлично от нормального, фракции CWC и НWC в целом являются достаточно изменчивыми и могут отражать тонкие изменения в системе ПОУ, что также не раз подтверждалось в исследованиях других авторов [5], однако данные показатели отличались низкой воспроизводимостью и достаточно высокой вариацией внутри повторностей по вариантам. (в пределах от 30 до 90%), в то время как фракция РОХС в значительной степени коррелирующая с f.POM <1.6 г/см³ и РОС ($R=0,68/0,75$) не характеризовалась корреляционной зависимостью с водногидролизумыми фракциями ($R=0,24/0,29$). Фракция РОХС по «РСА» модели достаточно хорошо описывала дисперсию по главным компонентам графически отмечалась сходная тенденция с фракциями РОС (бихроматным углеродом).

Данный метод в перспективе можно оптимизировать и применить в полевых условиях для оценки гумусового состояния почв, так как он отличается относительной простотой, экспрессностью,

воспроизводимостью, а также достаточно хорошо интерпретирует данные о гумусового состоянии, в частности, лабильной его части.

Также стоит отметить, что фракция РОХС – в рамках работы «Statistics Scoring Functions, and Regional Analysis of a Comprehensive Soil Health Database» (2012) была охарактеризована как лучший предиктор для модели оценки CAHS (complex assessment of soil health) и ее вариация хорошо описывали качественные перестройки в почвах при региональном анализе изменчивости свойств.

Литература

1. Борисов Б.А., Ганжара Н.Ф. Географические закономерности распределения и обновления легкоразлагаемого органического вещества целинных и пахотных почв зонального ряда Европейской части России // Почвоведение. 2008. № 9. С. 1071-1078.
2. Кирюшин В.И., Ганжара Н.Ф., Кауричев И.С., Орлов Д.С., Титлянова А.А., Фокин А.Д. Концепция оптимизации режима органического вещества почв в агроландшафтах. М.: Изд-во МСХА, 1993. 99 с.
3. Когут Б.М., Булкина Л.Ю. Сравнительная оценка воспроизводимости методов определения лабильных форм гумуса черноземов // Почвоведение. 1987. № 7. С. 38-45.
4. Фарходов Ю. Р., Ярославцева Н. В, Яшин М. А. [и др.] Выход денситметрических фракций из типичных черноземов разного землепользования // Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева. – 2020. – № 103. – С. 85-107. – DOI 10.19047/0136-1694-2020-103-85-107.
5. Akinsete S.J., Nortcliff S. (2014) Storage of Total and Labile Soil Carbon Fractions Under Different Land-Use Types: A Laboratory Incubation Study. In: Hartemink A., McSweeney K. (eds) Soil Carbon. Progress in Soil Science. Springer, Cham.
6. Alfred E. Hartemink , Martin H. Gerzabek , Rattan Lal , and Kevin Mc.Sweeney «Soil Carbon Research Priorities» // ISBN 978-3-319-04083-7; DOI 10.1007/978-3-319-04084-4 Springer Cham Heidelberg New York Dordrecht London/ 2014
7. Culman Steve at al ... (2012). Permanganate Oxidizable Carbon Reflects a Processed Soil Fraction that is Sensitive to Management. Soil Science Society of America Journal. 76. 494-504. 10.2136/sssaj.2011.0286.
8. Ghani, Anwar & Dexter, Moira & Perrott, Ken. (2003). Hot-Water Extractable Carbon in Soils: A Sensitive Measurement for Determining Impacts of Fertilisation, Grazing and Cultivation. Soil Biology and Biochemistry. 35. 1231-1243. 10.1016/S0038-0717(03)00186-X.
9. John, Bettina & Yamashita, Tamon & Ludwig, Bernard & Flessa, Heiner. (2005). Storage of Organic Carbon in Aggregate and Density Fractions of Silty Soils Under Different Types of Land Use. Geoderma. 128. 63-79. 10.1016/j.geoderma.2004.12.013.