УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2024-120-6-47

Ссылки для цитирования:
Столбовой В.С., Гребенников А.М., Шилов П.М., Духанин Ю.А. Развитие национальной модели управления бюджетом гумуса (углерода) в почвах агроэкосистем Российской Федерации // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2024. Вып. 120. С. 6-47. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-120-6-47

Cite this article as:
Stolbovoy V.S., Grebennikov A.M., Shilov P.M., Dukhanin Yu. A., Towards a national model of humus (carbon) budget management in soils of agroecosystems in the Russian Federation, Dokuchaev Soil Bulletin, 2024, V. 120, pp. 6-47, DOI: 10.19047/0136-1694-2024-120-6-47

Благодарность:
Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения “Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджете углерода в лесах и других наземных экологических системах” (рег. № 123030300031-6).

Acknowledgments:
The study was carried out as part of the implementation of the most important innovative project of national significance “Development of a system for ground-based and remote monitoring of carbon pools and greenhouse gas fluxes on the territory of the Russian Federation. Ensuring the creation of a system for recording data on flows of climatically active substances and carbon budget in forests and other terrestrial ecological systems” (reg. No. 123030300031-6).

Развитие национальной модели управления бюджетом гумуса (углерода) в почвах агроэкосистем Российской Федерации

© 2024 г. В. С. Столбовой*, А. М. Гребенников, П. М. Шилов, Ю. А. Духанин

ФИЦ "Почвенный институт им. В.В. Докучаева", Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,
**e-mail: vladimir.stolbovoy@gmail.com.*

Поступила в редакцию 26.06.2024, *после доработки* 06.07.2024,
принята к публикации 21.08.2024

Резюме: Изучена перспектива адаптации разработанных в Российской Федерации (РФ) двух методов мониторинга плодородия сельскохозяйственных почв (баланса гумуса, БГ) под посевами яровой и озимой пшеницы (далее зерновые культуры) для целей климатических проектов. Выявлено, что метод РосНИИземпроекта (1998) занижает среднюю величину БГ до -7.7 ц/га по РФ в целом. Показано, что метод РосНИИземпроекта (1998) имеет логические ошибки в модели расчета. В результате метод не рекомендуется к использованию. Метод ЦИНАО (2000) имеет более логичную модель расчета. Согласно этому методу, средняя величина БГ в почвах под зерновыми культурами для РФ в целом положительна и составляет 3.3 ц/га (0.71 тCO_2-экв/га углеродных единиц). Эта величина составляет ≈0.3% от средних запасов гумуса в пахотных почвах РФ (108 тС/га). Годовая величина изменения запасов гумуса при возделывании яровой и озимой пшеницы несоизмеримо меньше общих запасов гумуса в почве. Статистически достоверная оценка изменений содержания гумуса требует огромного количества почвенных проб. Это делает процедуру верификации экономически нецелесообразной. Другой вариант – увеличение времени накопления гумуса в почвах. Считается (IPCC, 2003), что достаточным является 20-летний период накопления, что соответствует продолжительности почвенных климатических проектов. Предложен коэффициент (0.216) пересчета средних запасов гумуса (ц/га) на величину углеродной единицы (тCO_2-экв/га). Суммарная секвестрация углерода почвами под зерновыми культурами составила около 11 млн 914 тыс. тCO_2-экв. Учет БГ существенно корректирует рассчитанные значения выбросов сельскохозяйственного производства и снижает последние практически на 10% (со 116 до 105 млн тCO_2-экв в 2022 г.). Для обеих моделей мониторинга плодородия почв рассчитана оценка качества регрессионной зависимости БГ от общей биомассы фотосинтеза (ОБФ). Показано, что согласно t-критерию Фишера на 5%-ном уровне значимости исследованная связь является достоверной и характеризуется квадратами коэффициента корреляции (R^2), равными 0.554 и 0.998. В соответствии со шкалой Чеддока, теснота коррелятивной связи БГ с ОБФ для озимой пшеницы оценивается как высокая, для яровой – как очень высокая.

Ключевые слова: климатический проект; запасы органического вещества в почвах; моделирование содержания углерода; углеродные единицы.

Towards a national model of humus (carbon) budget management in soils of agroecosystems in the Russian Federation

© 2024 V. S. Stolbovoy*, A. M. Grebennikov, P. M. Shilov, Yu. A. Dukhanin

Federal Research Centre "V.V. Dokuchaev Soil Science Institute", 7 Bld. 2 Pyzhevskiy per., Moscow 119017, Russian Federation,
**e-mail: vladimir.stolbovoy@gmail.com.*

Received 26.06.2024, *Revised* 06.07.2024, *Accepted* 21.08.2024

Abstract: The prospect of adapting two methods for monitoring the fertility of agricultural soils (humus balance, HB) under spring and winter wheat crops (hereinafter referred to as grain crops) developed in the Russian Federation (RF) for the purposes of climate projects has been studied. It was revealed that the RosNIIzemproekt method (1998) underestimates the HB average value to -7.7 c/ha for RF. The RosNIIzemproekt method (1998) has logical errors in the calculation model and is not recommended for use. The TsINAO method (2000) has a more logical calculation model. According to this method, the average value of HB in soils for RF is generally positive and amounts to 3.3 c/ha (0.71 tCO_2-eq/ha carbon units). This value constitutes ≈0.3% of average humus reserves in arable soils of the RF (108 tC/ha). The annual value of change in humus content under spring and winter wheat is incommensurably less than the total humus reserves in the soil. Statistically reliable assessment of changes in humus content requires a huge number of soil samples. This makes the verification procedure economically inexpedient. Another option is proposed to increase the time of humus accumulation. It is considered (IPCC, 2003) that a 20-year accumulation period is sufficient, which corresponds to the duration of soil climate projects. A coefficient (0.216) has been proposed for converting humus reserves (c/ha) to the value of a carbon unit (tCO_2-eq/ha). The total sequestration of carbon by soils under grain crops in 2022 was about 11 million 914 thousand tCO_2-eq. HB accounting significantly compensates for calculated emissions from agricultural production and reduces them by almost 10% (from 116 to 105 million tons CO_2-eq in 2022). For both models of fertility monitoring, an assessment was made of the quality of the regression dependence of HB on the total biomass of photosynthesis (TBP) in soils under grain crops. It is shown

that according to Fisher's t-test at a 5% significance level, the studied relationship is significant and characterized by the squares of the correlation coefficient (R^2) equal to 0.554 and 0.998. In accordance with the Chaddock scale, the closeness of the correlative relationship between HB and TPB for winter wheat is assessed as high, and for spring wheat as very high.

Keywords: climate project; stock of organic carbon in soils; carbon content modeling; carbon unit.

ВВЕДЕНИЕ

Использование сельскохозяйственных почв является одним из легитимных инструментов климатических проектов в целях поглощения парниковых газов. В разделе “Землепользование, Изменение землепользования и Лесного хозяйства” (ЗИЗЛХ) Киотского протокола (Watson et al., 2000, Статьи 3.3 и 3.4) предусмотрены варианты модификации производства в направлении внедрения углерод-, гумуснакопительных технологий природоохранного, органического и восстановительного сельского хозяйства. Очевидно, что переход на углероднакопительные технологии требует привлечения дополнительных ресурсов. При этом экономическая эффективность от вложений носит риски того, что планируемая величина секвестрации углерода в почвах в каких-то ситуациях не будет достигнута в связи с разнообразием почвенных условий, множеством возможных технологий и др. Использование расчетных моделей позволяет подобрать вариант наиболее результативного проекта, тем самым снизить отмеченные риски и повысить экономическую эффективность перехода на углероднакопительные технологии в целях климатических проектов. Приведенный аргумент в поддержку развития национальной модели управления углеродным циклом в почвах является обязательным для стран 3-го уровня инвентаризации парниковых газов (IPCC, 2003, 2006), к которым, согласно Киотскому протоколу, относится РФ (Столбовой и др., 2023).

РФ имеет огромный опыт фундаментальных исследований почвенного органического вещества (ПОВ) (Тюрин, 1937; Кононова, 1984; Орлов, 1992). Управление содержанием гумуса в почвах сельскохозяйственного назначения было и остается одной из главных прикладных задач мониторинга плодородия почв (Мине-

ев, 1990; Крылатов, 1996). Для повышения эффективности регулирования содержания гумуса в сельскохозяйственных почвах РФ разработаны несколько эмпирических моделей БГ. Последние решают задачу контроля содержания основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации производства. Кроме традиционных вопросов, модели также востребованы в решении современных задач углеродного баланса почв, обозначенных климатическими проектами (Федеральный закон, 2021).

Гумус является частью ПОВ, представленной совокупностью специфических и неспецифических органических веществ, за исключением соединений, входящих в состав живых организмов и их остатков (ГОСТ 20432–83). Образование гумуса является биотическим процессом связывания углекислого газа (CO_2) атмосферы в процессе фотосинтетической деятельности растений и его накопления в почве в виде органических растительных остатков. В процессе разложения и микробной трансформации последних выделяется газообразная фаза CO_2, которая возвращается в атмосферу (гетеротрофная респирация), а оставшаяся твердая масса формирует ПОВ. Содержание ПОВ отражает долгосрочный баланс между высвобождением/эмиссией и поглощением/накоплением CO_2. Этот баланс выступает объектом моделирования в целях управления углеродным циклом в рамках мероприятий ЗИЗЛХ. При этом баланс *эмиссия* ↔ *поглощение* определяется как среднее изменение содержания ПОВ за 20-летний период в верхнем 30-сантиметровом слое почв (IPCC, 2000, 2003).

Содержание гумуса неодинаково для различных почв и во многом определяет разницу в их плодородии, т. е. способности удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге и воздухе, а также обеспечении условий для их нормальной жизнедеятельности (ГОСТ 20432–83). В сельскохозяйственном землепользовании нативная экосистема трансформируется в агроэкосистему – природно-техногенный комплекс для производства сельскохозяйственной продукции. Отметим, что важную роль в углеродном цикле агроэкосистемы играют агротехнологии, которые тесно связывают задачу регулирования углеродного цикла для устойчивого получения/увеличения продукции сельскохозяй-

ственного производства и снижения концентрации парниковых газов в атмосфере.

Разносторонняя агрономическая и экологическая роль гумуса в функционировании агроэкосистем определяет необходимость в постоянном регулировании его содержания и воспроизводства (Семенов, Когут, 2015). К основным приемам регулирования и воспроизводства гумуса при земледельческом использовании почв относятся: структура севооборотов, обеспечивающая определенный режим расхода гумуса и поступления его в почву; осуществление приемов, способствующих получению высоких урожаев сельскохозяйственных культур и, как следствие, поступлению в почву повышенного количества органических остатков после уборки культуры; травосеяние; внесение органических удобрений; сидерация; приемы химической мелиорации, создающие благоприятные условия для гумификации и закрепления в почве вновь образованных гумусовых веществ (Орлов, 1992). Перечисленные приемы регулирования содержания ПОВ выступают также и методами поглощения углерода сельскохозяйственными почвами в климатических проектах.

Целью исследований является анализ возможного применения методов расчета БГ в почвах агроэкосистем РФ, разработанных для мониторинга плодородия сельскохозяйственных культур, в рамках климатических проектов.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

В расчетах использовались данные о размерах посевных площадей и урожайности зерновых культур по состоянию на 2022 г. (рис. 1). Величина урожая пересчитана на фракции биомассы, включая солому, пожнивные остатки и корни (Крылатов, 1996). Сумма всех фракций биомассы ежегодной продукции составляет величину ОБФ зерновых культур на 2022 г. (рис. 2). Представленные карты (рис. 1, 2) демонстрируют фрагментированную картину распределения посевов и, соответственно, урожая и ОБФ зерновых культур, что связано с приуроченностью показателей к отдельным производственным участкам. Тем самым из анализа исключаются почвы, не использованные в 2022 г. под посевы зерновых культур, а также почвы несельскохозяйственного

назначения.

Важно отметить, что в исследовании используются данные урожая зерновых, содержащиеся в государственной сельскохозяйственной статистике (Сельское хозяйство…, 2023). Такой подход соответствует рекомендации Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC, 2003, 2006) для стран третьего уровня подсчетов эмиссии парниковых газов.

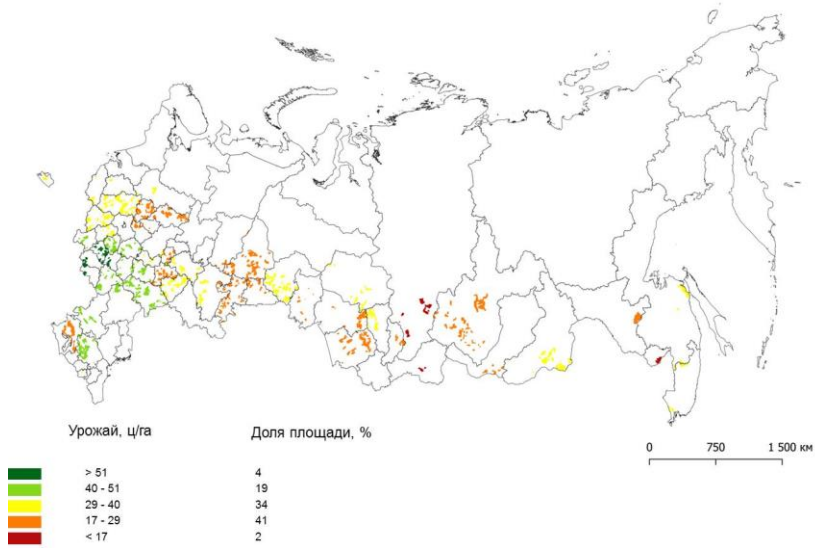

Рис. 1. Урожай зерновых культур в субъектах РФ в 2022 г.
Fig. 1. Grain harvest in the regions of the Russian Federation in 2022.

Расчет БГ проводился по двум, принятым в РФ, методам: 1) РосНИИземпроекта (1998) и 2) ЦИНАО (2000). Основное различие между этими методами состоит в подходах расчета минерализации гумуса. Согласно первому методу, минерализация гумуса определяется опосредованно – через потребность культур в азоте. Во втором методе этот показатель устанавливается непосредственно через значение почвенно-климатических условий, влияющих на минерализацию почвенного органического вещества.

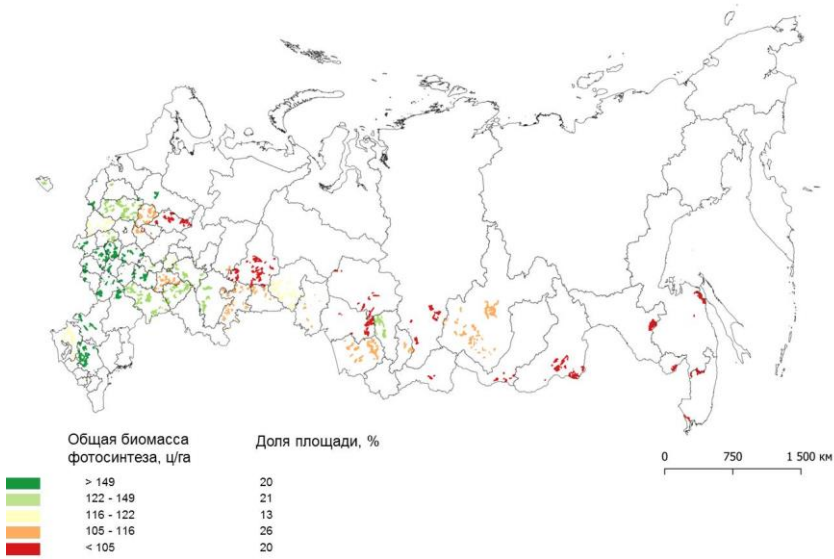

Рис. 2. Общая биомасса фотосинтеза (ОБФ) зерновых культур в субъектах РФ в 2022 году.
Fig. 2. Total biomass of photosynthesis (TBP) of grain crops in the regions of the Russian Federation in 2022.

Метод РосНИИземпроекта (1998) определяет БГ по формуле:

$$БГ = К_{гум}*(По + К) – 20*0.5*Кп *Кт* [(СНУ*У + СНПп*Пп) – АФ]/100,$$

где $К_{гум}$ – коэффициент гумификации; По – количество пожнивных остатков, ц/га; К – количество корневых остатков, ц/га; У – урожай основной продукции, ц/га; Пп – урожай побочной продукции, ц/га; АФ – поступление азота за счет азотфиксации, кг/га (табл. 1); СНУ – содержание азота в основной продукции, %; СНПп – содержание азота в побочной продукции, %; Кп – поправочный коэффициент на вынос азота в зависимости от гранулометрического состава почв (табл. 2); Кт – поправочный коэффициент на вынос азота, связанный с технологией возделывания сель-

скохозяйственных культур (табл. 3); 20 – коэффициент пересчета содержание азота в количество гумуса; 0.5 – доля от потребности культуры в азоте, восполняемая за счет минерализации гумуса; 100 – коэффициент пересчета кг/га в ц/га.

Таблица 1. Потребление атмосферного азота бобовыми культурами (% от общего содержания в фитомассе растений)
Table 1. Consumption of atmospheric nitrogen by leguminous crops (% of total content in plant biomass)

Культура	**Потребление азота из воздуха**
Клевер, люцерна	70
Смесь бобовых и злаков	50
Однолетние бобовые	40
Однолетние травы (смесь злаковых и бобовых)	25

Таблица 2. Поправочные коэффициенты на вынос азота в зависимости от гранулометрического состава почв (Кп)
Table 2. Correction factors for nitrogen removal depending on the soil particle size distribution (Kp)

Гранулометрический состав почв	**Поправочные коэффициенты**
Тяжелый суглинок	0.8
Средний суглинок	1.0
Легкий суглинок	1.2
Супесь	1.4
Песок	1.8

Количество пожнивных и корневых растительных остатков определяется из уравнения регрессии по величине урожайности культуры.

Метод ЦИНАО (2000) определяет БГ по формуле:

БГ = Кгум*Квро*У – 10*G * H * D * Кмин * Кбо,

где Кгум – коэффициент гумификации; