УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2025-122-5-20

Ссылки для цитирования:
Хитров Н.Б. Представительность смешанных образцов для оценки содержания органического углерода в почве // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2025. Вып. 122. С. 5-20. DOI: 10.19047/0136-1694-2025-122-5-20

Cite this article as:
Khitrov N.B., Representativeness of mixed samples for evaluation of organic carbon in soil, Dokuchaev Soil Bulletin, 2025, V. 122, pp. 5-20, DOI: 10.19047/0136-1694-2025-122-5-20

Благодарность:
Автор благодарит старшего научного сотрудника Д.А. Вагунина, лаборанта-исследователя Н.А. Стрелкова, инженера-исследователя М.Е. Корнееву, инженера-технолога И.В. Жимаеву за полевой отбор образцов почв, инженера-технолога Е.О. Хохолеву за подготовку смешанных образцов для анализа, инженера-технолога И.О. Кортикову за выполнение определений содержания гумуса по методу Тюрина и органического углерода на анализаторе Метавак CS-30, заместителя директора по науке ВНИИМЗ, кандидата биологических наук Ю.Д. Смирнову за организационную поддержку выполненной работы.

Acknowledgments:
The author would like to thank D.A. Vagunin (Senior Researcher), N.A. Strelkov (Laboratory Researcher), M.E. Korneeva (Research Engineer), I.V. Zhimaeva (Research Engineer) – for field soil sampling; E.O. Khokholeva (Research Engineer) – for preparation of mixed samples for analyses; I.O. Kortikova – for determinations of humus content by the Tyurin method and of organic carbon on a Metavak CS-30 analyser; deputy director for science of VNIIMZ, Ph.D. in Biology, Y.D. Smirnova – for organisational support of the work performed.

Представительность смешанных образцов для оценки содержания органического углерода в почве

© 2025 г. Н. Б. Хитров

ФИЦ "Почвенный институт им. В.В. Докучаева", Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
https://orcid.org/0000-0001-5151-5109, e-mail: khitrovnb@gmail.com.

Поступила в редакцию 09.01.2024, *после доработки* 26.03.2024,
принята к публикации 18.02.2025

Резюме: Цель – решение методической задачи оценки варьирования значений содержания органического углерода ($C_{орг}$) в слое 0–20 см на основе 10-кратного независимого отбора смешанных образцов с одного и того же участка в течение одного дня. Отбор выполнен на 4 полях площадью от 6 до 16 га (Тверская обл.). Почвенный покров представлен пятнистостями агродерново-подзолистых слабоглееватых супесчано-суглинистых почв на двучленных отложениях (супесь на суглинистой морене) и агродерново-подзолов иллювиально-железистых супесчано-песчаных на песках, подстилаемых с глубины 80–150 см суглинистой мореной. Установлено, что варьирование содержания $C_{орг}$ в смешанных образцах отражает пространственную составляющую, которая иногда сопоставима, а чаще существенно выше аналитической воспроизводимости лабораторных методов определения показателя (метод Тюрина и метод сухого сжигания). Для сравнения единичных измерений $C_{орг}$ в смешанных образцах, полученных в разное время или на разных полях, использование даже полного доверительного диапазона, основанного на межлабораторной воспроизводимости метода определения, оказывается неоправданно заниженной оценкой. Для ведения мониторинга содержания $C_{орг}$ в почвах обязательна оценка пространственного варьирования показателя даже при отборе смешанных образцов.

Ключевые слова: пространственное варьирование; аналитическая воспроизводимость; метод Тюрина; метод сухого сжигания; мониторинг органического углерода почвы.

Representativeness of mixed samples for evaluation of organic carbon in soil

© 2025 N. B. Khitrov

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute",
7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
https://orcid.org/0000-0001-5151-5109, e-mail: khitrovnb@gmail.com.

