DOI: 10.21513/0207-2564-2020-3-133-148 УДК 001.57: 631.417.1

В ПОМОЩЬ К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МОДЕЛИ ROTHC В РОССИИ: МЕТОДИКА ПОДГОТОВКИ ВХОДНОЙ ИНФОРМАЦИИ

О.Э. Суховеева

Институт географии РАН,
Россия, 119017, Москва, Старомонетный пер., 29;
* адрес для переписки: *olgasukhoveeva@gmail.com*

Реферат. Разработана методика подготовки входных данных для модели RothC с целью оценки потерь органического углерода из пахотных почв Европейской территории России, в том числе систематизированы рекомендуемые источники информации. Описана последовательность расчета количества углерода растительной биомассы, попадающего в почву с послеуборочными остатками. Предлагается определять его ежемесячное поступление в геометрической прогрессии от месяца посева до месяца уборки в зависимости от продолжительности сезона вегетации. Обосновано введение промежуточных значений коэффициента удержания углерода растительным покровом (0.7; 0.8; 0.9) в первые месяцы после посева, поскольку по мере роста культур площадь листовой поверхности увеличивается постепенно. В качестве примера апробации разработанной методики приведен расчет потерь органического углерода из пахотных черноземов под четырьмя сельскохозяйственными культурами в Курской области. По результатам моделирования определено, что за 1990-2018 гг. запасы органического углерода в почве уменьшались со средней скоростью 342±54 кг С га$^{-1}$ год$^{-1}$, с диапазоном от 289 кг С га$^{-1}$ год$^{-1}$ в агроценозах озимой пшеницы до 407 кг С га$^{-1}$ год$^{-1}$ под картофелем. Отмечено, что результаты модели RothC климатообусловлены, и ежегодные значения потерь органического углерода для всех культур синхронно изменяются от года к году.

Ключевые слова. Процессно-ориентированные модели, цикл углерода, выщелоченный чернозем, Курская область.

Введение

RothC-26.3 (Rothamsted Long Term Field Experiments Carbon Model, Углеродная модель Ротамстедского длительного полевого опыта, версия 26.3) – модель круговорота органического углерода ($C_{орг}$) в верхних слоях автоморфных почв, которая учитывает влияние типа почвы, температуры, влажности и растительного покрова на обменные процессы (Jenkinson et al., 1987). Модель рассчитывает изменения почвенного $C_{орг}$, микробной биомассы, а также эмиссию CO_2 из почвы. Она может быть использована в широком диапазоне климатических зон и условий окружающей среды. RothC позволяет использовать два типа моделирования: прямое, когда известные входные параметры используются для расчета динамики запаса $C_{орг}$, и обратное, когда входные параметры рассчитываются исходя из известных изменений органического вещества в почве.

Среди недостатков модели можно назвать использование месячного временного интервала, что не позволяет оценить суточную динамику выходных переменных, а также тот факт, что RothC не учитывает воздействие обработки почвы, которая может достаточно сильно влиять на почвенное дыхание и динамику $C_{орг}$ (Fiedler et al., 2015).

Изначально модель разрабатывалась для пахотных почв Ротамстедского длительного полевого опыта, откуда и получила свое название. Позже она была параметризирована для лесных и луговых экосистем на различных типах почв и в различных типах климата. RothC может быть использована для подпочвенных горизонтов, вулканических, тундровых и таежных почв, но не может применяться для гидроморфных почв (Coleman, Jenkinson, 2014). Она была с успехом использована практически по всему миру для прогноза и оценки изменений запасов $C_{орг}$ в пахотных почвах: в США и Австралии (Coleman et al., 1997), Западной (Zimmermann et al., 2007; van Wesemael et al., 2010) и Восточной (Barancikova et al., 2010) Европе, Азии (Afzali et al., 2019), а также в России (Романенков, 2011; Романовская, 2008).

Например, RothC была применена в Великобритании на национальном уровне для разработки интегрированной системы между моделью и базой данных для оценки динамики запасов углерода в минеральных почвах, вызванной изменениями климата, землепользования и земледелия (Faloon et al., 2006). Она использовалась для анализа изменения запасов $C_{орг}$ в полевых экспериментах при замене системы вспашки с традиционной на безотвальную (Molina et al., 2017), и при лесовосстановлении на залежных землях после возделывания зерновых культур (Segura et al., 2016). Также модель применялась в теоретических экспериментах для оценки того, как запасы углерода в минеральных почвах агроландшафтов будут изменяться при различных сельскохозяйственных практиках и климатических сценариях в России в будущем (Smith et al., 2007).

Согласно структуре модели RothC, $C_{орг}$ в почве разделяется на четыре активных пула (части) (рис. 1): разлагаемый растительный материал (Decomposable Plant Material, DPM), устойчивый растительный материал (Resistant Plant Material, RPM), микробная биомасса (Microbial Biomass, BIO) и гумифицированное органическое вещество (Humified Organic Matter, HUM), каждая из которых характеризуется собственной скоростью разложения. Небольшое количество инертного органического вещества (Inert Organic Matter, IOM) устойчиво к разложению.

Базовое уравнение модели (1) описывает количество вещества в каждом пуле x, которое разлагается в определенный месяц:

$$x = Y(1-e^{-abctk}), \quad (1)$$

где Y – содержание углерода в одной из активных частей, a – температурный коэффициент изменения скорости, b – влажностной коэффициент изменения скорости, c – коэффициент сохранения углерода растительным покровом, k – константа скорости разложения для каждой части, t – 1/12 (перевод в значение за месяц).

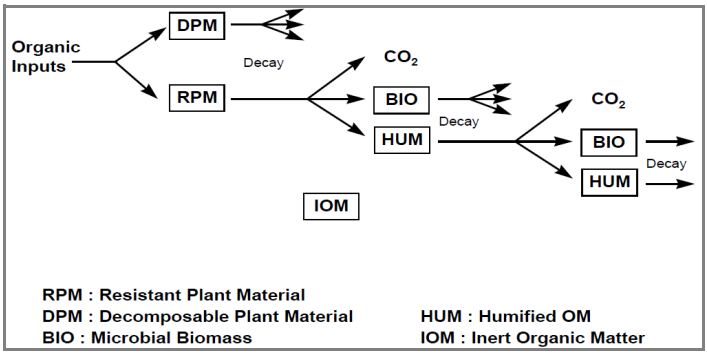

Рисунок 1. Структура модели RothC (Colemanand, Jenkinson, 2014)

Процессно-ориентированные модели могут дать представление о причинах изменения запасов $C_{орг}$ в почве, но на сегодняшний день реализация этой идеи на региональном и национальном уровнях сталкивается с некоторыми трудностями. Для многих стран оценки такого рода остаются под вопросом, а выявленные тенденции сильно различаются от одного исследования к другому. Но подобные разработки важны, поскольку сельское хозяйство является сектором экономики, имеющим наибольший потенциал по снижению выбросов парниковых газов, в основном путем секвестрации $C_{орг}$ в почве (van Wesemael et al., 2010).

Основной проблемой имитационного моделирования является зависимость точности его результатов от большого объема и высокого качества входных данных (Суховеева, Карелин, 2019). В связи с этим цель работы состояла в разработке методики подготовки входной информации для моделирования потерь $C_{орг}$ из пахотных почв России с помощью RothC.

Описание разработанной методики

Разработана методика подготовки входных данных модели RothC для оценки компонентов биогеохимического цикла углерода в пахотных почвах Европейской территории России, в том числе систематизированы рекомендуемые источники информации (табл. 1).

Параметризацию модели ввиду малого количества входных переменных целесообразно проводить в рамках предусмотренных алгоритмов и рассчитывать коэффициенты в соответствии с исходными уравнениями и пропорциями (Coleman et al., 1997). Для расчета количества растительной биомассы, поступающей в почву, рекомендуется применять следующие источники:

- урожайность культур – Федеральная служба государственной статистики, Росстат (Единая межведомственная …, 2019);
- количество стерни и корней, оставляемых после уборки – Левин, 1977;
- содержание углерода в растительной биомассе – Распоряжение Минприроды…, 2017;
- распределение растительной биомассы между пулами DPM и RPM – Coleman, Jenkinson, 2014.

Таблица 1. Рекомендуемые источники и методы подготовки данных для моделирования

Блок данных	Виды данных	Источник данных
Метеорологические данные	Среднемесячная температура воздуха Сумма осадков за месяц	База данных ВНИИ ГМИ – МЦД (Специализированные массивы…, 2020)
	Эвапотранспирация за месяц	Расчет по методике Торнтвейта (Thornthwainte, 1948)
Характеристики почвы	Глубина верхнего слоя почвы, см Содержание глины в почве, % Недостаток насыщения почвы влагой в слое 0-23 см, мм Содержание органического углерода в почве, т/га Соотношение фракций органического вещества в почве	Единый государственный реестр почвенных ресурсов России (2014)
Сельскохозяйственные культуры	Периоды, когда почва под паром / покрыта растительностью (время возделывания культур и их проективное покрытие) Ежемесячное поступление растительных остатков	Разработано в настоящем исследовании
	Внесение органических удобрений	Федеральная служба государственной статистики (Единая межведомственная…, 2020)

После расчета общего количества углерода, поступающего с разлагаемой и устойчивой растительной биомассой, предлагается определять его ежемесячное поступление в геометрической прогрессии от месяца посева до месяца уборки в зависимости от продолжительности сезона вегетации (табл. 2). Для культур, у которых время нахождения на поле захватывает зимний период, – озимая пшеница, многолетние травы – следует учитывать отмирание корневой биомассы за холодный сезон.

В исходной версии модели коэффициент сохранения углерода растительным покровом имеет лишь два значения: c=1, когда почва оголена, и c=0.6, когда она покрыта растениями. Но в процессе роста культур площадь листовой поверхности увеличивается постепенно; следовательно, было бы целесообразным ввести промежуточные значения коэффициента c = [0.7; 0.8; 0.9] в первые месяцы после посева (табл. 3). Но применить этот подход допустимо, только переместив расчеты по модельным уравнениям в файл Excel, поскольку в стандартном интерфейсе RothC сделать это невозможно.

Результаты и обсуждение

В качестве примера апробации разработанной методики приведен расчет потерь $C_{орг}$ из пахотных тяжелосуглинистых выщелоченных черноземов (Haplic Chernozem) Курской области. Были выбраны четыре основные культуры Черноземья – озимая пшеница, ячмень, подсолнечник и картофель (табл. 4), для которых модель прошла верификацию (Sukhoveeva et al., 2020). Метеорологические данные были взяты из базы ВНИИ ГМИ – МЦД по метеостанции г. Курск http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml. Характеристики почвенного покрова определялись по сведениям из опубликованных работ: запасы $C_{орг}$ (Люри и др., 2010), содержание в почве разлагаемой растительной биомассы и микробной биомассы (Карелин и др., 2017).

По итогам моделирования определено, что за 1990-2018 гг. в Курской области запасы $C_{орг}$ в почве уменьшались со средней скоростью 342 ± 54 кг С га$^{-1}$ год$^{-1}$, в том числе 289 кг С га$^{-1}$ год$^{-1}$ в агроценозах озимой пшеницы, 332 – ячменя, 341 – подсолнечника, 407 – картофеля. Результаты модели RothC климатообусловлены, т.е. ежегодные значения потерь $C_{орг}$ для всех культур синхронно изменяются от года к году (рис. 2).

Интересно отметить, что величины потерь $C_{орг}$ в Курской области, полученные в нашем исследовании, совпадают с данными работ других авторов. По оценкам Косолапова (Косолапов и др., 2015), в почвах Центрального Черноземья из-за их интенсивного дыхания формируется отрицательный баланс гумуса в пахотном слое, потери которого оцениваются в 0.7-0.9 т га$^{-1}$ год$^{-1}$, или (при содержании углерода в гумусе на уровне 58%) 406-522 кг С га$^{-1}$ год$^{-1}$; при этом наибольшие его потери наблюдаются под чистым паром и пропашными культурами, меньшие – под зерновыми и однолетними травами. В течение 54 лет чернозем в Курской области под бессменной озимой пшеницей потерял 24% гумуса от исходного содержания в целинной почве, под кукурузой – 32% (Мамонтов и др., 2020).

Таблица 2. Долевое распределение поступления растительных остатков в почву по месяцам

Месяц	Культура													
	Озимая пшени-ца	Яч-мень	Карто-фель	Кукуру-за на силос	Одно-летние травы	Много-летние травы	Подсол-нечник	Кукуру-за на зерно	Сахар-ная свекла	Соя	Овес / просо	Гречиха	Лен	Овощи
Январь	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Февраль	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Март	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Апрель	0.12	0.07	0.00	0.00	0.00	0.07	0.05	0.05	0.04	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
Май	0.16	0.13	0.07	0.10	0.17	0.07	0.10	0.10	0.07	0.07	0.13	0.00	0.10	0.07
Июнь	0.16	0.20	0.13	0.20	0.33	0.07	0.14	0.14	0.11	0.13	0.20	0.17	0.20	0.13
Июль	0.30	0.27	0.20	0.30	0.50	0.02	0.19	0.19	0.14	0.20	0.27	0.33	0.30	0.20
Август	0.00	0.33	0.27	0.40	0.00	0.02	0.24	0.24	0.18	0.27	0.33	0.50	0.40	0.27
Сентябрь	0.04	0.00	0.33	0.00	0.00	0.23	0.29	0.29	0.21	0.33	0.00	0.00	0.00	0.33
Октябрь	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ноябрь	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Декабрь	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Серым цветом выделены ячейки, соответствующие вегетационному периоду каждой культуры, т.е. месяцам, в течение которых она находится на поле

Таблица 3. Предложенные коэффициенты сохранения углерода растительным покровом (c)

Месяц	Культура													
	Озимая пшени-ца	Ячмень	Карто-фель	Кукуру-за на силос	Одно-летние травы	Много-летние травы	Подсол-нечник	Кукуру-за на зерно	Сахар-ная свекла	Соя	Овес / просо	Гречиха	Лен	Овощи
Январь	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Февраль	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Март	0.70	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Апрель	0.70	0.90	1.00	1.00	1.00	0.60	0.90	0.90	0.90	1.00	0.90	1.00	1.00	1.00
Май	0.60	0.80	0.90	0.90	0.90	0.60	0.80	0.80	0.80	0.90	0.80	1.00	0.90	0.90
Июнь	0.60	0.70	0.80	0.80	0.70	0.60	0.70	0.70	0.70	0.80	0.70	0.90	0.80	0.80
Июль	0.60	0.60	0.70	0.70	0.60	0.60	0.70	0.70	0.70	0.70	0.60	0.70	0.70	0.70
Август	1.00	0.60	0.60	0.60	1.00	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
Сентябрь	0.90	1.00	0.60	1.00	1.00	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60	1.00	1.00	1.00	0.60
Октябрь	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Ноябрь	0.90	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Декабрь	0.80	1.00	1.00	1.00	1.00	0.60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00

Серым цветом выделены ячейки, соответствующие вегетационному периоду каждой культуры, т.е. месяцам, в течение которых она находит-ся на поле

Таблица 4. Поступление углерода с растительной биомассой в почву в Курской области

Культура	Средняя урожайно сть, ц/га	Количество оставляемой стерни, ц/га	Количество корневых остатков, ц/га	Содержание C в растительной биомассе, %	Поступление C со стерней, кг/га	Поступление C с корнями, кг/га	Суммарное количество C, поступающего с растительными остатками, т/га	DPM	RPM
Пшеница озимая	31.68	12.07	32.38	48.53	585.65	1571.17	2.16	1.27	0.88
Ячмень	28.24	10.14	24.69	45.67	463.15	1127.81	1.59	0.94	0.65
Картофель	145.57	6.82	15.65	42.26	288.34	661.20	0.95	0.56	0.39
Подсолнечник	15.21	9.18	21.81	45.00	413.19	981.24	1.39	0.82	0.57

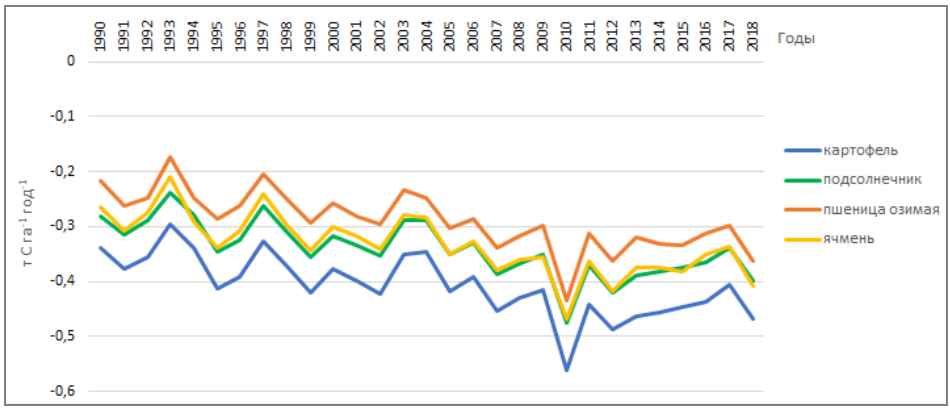

Рисунок 2. Динамика $C_{орг}$ в пахотном выщелоченном черноземе под различными культурами в Курской области по результатам моделирования с помощью RothC *(по материалам Sukhoveeva et al., 2020)*

Невысокие по сравнению с другими культурами потери $C_{орг}$ из почвы под озимой пшеницей объясняются способностью этой культуры восполнять его баланс за счет большого количества послеуборочных остатков. Озимая пшеница переносит 20-30% общего ассимилированного углерода подземной части в почву, что за один вегетационный период составляет примерно 1500 кг С $га^{-1}$ (Kuzyakov, Domanski, 2000). Каждая тонна растительных остатков, поступившая в почву, способствует образованию нескольких килограммов гумуса: коэффициенты гумификации равны 0.160 для озимой пшеницы и гороха, 0.164 для кукурузы, 0.163 для подсолнечника и 0.157 для сои (Кравченко, Куприченков, 2012).

Нерегулярное и недостаточное внесение органических удобрений – наиболее вероятная причина снижения содержания запасов $C_{орг}$. Ведь все полевые культуры, за исключением многолетних трав, без внесения органических удобрений не обеспечивают бездефицитного баланса гумуса (Вьюгин и Вьюгина, 2014). По сведениям Росстата (Единая межведомственная …, 2019 https://fedstat.ru/) за 1993-2018 гг. в Курской области их средняя доза составила 0.8 т $га^{-1}$ $год^{-1}$. Более того, их количество (для пропашных культур – в 10 раз) и периодичность внесения (за 26 лет удобрения под картофель вносились 9 раз, под подсолнечник – 7) продолжают снижаться по сравнению со средним. Все это приводит к уменьшению содержания потенциально-минерализуемого углерода (Семенов и Тулина, 2011).

Наиболее эффективными рекомендациями для увеличения запасов $C_{орг}$ под различными севооборотами являются использование лучших сортов культур и смесей видов трав со значительной биомассой корней и глубоким их залеганием, усовершенствование севооборотов, в которых поступление углерода за ротацию будет увеличиваться, сохранение большего количества растительных остатков, посев покровных культур в период парования для обеспечения непрерывного годичного поступления углерода (Smith et al., 2016).

По мнению одних исследователей, RothC переоценивает изменения $C_{орг}$ по сравнению с измеренными (Segura et al., 2016), но по данным другой группы ученых, модель недооценивает снижение запасов $C_{орг}$ на лугах и пашнях (van Wesemael et al., 2010). Ошибки в предсказании потоков углерода могут возникать по нескольким причинам: (а) использование обобщенных данных для описания характеристик почвы, (б) неспособность RothC адекватно представить динамику углерода в органических и гидроморфных почвах и подпочвенных горизонтах, (в) допущения относительно пространственного распределения и скорости изменения землепользования, (г) экстраполяция сведений о компонентах всего почвенного профиля на опорные слои, (д) неопределенности во входных данных (Faloon et al., 2006).

RothC относится к температурно-управляемым моделям, результаты которых высоко чувствительны к температуре. А она, в свою очередь, – важнейший фактор разложения органического вещества (Reichstein, 2005), особенно в зимний период (Pellis et al., 2019). Таким образом, повышение температуры отрицательно воздействует на запасы $C_{орг}$ в почве (Barancikova et al., 2010). Боле того, с помощью RothC было доказано, что на Европейской части России в будущем агроландшафты будут терять углерод при всех климатических сценариях и различных вариантах землепользования (Smith et al., 2007).

Выводы

Разработана методика подготовки входных данных для модели RothC с целью оценки потерь органического углерода из пахотных почв Европейской территории России.

Предложено определять ежемесячное поступление в почву углерода с послеуборочными растительными остатками в виде геометрической прогрессии от месяца посева до месяца уборки в зависимости от продолжительности сезона вегетации.

Обосновано введение промежуточных значений коэффициента удержания углерода растительным покровом в первые месяцы после посева в зависимости от площади листовой поверхности.

Проведена апробация разработанной методики на примере пахотных черноземов Курской области, по итогам которой определено, что результаты модели RothC климатообусловлены, а запасы органического углерода в почве в 1990-2018 гг. уменьшались со средней скоростью 342 ± 54 кг С $га^{-1}$ $год^{-1}$.

Работа выполнена в рамках темы госзадания ИГ РАН № 0148-2019-0009.

Список литературы

Вьюгин С.М., Вьюгина Г.В. 2014. Севообороты в адаптивно-ландшафтном земледелии Центрального региона России. – Смоленск, Смоленская ГСХА, 133 с.

Единая межведомственная информационно-статистическая система. 2020. – Электронный ресурс. URL: https://fedstat.ru/ (дата обращения 05 июня 2020).

Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0. 2014. – М., Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 768 с.

Карелин Д.В., Горячкин С.В., Кудиков А.В., Лопес де Гереню В.О., Лунин В.Н., Долгих А.В., Люри Д.И. 2017. Изменение запасов углерода и эмиссии CO_2 в ходе постагрогенной сукцессии растительности на серых почвах в Европейской части России. – Почвоведение, № 5, с. 580-594.

Косолапов В.М., Трофимов И.А., Трофимова Л.С., Яковлева Е.П. 2015. Агроландшафты Центрального Черноземья. Районирование и управление. – М., Наука, 198 с.

Кравченко Р.В., Куприченков М.Т. 2012. Растительные остатки и плодородие почв. – Научный журнал КубГАУ, № 79 (05), http://ej.kubagro.ru/2012/05/pdf/45.pdf.

Левин Ф.И. 1977. Количество растительных остатков в посевах полевых культур и его определение по урожаю основной продукции.– Агрохимия, № 8, с. 36-42.

Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г. 2010. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. – М., ГЕОС, 416 с.

Мамонтов В.Г., Артемьева З.С., Лазарев В.И., Родионова Л.П., Крылов В.А., Ахметзянова Р.Р. 2020. Сравнительная характеристика свойств целинного, пахотного и залежного чернозема типичного Курской области. – Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева, № 101, с. 182-201. https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-182-201.

Распоряжение Минприроды России от 30.06.2017 № 20-р «Об утверждении методических указаний по количественному определению объема поглощения парниковых газов». Министерство природных ресурсов и экологии РФ. – Электронный ресурс. URL: https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-Minprirody-Rossii-ot-30.06.2017-N-20-r/ (дата обращения 05 июня 2020 г.).

Романенков В.А. 2011. Динамика запасов почвенного углерода в агроценозах Европейской территории России (по данным длительных агрохимических опытов). Автореф. дис… д-ра биол. наук. – М., 46 с.

Романовская А.А. 2008. Основы мониторинга антропогенных эмиссий и стоков парниковых газов (CO_2, N_2O, CH_4) в животноводстве, при сельскохозяйственном землепользовании и изменении землепользования в России. Дис. … д-ра. биол. наук. – М., 40 с.

Семенов В.М., Тулина А.С. 2011. Сравнительная характеристика минерализуемого пула органического вещества в почвах природных и сельскохозяйственных экосистем – Агрохимия, № 12, с. 53-63.

Специализированные массивы для климатических исследований. 2000. – Электронный ресурс. URL: http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml (дата обращения 05 июня 2020).

Суховеева О.Э., Карелин Д.В. 2019. Параметризация модели DNDC для оценки компонентов биогеохимического цикла углерода на Европейской территории России. – Вестник Санкт-Петербургского университета. Науки о Земле, т. 64, вып. 2, с. 362-383. doi.org/10.21638/spbu07.2019.211.

Afzali S.F., Azad B., Golabi M.H., Francaviglia R. 2019. Using RothC model to simulate soil organic carbon stocks under different climate change scenarios for the rangelands of the arid regions of Southern Iran. – Water, vol. 11(10), 2107. https://doi.org/10.3390/w11102107.

Barancikova G., Halas J., Guttekova M., Makovnikova J., Novakova M., Skalsky R., Tarasovicova Z. 2010. Application of RothC model to predict soil organic carbon stock on soil. Model description and users guide. – Harpenden, Rothamsted Research, 44 p.

Coleman K., Jenkinson D.S. 2014. RothC – A model for the turnover of carbon in agricultural soils of Slovakia.– Soil and Water Research, vol. 5, No. 1, pp. 1-9.

Coleman K., Jenkinson D.S., Crocker G.J., Grace P.R., Klir J., Korschens M., Poulton P.R., Richter D.D. 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3.– Geoderma, vol. 81, No. 1-2, pp. 29-44.

Falloon P., Smith P., Bradley R.I., Milne R., Tomlinson R., Viner D., Livermore M., Brown T. 2006. RothCUK – a dynamic modelling system for estimating changes in soil C from mineral soils at 1-km resolution in the UK. – Soil Use and Management,vol.22, pp. 274–288. doi: 10.1111/j.1475-2743.2006.00028.x.

Fiedler S.R., Buczko U., Jurasinski G., Glatzel S. 2015. Soil respiration after tillage under different fertiliser treatments – implications for modelling and balancing.– Soil and Tillage Research, vol. 150, pp. 30-42. https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.015.

Jenkinson D.S., Hart P.B.S., Rayner J.H., Parry L.C. 1987. Modeling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted. – INTECOL Bulletin, No. 15, pp. 1-8.

Kuzyakov Y., Domanski G. 2000. Carbon input by plants into the soil. Review. – Journal of Plant Nutrition and Soil Science, vol. 163, No. 4, pp. 421-431.

Molina L.G., Pérez E.C.M., Pérez A. 2017. Simulation of soil organic carbon changes in Vertisols under conservation tillage. – Scientia Agricola, vol.74, No.3, pp. 235-241. http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2015-0487.

Pellis G., Chiti T., Rey A., Yuste J.C., Trotta C., Papale D. 2019. The ecosystem carbon sink implications of mountain forest expansion into abandoned grazing land: The role of subsoil and climatic factors. – Science of The Total Environment, vol. 672, pp. 106-120. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.329.

Reichstein M., Katterer T., Andren O., Ciais P., Schulze E.-D., Cramer W., Papale D., Valentini R. 2005. Temperature sensitivity of decomposition in relation to soil organic matter pools: critique and outlook. – Biogeosciences, No. 2, pp. 317-321.

Segura C., Jiménez M.N., Nieto O., Navarro F.B., Fernández-Ondoño E. 2016. Changes in soil organic carbon over 20 years after afforestation in semiarid SE Spain. – Forest Ecology and Management, vol. 381, pp. 268-278. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.035.

Smith J., Smith P., Wattenbach M., Gottschalk P., Romanenkov V.A., Shevtsova L.K., Sirotenko O.D., Rukhovich D.I., Koroleva P.V., Romanenko I.A., Lisovoi N.V. 2007. Projected changes in the organic carbon stocks of cropland mineral soils of European Russia and the Ukraine, 1990-2070. – Global Change Biology, vol. 13, pp. 342-356. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01297.x.

Smith P., House J.I., Bustamante M., Sobocka J., Harper R., Pan G., West P.C., Clark J.M., Adhya T., Rumpel C., Paustian K., Kuikman P., Cotrufo M.F., Elliott J.A., Mcdowell R., Griffiths R.I., Asakawa S., Bondeau A., Jain A.K., Meersmans J., Pugh T.A.M. 2016. Global change pressures on soils from land use and management. – Global Change Biology, vol. 22, pp. 1008-1028. doi: 10.1111/gcb.13068.

Sukhoveeva O.E., Zolotukhin A.N., Karelin D.V. 2020. Climate-determined changes of organic carbon stocks in the arable chernozem of Kursk region. – Arid Ecosystems, vol. 10, No. 2, pp. 148-155. doi10.1134/S2079096120020122.

Thornthwainte C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. – Geographical Review, vol. 38, No.1, pp. 55-94.

van Wesemael B., Paustian K., Meersmans J., Goidts E., Barancikova G., Easter M. 2010. Agricultural management explains historic changes in regional soil carbon stocks. – PNAS, vol. 107, No. 33, pp. 14926-14930. doi10.1073/pnas.1002592107.

Zimmermann M., Leifeld J., Schmidt M.W., Smith P., Fuhrer J. 2007. Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model. – European journal of soil science, vol. 58, No. 3, p. 658-667. doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00855.x.

Статья поступила в редакцию: 05.06.2020 г. *После переработки: 15.08.2020 г.*

ASSISTANCE FOR USING THE ROTHC MODEL IN RUSSIA: THE METHOD OF PREPARING INPUT INFORMATION

O.E. Sukhoveeva

Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences,
29, Staromonetniy str., 119017, Moscow, Russia;
* corresponding author: *olgasukhoveeva@gmail.com*

Abstract. The method of preparing input data for the model RothC to estimate soil organic carbon losses from arable soils in the European part of Russia is developed. Recommended information sources are systemized. The sequence of calculation of plant biomass carbon inputted in a soil after harvesting is described. It is offered to determine its monthly input in a soil by geometrical progression from a sowing month till a harvest month depending on duration of a vegetation season. Introduction of intermediate values of plant retainment rate modifying factors (0.7; 0.8; 0.9) in the first months after sowing is justified because while crops are growing, leaves area is rising gradually. As example of approbation of method developed, the calculation of soil organic carbon losses from arable chernozems under four crops in Kursk region is presented. According to modelling results, over 1990-2018 soil organic carbon stocks decreased in diapason from 289 kg C ha^{-1} yr^{-1} in winter wheat agrocenosis to 407 kg C ha^{-1} yr^{-1} from soil under potato, the average rate was 342±54 kg C ha^{-1} yr^{-1}. Results of the RothC model is climate-determined and annual values of soil organic carbon losses for all crops change synchronously from one year to another.

Keywords. Process-based models, carbon cycle, Haplic Chernozem, Kursk region.

References

Vyugin S.M., Vyugina G.V. 2014. *Sevooboroty v adaptivno-landshaftnom zemledelii Central'nogo regiona Rossii*. [Crop rotation in adaptive landscape farming in the Central region of Russia]. Smolensk, 133 p. (In Russian).

Edinaya mezhvedomstvennaya informacionno-statisticheskaya sistema. 2020. [Unified interdepartmental information and statistical system, 2020]. https://fedstat.ru/. Accessed June5, 2020.

Edinyj gosudarstvennyj reestr pochvennyh resursov Rossii. Versiya 1.0. 2014. [Unified state register of soil recourses of Russia. Versa 1.0. 2014]. Moscow. Soils institute. (In Russian)

Karelin D.V., Goryachkin S.V., Kudikov A.V., Lunin V.N., Dolgikh A.V., Lyuri D.I., Lopes de Gerenu V.O. 2017. Izmenenie zapasov ugleroda i emissii SO2 v hode postagrogennoj sukcessii rastitel'nosti na seryh pochvah v Evropejskoj chasti Rossii [Changes in carbon pool and CO_2 emission in the course of postagrogenic succession on gray soils (Luvic Phaeozems) in European]. *Pochvovedenie – Russia Eurasian Soil Science,* vol. 50. no.5, pp. 559-572. DOI: 10.7868/80032180X17050070.

Kosolapov, V.M., Trofimov, I.A., Trofimova, L.S., and Yakovleva, E.P. 2015. *Agrolandshafty Tsentral'nogo Chernozem'ya. Raionirovanie I upravlenie* [Agrolandscapes of Central Chernozem Zone: Zonation and Management]. Moscow. Nauka.

Kravchenko R.V., Kuprichenkov M.T. 2012. Rastitel'nye ostatki i plodorodie pochv [Plant residues and soil fertility]. *Nauchnyj zhurnal KubGAU – Scientific journal of KubSAU,*. no. 79 (05). http://ej.kubagro.ru/2012/05/pdf/45.pdf.

Levin F.I. 1977. Kolichestvo rastitel'nyh ostatkov v posevah polevyh kul'tur i ego opredelenie po urozhayu osnovnoj produkcii [Quantity of plants residues in crop fields and its determination by yield the main production]. *Agrohimiya – Agrokhimiia*, no. 8, pp. 36-42.

Lyuri, D.I., Goryachkin, S.V., Karavaeva, N.A., Denisenko, E.A., and Nefedova, T.G., 2010. *Dinamika sel'skohozyajstvennyh zemel' Rossii v HKH veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv* [Dynamics of Agricultural Lands of Russia in 20th Century and Postagrogenic Recovery of Vegetation and Soils)]. Moscow. GEOS.

Mamontov V.G., Artemyeva Z.S., Lazarev V.I., Rodionova L.P., Krylov V.A., Ahmetzyanova R.R. 2020. Sravnitel'naya harakteristika svojstv celinnogo, pahotnogo i zalezhnogo chernozema tipichnogo Kurskoj oblasti. [Comparative characteristics of the properties of Halpic Chernozem of the Kursk Region]. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva – Dokuchaev Soil Bulletin,* vol.101, pp. 182-201. https://doi.org/10.19047/0136-1694-2020-101-182-201.

Rasporyazhenie Minprirody Rossii ot 30.06.2017 № 20-r «Ob utverzhdenii metodicheskih ukazanij po kolichestvennomu opredeleniyu ob"ema pogloshcheniya parnikovyh gazov». Ministerstvo prirodnyh resursov i ekologii RF [Decree of the Ministry of Natural Resources of Russia dated June 30, 2017], no. 20-r "On approval of guidelines for the quantitative determination of the amount of absorption of greenhouse gases»]. https://rulaws.ru/acts/Rasporyazhenie-Minprirody-Rossii-ot-30.06.2017-N-20-r/. Accessed June 5, 2020.

Romanenkov V.A. 2011. *Dinamika zapasov pochvennogo ugleroda v agrocenozah Evropejskoj territorii Rossii (po dannym dlitel'nyh agrohimicheskih opytov). Avtoref. dis… d-ra biol. nauk.* [Dynamics of soil carbon stocks in agrocenosis of the European territory of Russia (according to long-term agrochemical experiments]. Extended abstract of doctor biological sciences dissertation. Moscow, 46 p.

Romanovskaya A.A. 2008. *Osnovy monitoringa antropogennyh emissij i stokov parnikovyh gazov (CO2, N2O, CH4) v zhivotnovodstve, pri sel'skohozyajstvennom zemlepol'zovanii i izmenenii zemlepol'zovaniya v Rossii. Dis. … d-pa. biol. nauk* [Fundamentals of monitoring anthropogenic emissions and sinks of greenhouse gases (CO_2, N_2O, CH_4) in animal husbandry, agricultural land use and land use change in Russia]. Extended abstract of doctor biological sciences dissertation. Moscow.

Semenov, V.M. and Tulina, A.S., 2011. Sravnitel'naya harakteristika mineralizuemogo pula organicheskogo veshchestva v pochvah prirodnyh i sel'skohozyajstvennyh ekosistem [Comparison of mineralized pool of organic matter in soils of natural and agricultural ecosystems]. *Agrohimiya – Agrokhimiya*, no. 12, pp. 53-63.

Specializirovannye massivy dlya klimaticheskih issledovanij. 2000 [Specialized data massifs for climate research. 2000]. http://aisori-m.meteo.ru/waisori/select.xhtml. Accessed June 5, 2020.

Sukhoveeva O.E., Karelin, D.V. 2019. Parametrizaciya modeli DNDC dlya ocenki komponentov biogeohimicheskogo cikla ugleroda na Evropejskoj territorii Rossii [Parameterization of the DNDC model for assessment of the components of the biogeochemical carbon cycle in the European part of Russia]. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta. Nauki o Zemle – Bulletin of Saint Petersburg University. Earth science*, vol. 64, no. 2, pp. 362–383. doi.org/10.21638/spbu07.2019.211.

Afzali S.F., Azad B., Golabi M.H., Francaviglia R. 2019. Using RothC model to simulate soil organic carbon stocks under different climate change scenarios for the rangelands of the arid regions of Southern Iran. – Water, vol. 11(10), 2107. https://doi.org/10.3390/w11102107

Barancikova G., Halas J., Guttekova M., Makovnikova J., Novakova M., Skalsky R., Tarasovicova Z. 2010. Application of RothC model to predict soil organic carbon stock on soil. Model description and users guide. – Harpenden, Rothamsted Research, 44 p.

Coleman K., Jenkinson D.S. 2014. RothC – A model for the turnover of carbon in agricultural soils of Slovakia.– Soil and Water Research, vol. 5, No. 1, pp. 1-9.

Coleman K., Jenkinson D.S., Crocker G.J., Grace P.R., Klir J., Korschens M., Poulton P.R., Richter D.D. 1997. Simulating trends in soil organic carbon in long-term experiments using RothC-26.3. – Geoderma, vol. 81, No. 1-2, pp. 29-44.

Falloon P., Smith P., Bradley R.I., Milne R., Tomlinson R., Viner D., Livermore M., Brown T. 2006. RothCUK – a dynamic modelling system for estimating changes in soil C from mineral soils at 1-km resolution in the UK. – Soil Use and Management,vol.22, pp. 274–288. doi: 10.1111/j.1475-2743.2006.00028.x.

Fiedler S.R., Buczko U., Jurasinski G., Glatzel S. 2015. Soil respiration after tillage under different fertiliser treatments – implications for modelling and balancing.– Soil and Tillage Research,vol. 150, pp. 30-42. https://doi.org/10.1016/j.still.2014.12.015.

Jenkinson D.S., Hart P.B.S., Rayner J.H., Parry L.C. 1987. Modeling the turnover of organic matter in long-term experiments at Rothamsted. – INTECOL Bulletin, No. 15, pp. 1-8.

Kuzyakov Y., Domanski G. 2000. Carbon input by plants into the soil. Review. – Journal of Plant Nutrition and Soil Science, vol. 163, No. 4, pp. 421-431.

Molina L.G., Pérez E.C.M., Pérez A. 2017. Simulation of soil organic carbon changes in Vertisols under conservation tillage. – Scientia Agricola, vol.74, No.3, pp. 235-241. http://dx.doi.org/10.1590/1678-992X-2015-0487.

Pellis G., Chiti T., Rey A., Yuste J.C., Trotta C., Papale D. 2019. The ecosystem carbon sink implications of mountain forest expansion into abandoned grazing land: The role of subsoil and climatic factors. – Science of The Total Environment, vol. 672, pp. 106-120. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.03.329.

Reichstein M., Katterer T., Andren O., Ciais P., Schulze E.-D., Cramer W., Papale D., Valentini R. 2005. Temperature sensitivity of decomposition in relation to soil organic matter pools: critique and outlook. – Biogeosciences, No. 2, pp. 317-321.

Segura C., Jiménez M.N., Nieto O., Navarro F.B., Fernández-Ondoño E. 2016. Changes in soil organic carbon over 20 years after afforestation in semiarid SE Spain. – Forest Ecology and Management, vol. 381, pp. 268-278. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.035.

Smith J., Smith P., Wattenbach M., Gottschalk P., Romanenkov V.A., Shevtsova L.K., Sirotenko O.D., Rukhovich D.I., Koroleva P.V., Romanenko I.A., Lisovoi N.V. 2007. Projected changes in the organic carbon stocks of cropland mineral soils of European Russia and the Ukraine, 1990-2070. – Global Change Biology, vol. 13, pp. 342–356. doi: 10.1111/j.1365-2486.2006.01297.x.

Smith P., House J.I., Bustamante M., Sobocka J., Harper R., Pan G., West P.C., Clark J.M., Adhya T., Rumpel C., Paustian K., Kuikman P., Cotrufo M.F., Elliott J.A., Mcdowell R., Griffiths R.I., Asakawa S., Bondeau A., Jain A.K., Meersmans J., Pugh T.A.M. 2016. Global change pressures on soils from land use and management. – Global Change Biology, vol. 22, pp. 1008–1028. doi: 10.1111/gcb.13068.

Sukhoveeva O.E., Zolotukhin A.N., Karelin D.V. 2020. Climate-determined changes of organic carbon stocks in the arable chernozem of Kursk region. – Arid Ecosystems, vol. 10, No. 2, pp. 148–155. doi10.1134/S2079096120020122.

Thornthwainte C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. – Geographical Review, vol. 38, No.1, pp. 55-94.

van Wesemael B., Paustian K., Meersmans J., Goidts E., Barancikova G., Easter M. 2010. Agricultural management explains historic changes in regional soil carbon stocks. – PNAS, vol. 107, No. 33, pp. 14926–14930. doi10.1073/pnas.1002592107.

Zimmermann M., Leifeld J., Schmidt M.W., Smith P., Fuhrer J. 2007. Measured soil organic matter fractions can be related to pools in the RothC model. – European journal of soil science, vol. 58, No. 3, p. 658-667. doi.org/10.1111/j.1365-2389.2006.00855.x.