Received 09.01.2024, *Revised* 26.03.2024, *Accepted* 18.02.2025

Abstract: The aim to solve the methodological problem of assessing variability of soil organic carbon content (C_{org}) in layer 0–20 cm based on 10-fold independent mixed sampling from the same field during one day. The soil sampling was carried out on 4 fields ranging from 6 to 16 hectares (Tver region). The soil cover pattern is represented by patches of agrosod-podzolic gleyic sandy loam and loam soils (Albic Retisols (Aric, Loamic)) developed from binary deposits and agrosod-podzols (Albic Podzols (Aric, Arenic)) developed from sands underlying loamy moraine from the depth 80–150 cm. It has been established that the variation in C_{org} content in mixed samples reflects the spatial component that is sometimes comparable to, but more often significantly higher than analytical reproducibility of laboratory methods for determination C_{org} (Turin method and dry combustion method). To compare single measurements of C_{org} in mixed samples obtained at different time periods or from different fields, the use of even the full confidence range based on the interlaboratory reproducibility of the determination method turns out to be an unreasonably low estimate. To conduct monitoring of C_{org} content, it is necessary to assess the spatial variation of the indicator, even when selecting mixed samples.

Keywords: spatial variability; analytical reproducibility; Turin method; dry combustion method; monitoring of soil organic carbon.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Считается, что отбор смешанного образца из 20–40 индивидуальных точек с участка позволяет получать величину измеряемого свойства, близкую к среднему значению по участку. На этом основан отбор образцов почв при агрохимическом обследовании полей (Методические указания по проведению комплексного мониторинга…, 2003), при ведении мониторинга на реперных участках Агрохимической службы России (Методические указания по проведению локального мониторинга…, 2006), при проведении полевых агрохимических опытов (Доспехов, 1985). Ни в одном из указанных руководств не приводятся оценки стандартной ошибки для величины измеряемого свойства, принимаемой за среднее по участку. В условиях полевых агрохимических опытов таким способом теоретически уменьшают пространственное варьирование изучаемого свойства, требуя обязательной пространственной повторности экспериментальных делянок, располагаемых рандомизированно (Доспехов, 1985). Повторности необходимы для вы-

полнения дисперсионного анализа и получения наименьшей существенной разности. Размер опытных делянок редко превышает несколько десятков или сотен квадратных метров (сотые доли гектара), а пространственная повторность опыта обычно равна трем или четырем. При агрохимическом обследовании размеры элементарных участков, в пределах которых отбирают один смешанный образец, составляют от 2 до 10 га. Пространственной повторности в этом случае не предусмотрено (Методика отбора почвенных проб по элементарным участкам поля…, 2007).

Задача мониторинга содержания и запасов органического углерода в почвах сельскохозяйственных угодий предполагает сравнение средних значений показателя в два срока наблюдений. Для ее решения необходима информация о среднеквадратических отклонениях распределений показателя в оба срока. По этой причине была поставлена методическая задача оценки варьирования значений содержания органического углерода ($C_{орг}$) в слое 0–20 см, полученных при 10-кратном независимом отборе смешанных образцов с одного и того же участка в течение одного дня.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Объектами исследования были четыре поля на территории землепользования ВНИИМЗ (Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФИЦ “Почвенный институт им. В.В. Докучаева”), расположенной между пос. Эммаусс и Губино Тверского р-на Тверской обл. (рис. 1). Поле 1 – многолетние травы с 2012 г., применялись минеральные удобрения; площадь 8.6 га. Поле 2 – посев козлятника 2003 г., осенью 2022 г. участок перепахан и подготовлен к посеву многолетних трав; площадь 5.9 га. Поле 3 – в 2016–2021 гг. участок не обрабатывался (залежь); в сентябре 2021 г. проведена зяблевая вспашка на глубину 25 см; в III декаде мая 2022 г. проведено дискование, а во II декаде июня – культивация; посев озимой пшеницы произведен 15.09.2022; площадь участка 16.6 га. Поле 4 – зернопропашной севооборот, применялись минеральные и органические удобрения; в момент отбора образцов на поле не было растительности, подготовлено к посеву; площадь участка 9.2 га.

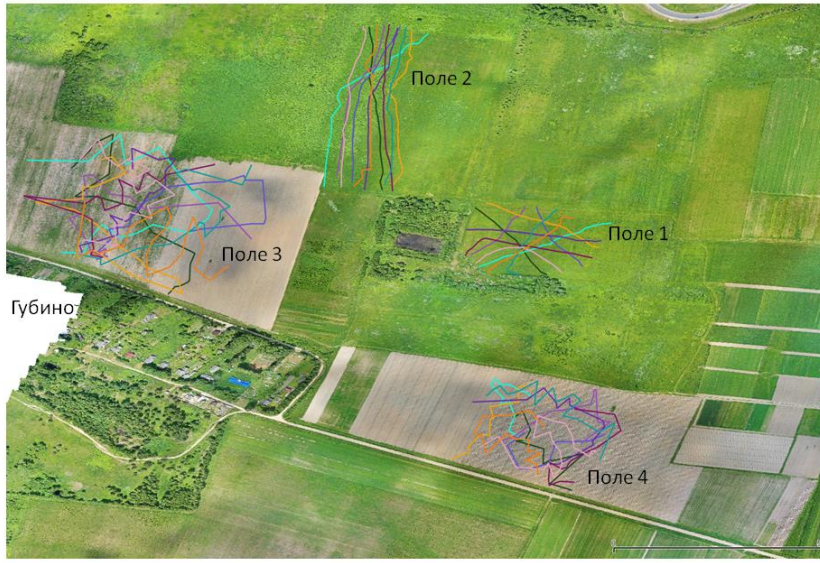

Рис. 1. Маршруты отбора смешанных образцов почв из слоя 0–20 см на четырех полях на территории ВНИИМЗ. На каждом поле 10 треков обозначены разным цветом. Основа – синтезированный снимок с беспилотного аппарата, полученный в 2021 г.
Fig. 1. Routes of mixed soil sampling (0–20 cm layer) from four fields on the territory of VNIIMZ. On each field 10 tracks are marked with different colours. The basis is a synthesised image from an unmanned aerial vehicle obtained in 2021.

Почвенный покров полей представлен пятнистостями агродерново-подзолистых слабоглееватых супесчано-суглинистых почв на двучленных отложениях (супесь на суглинистой морене) и агродерново-подзолов иллювиально-железистых супесчано-песчаных на песках, подстилаемых с глубины 80–150 см суглинистой мореной. Смена почв происходит на малых расстояниях (10–20 м) в связи с варьированием глубины верхней границы морены.

Методика. Отбор 10 независимых смешанных образцов, каждый из которых включал 20 уколов тростевым буром до глубины 20 см, был произведен 24 апреля 2023 г. в течение одного

дня на каждом из четырех полей двумя бригадами сотрудников ВНИИМЗ. Положение каждой точки отбора фиксировали приемниками GPS-ГЛОНАСС. Треки всех 40 маршрутов отбора представлены на рисунке 1.

Смешанные образцы готовили в лаборатории. Из них отбирали пробы для определения органического углерода методом Тюрина и сухим сжиганием на анализаторе Метавак CS-30.

Статистическая обработка данных выполнена в Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты всех определений и общая статистика представлены в таблицах 1–3.

Большинство выборок могут быть аппроксимированы нормальным распределением по критерию Уилка–Шапиро. Исключением является содержание $C_{орг}$, полученное сухим сжиганием на Метавак CS-30, для смешанных образцов, взятых на поле 2. Объяснить такое исключение сложно, учитывая, что содержание $C_{орг}$, определенное методом Тюрина, на этом же поле имеет нормальное распределение.

Самое высокое содержание гумуса по методу Тюрина и $C_{орг}$, определенного двумя методами, характерно для поля 1 с постоянным покровом многолетних трав в течение 10 лет. Самое низкое значение указанных показателей отмечено для пахотного горизонта полей 3 и 4. Статистически поля 3 и 4 не отличаются друг от друга, но значимо отличаются от поля 2 и особенно поля 1. Поле 2, на котором в течение 18 лет рос козлятник, через год после распашки и подготовки к новому посеву многолетних трав имеет промежуточные значения трех показателей, которые ближе к полям 3 и 4.

Обращает внимание величина размаха значений показателей в смешанных образцах – от 0.5 до 1.6% (абсолютных) содержания гумуса и от 0.28 до 0.93% (абсолютных) содержания $C_{орг}$. Уже этого факта достаточно, чтобы сделать заключение о невозможности получения оценки среднего значения для поля на основе анализа одного смешанного образца.

Таблица 1. Содержание гумуса (метод Тюрина) в отдельных смешанных образцах и общая статистика по каждому полю
Table 1. Humus content (Tyurin method) in individual mixed samples and overall statistics for each field

Показатель	Содержание гумуса, %			
	поле 1	поле 2	поле 3	поле 4
Отдельные смешанные образцы				
маршрут 1	3.30	2.61	1.49	1.49
маршрут 2	4.05	1.71	1.44	1.49
маршрут 3	2.88	1.76	1.81	1.65
маршрут 4	3.20	1.76	1.65	1.28
маршрут 5	3.20	1.92	1.60	1.49
маршрут 6	3.62	1.49	1.49	1.76
маршрут 7	2.88	1.97	1.12	1.65
маршрут 8	2.45	2.08	1.76	1.44
маршрут 9	4.05	1.71	1.33	1.49
маршрут 10	2.45	1.71	1.97	1.55
Общая статистика				
n	10	10	10	10
минимум	2.45	1.49	1.12	1.28
Q1	2.88	1.71	1.45	1.49
медиана	3.20	1.76	1.55	1.49
Q3	3.54	1.96	1.73	1.63
максимум	4.05	2.61	1.97	1.76
среднее	3.21	1.87	1.57	1.53
s	0.57	0.31	0.25	0.13
A	0.24	1.63	-0.15	-0.03
E	-0.88	3.55	0.01	0.68
$W_{факт}$	0.925	0.842	0.99	0.937
$W_{0.05, n}$	0.842	0.842	0.842	0.842
распределение	нормальное	нормальное	нормальное	нормальное
V, %	17.9	16.4	15.7	8.7
размах	1.60	1.12	0.85	0.48

Примечание. (здесь и в табл. 2, 3): маршрут 1 … маршрут 10 – значение показателя в смешанном образце по маршруту 1 … 10 на каждом поле; n – объем выборки; минимум, максимум, медиана, среднее – минимальное, максимальное, медианное и среднее значения соответственно; Q1, Q3 – нижний и верхний квартили соответственно; s – среднеквадратическое

отклонение; A – асимметрия; E – эксцесс; $W_{факт}$, $W_{0.05, n}$ – фактический и теоретический критерии Уилка–Шапиро; распределение – оценка статистического распределения по критерию Уилка-Шапиро; V – коэффициент вариации; размах = максимум - минимум.

Note. (Here and after in tables 2, 3): route 1 ... route 10 – value of indicator in mixed sample by route 1 ... 10 on each field; n – sample volume; minimum, maximum, median, mean – minimum, maximum, median and mean values, respectively; Q1, Q3 – lower and upper quartiles, respectively; s – standard deviation; A – skewness; E – excess; $W_{факт}$, $W_{0.05, n}$ – actual and theoretical Wilk–Shapiro criteria; distribution – estimation of statistical distribution by the Wilk–Shapiro criterion; V – coefficient of variation; spread = maximum - minimum.

Коэффициент вариации значений показателей в смешанных образцах изменяется от 9 до 18%, наименьший – на пашне на полях 3 и 4, наибольший – на поле 1 с многолетними травами. Абсолютное среднеквадратическое отклонение зависит от метода: наименьшее для $C_{орг}$, определенном на Метавак, от 0.09 до 0.27%, чуть выше для $C_{орг}$, определенном методом Тюрина, 0.08-0.33%. Значения абсолютного среднеквадратического отклонения содержания гумуса в 1.724 раза выше, чем для $C_{орг}$ по Тюрину – от 0.13 до 0.57%.

Напомним, результаты оценки воспроизводимости определения $C_{орг}$ методом сухого сжигания, полученные при аттестации 10 стандартных образцов почв СССР в 9 лабораториях (Аналитическое обеспечение мониторинга…, 1993). Внутрилабораторное абсолютное среднеквадратическое отклонение изменяется чаще всего в интервале 0.02–0.05% с минимумом 0.005 и максимумом 0.087% при содержании $C_{орг}$ <2%. При содержании $C_{орг}$ от 2 до 4% эта характеристика немного увеличивается: наиболее часто в интервале 0.03–0.06% с минимумом 0.016 и максимумом 0.114%. Межлабораторные абсолютные среднеквадратические отклонения содержания $C_{орг}$ больше. Они равны чаще 0.06–0.12, редко увеличиваясь до 0.21% (Аналитическое обеспечение мониторинга…, 1993).

Таблица 2. Содержание органического углерода (метод Тюрина) в отдельных смешанных образцах и общая статистика по каждому полю
Table 2. Organic carbon content (Tyurin method) in individual mixed samples and overall statistics for each field

Показатель	Содержание $C_{орг}$ (метод Тюрина), %			
	поле 1	поле 2	поле 3	поле 4
Отдельные смешанные образцы				
маршрут 1	1.91	1.51	0.86	0.86
маршрут 2	2.35	0.99	0.84	0.86
маршрут 3	1.67	1.02	1.05	0.96
маршрут 4	1.86	1.02	0.96	0.74
маршрут 5	1.86	1.11	0.93	0.86
маршрут 6	2.10	0.86	0.86	1.02
маршрут 7	1.67	1.14	0.65	0.96
маршрут 8	1.42	1.21	1.02	0.84
маршрут 9	2.35	0.99	0.77	0.86
маршрут 10	1.42	0.99	1.14	0.90
Общая статистика				
n	10	10	10	10
минимум	1.42	0.86	0.65	0.74
Q1	1.67	0.99	0.85	0.86
медиана	1.86	1.02	0.9	0.86
Q3	2.05	1.13	1.01	0.95
максимум	2.35	1.51	1.14	1.02
среднее	1.86	1.08	0.91	0.89
s	0.33	0.18	0.14	0.08
A	0.23	1.60	-0.16	-0.02
E	-0.87	3.44	-0.03	0.55
$W_{факт}$	0.924	0.847	0.988	0.929
$W_{0.05, n}$	0.842	0.842	0.842	0.842
распределение	нормальное	нормальное	нормальное	нормальное
V, %	17.9	16.5	15.7	8.8
размах	0.93	0.65	0.49	0.28

Таблица 3. Содержание органического углерода (Метавак) в отдельных смешанных образцах и общая статистика по каждому полю
Table 3. Organic carbon content (Metavac) in individual mixed samples and overall statistics for each field

Показатель	Содержание $C_{орг}$ (Метавак), %			
	поле 1	поле 2	поле 3	поле 4
Отдельные смешанные образцы				
маршрут 1	1.98	1.63	0.86	0.87
маршрут 2	2.50	1.08	0.98	0.81
маршрут 3	1.86	1.12	1.06	1.05
маршрут 4	2.16	1.19	1.04	0.83
маршрут 5	1.85	1.15	0.95	0.77
маршрут 6	2.20	1.21	0.92	0.96
маршрут 7	1.87	1.20	0.76	0.93
маршрут 8	1.70	1.49	0.96	0.76
маршрут 9	2.24	1.12	0.86	0.96
маршрут 10	1.61	1.18	1.03	0.89
Общая статистика				
n	10	10	10	10
минимум	1.61	1.08	0.76	0.76
Q1	1.85	1.13	0.88	0.82
медиана	1.93	1.19	0.96	0.88
Q3	2.19	1.21	1.02	0.95
максимум	2.50	1.63	1.06	1.05
среднее	2.00	1.24	0.94	0.88
s	0.27	0.18	0.09	0.09
A	0.42	1.69	-0.63	0.31
E	-0.41	1.95	-0.11	-0.64
$W_{факт}$	0.959	0.751	0.947	0.961
$W_{0.05, n}$	0.842	0.842	0.842	0.842
распределение	нормальное	другое	нормальное	нормальное
V, %	13.7	14.4	10	10.6
размах	0.89	0.55	0.3	0.29

Аналогичные оценки для метода Тюрина были систематизированы в обзоре (Хитров и др., 2023) на основе литературных сведений (Внутрилабораторный контроль…, 1984; ГОСТ 26213-21). Абсолютное среднеквадратическое отклонение содержания гумуса по методу Тюрина в варианте ГОСТ 26213 увеличивается от 0.07% при содержании гумуса 1% до 0.24% при содержании гумуса 4%, для величины $C_{орг}$ значения меньше в 1.724 раза, т. е. от 0.04 до 0.16% соответственно.

На рисунке 2 графически сопоставлены фактические характеристики варьирования значений $C_{орг}$ в смешанных образцах с воспроизводимостью методов. Для сравнения выбраны координаты: среднее значение, среднеквадратическое отклонение.

На поле 4 с зернопропашным севооборотом и на поле 3 с посевом озимой пшеницы после распашки залежи варьирование содержания органического углерода в серии смешанных образцов, отобранных с одного поля в один день, используя разные маршруты отбора, сопоставимо с аналитической межлабораторной воспроизводимостью метода Тюрина (рис. 2a, 2b). Для этих полей характерно наиболее низкое содержание $C_{орг}$ около 1%. Вместе с тем метод сухого сжигания имеет более низкие значения погрешностей. В результате при его использовании полученные характеристики варьирования $C_{орг}$ на исследованных полях оказались больше, чем воспроизводимость метода.

На полях 1 и 2, на которых длительное время выращивали многолетние травы, варьирование значений $C_{орг}$ в смешанных образцах существенно выше аналитической воспроизводимости показателя, определяемого обоими методами. Это проявляется как по абсолютному значению среднеквадратического отклонения, так и по коэффициенту вариации. Иными словами, посев многолетних трав создает более высокий уровень пространственного варьирования $C_{орг}$, который не удается уменьшить даже независимым отбором 10 смешанных образцов с одного и того же поля в течение одного дня.

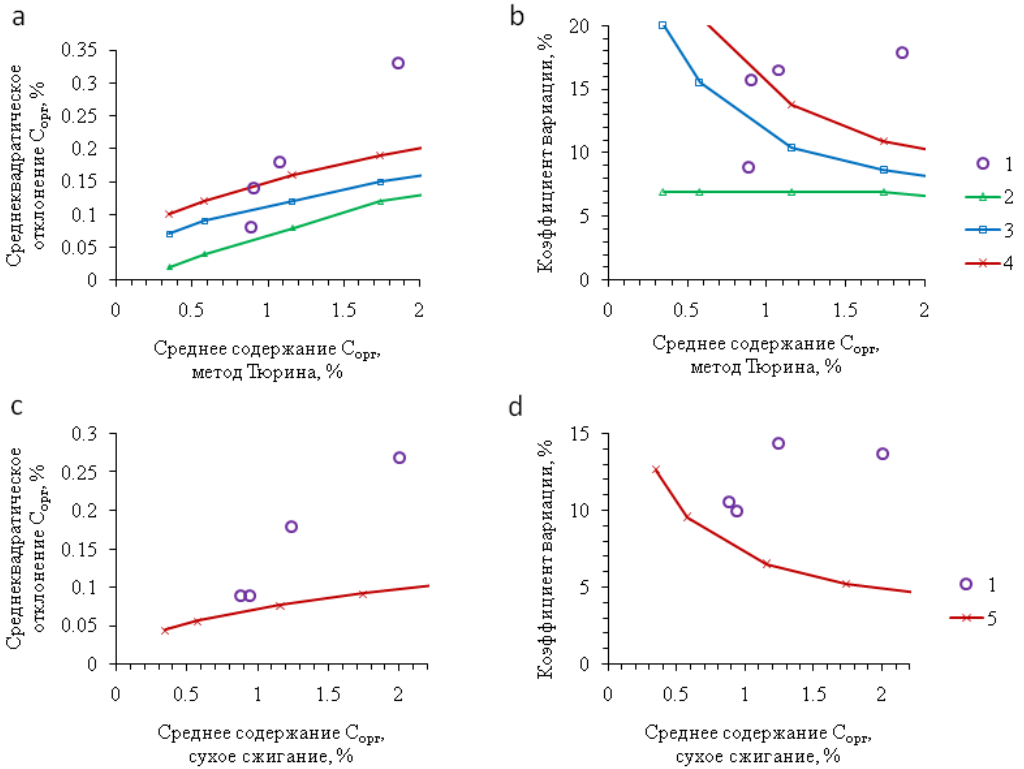
a
Среднеквадратическое отклонение $C_{орг}$, %
Среднее содержание $C_{орг}$, метод Тюрина, %
b
Коэффициент вариации, %
Среднее содержание $C_{орг}$, метод Тюрина, %
1
2
3
4
c
Среднеквадратическое отклонение $C_{орг}$, %
Среднее содержание $C_{орг}$, сухое сжигание, %
d
Коэффициент вариации, %
Среднее содержание $C_{орг}$, сухое сжигание, %
1
5

Рис. 2. Графическое сравнение варьирования содержания $C_{орг}$ в слое 0–20 см почв в выборках смешанных образцов (n=10), отобранных в один день, с метрологическими характеристиками метода Тюрина и сухого сжигания на Метавак. Обозначения: **a**, **c** – среднеквадратическое отклонение; **b**, **d** – коэффициент вариации; **1** – экспериментальные данные для 4 полей; **2** – характеристика варьирования определения $C_{орг}$ по ГОСТ 26213-21; **3**, **4** – внутрилабораторная (**3**) и межлабораторная (4) воспроизводимость метода Тюрина в 1970–90-х гг. (Внутрилабораторный контроль…, 1984); **5** – межлабораторная характеристика воспроизводимости метода сухого сжигания (Аналитическое обеспечение…, 1993).
Fig. 2. Graphical comparison of variation of C_{org} content in the 0–20 cm layer of soils in statistical samples of mixed soil samples (n=10), collected on the same day, with metrological characteristics of the Tyurin method and dry combustion on Metavac. Denotations: **a**, **c** – standard deviation; **b**, **d** – coefficient of variation; **1** – experimental data for 4 fields; **2** – characteristic of variation of C_{org} determination according to GOST 26213-21; **3**, **4** – intralaboratory (**3**) and interlaboratory (**4**) reproducibility of the Tyurin method in the 1970–90s (Intralaboratory control..., 1984); **5** – interlaboratory characteristic of reproducibility of the dry combustion method (Analytical support..., 1993).

Следовательно, на полях постоянных севооборотов можно в первом приближении допустить использование межлабораторной аналитической воспроизводимости определения $C_{орг}$ по методу Тюрина в качестве оценки варьирования для единичного измерения содержания в смешанном образце с поля. При этом доверительными границами для этого среднего будет интервал ±3s, где s – абсолютное среднеквадратическое отклонение, характеризующее межлабораторную воспроизводимость метода Тюрина. В абсолютном выражении этот интервал для дерново-подзолистых почв изменяется от ±0.3% до ±0.6% в зависимости от содержания $C_{орг}$. Переход на метод сухого сжигания, имеющий более высокую воспроизводимость, приведет к необходимости специально оценивать пространственное варьирование $C_{орг}$ на поле при отборе смешанных образцов.

На полях с многолетними травами пространственное варьирование $C_{орг}$ смешанных образцов с одного поля намного больше

аналитической воспроизводимости не только метода сухого сжигания, но и метода Тюрина. Это означает, что для единичного значения $C_{орг}$ в смешанном образце с участка 2–10 га доверительный интервал оказывается больше, чем полный доверительный интервал, рассчитанный по метрологическим характеристикам аналитического метода определения показателя.

ВЫВОДЫ

1. Оценка среднего значения $C_{орг}$ для участка площадью 6–16 га на основе отбора одного смешанного образца, составленного из 20 отдельных уколов тростевым буром, имеет высокую неопределенность. Размах диапазона возможных значений изменяется от 0.3 до 0.9% (абсолютных) при содержании $C_{орг}$ от 0.8 до 2.5%. Для содержания гумуса все указанные величины в 1.724 раза больше.

2. На полях с севооборотами абсолютное среднеквадратическое отклонение содержания $C_{орг}$ в смешанных образцах, отобранных с одного поля в один день, используя разные маршруты отбора, сопоставимо с аналитической воспроизводимостью метода Тюрина определения значений показателя, но больше, по сравнению с воспроизводимостью метода сухого сжигания.

3. На полях с многолетними травами варьирование содержания $C_{орг}$ в смешанных образцах отражает пространственную составляющую, которая существенно выше аналитической воспроизводимости обоих лабораторных методов. Поэтому для сравнения единичных измерений $C_{орг}$ в смешанных образцах с таких полей использование даже полного доверительного диапазона, основанного на межлабораторной воспроизводимости метода определения, оказывается неоправданно заниженной оценкой. Для ведения мониторинга обязательна оценка пространственного варьирования показателя даже при отборе смешанных образцов.

4. Поле с 10-летним возделыванием многолетних трав отличается наибольшими значениями среднего арифметического, абсолютного среднеквадратического отклонения и коэффициента вариации содержания гумуса и $C_{орг}$ в слое 0–20 см, значимо отличающимися от таковых для почв пашни.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитическое обеспечение мониторинга гумусового состояния почв: Методические рекомендации. М.: Россельхозакадемия, Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1993. 73 с.
2. Внутрилабораторный контроль воспроизводимости результатов анализа почвенно-агрохимических объектов. Методические рекомендации. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 1984. 23 с.
3. ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества.
4. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
5. Методика отбора почвенных проб по элементарным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. Составители: *В.Г. Сычев, Р.А. Афанасьев, Г.И. Личман, М.Н. Марченко*. М.: ВНИИА, 2007. 36 с.
6. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / Под ред. *Л.М. Державина, Д.С. Булгакова*. М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2003. 240 с.
7. Методические указания по проведению локального мониторинга на реперных и контрольных участках. Составители: *В.Г. Сычев, А.В. Кузнецов, А.В. Павлихина, Л.К. Кручинина, Н.В. Васильева, Н.В. Лобас*. М.: ФГНУ "Росинформагротех", 2006. 76 с.
8. *Хитров Н.Б., Никитин Д.А., Иванова Е.А., Семенов М.В.* Пространственно-временная изменчивость содержания и запасов органического вещества почвы: аналитический обзор // Почвоведение. 2023. № 12. С. 1493–1521. DOI: https://doi.org/10.31857/S0032180X23600841.

REFERENCES

1. *Analiticheskoe obespechenie monitoringa gumusovogo sostojanija pochv: Metodicheskie rekomendacii* (Analytical support for monitoring the humus status of soils: Methodological recommendations), Moscow: Rosselkhozakademia, Dokuchaev Soil Science Institute, 1993, 73 p.
2. *Vnutrilaboratornyj kontrol' vosproizvodimosti rezul'tatov analiza pochvenno-agrohimicheskih ob'ektov. Metodicheskie rekomendacii* (In-laboratory control of the reproducibility of the results of the analysis of soil and agrochemical objects, Guidelines), Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 1984, 23 p.

3. GOST 26213-2021. Soils. Methods for determining organic matter.
4. Dospekhov B.A., *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoj obrabotki rezul'tatov issledovanij)* (Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)), Moscow: Agropromizdat, 1985, 351 p.
5. *Metodika otbora pochvennyh prob po jelementarnym uchastkam polja v celjah differencirovannogo primenenija udobrenij* (Methodology for collecting soil samples in elementary areas of the field for the purpose of differentiated application of fertilizers) / Compiled by: V.G. Sychev, R.A. Afanasyev, G.I. Leachman, M.N. Marchenko, Moscow: VNIIA, 2007, 36 p.
6. *Metodicheskie ukazanija po provedeniju kompleksnogo monitoringa plodorodija pochv zemel' sel'skohozjajstvennogo naznachenija* (Guidelines for conducting comprehensive monitoring of soil fertility on agricultural lands) / Ed. L.M. Derzhavina, D.S. Bulgakov, Moscow: FGNU “Rosinformagrotekh”, 2003, 240 p.
7. (Guidelines for conducting local monitoring at reference and control sites) / Compiled by: V.G. Sychev, A.V. Kuznetsov, A.V. Pavlikhina, L.K. Kruchinina, N.V. Vasilyeva, N.V. Lobas. Moscow: FGNU “Rosinformagrotekh”, 2006, 76 p.
8. Khitrov N.B., Nikitin D.A., Ivanova E.A., Semenov M.V., Variability of the content and stock of soil organic matter in time and space: an analytical review, *Eurasian Soil Science*, 2023, Vol. 56, No. 12, pp. 1819–1844, DOI: https://doi.org/10.1134/S106422932360207X.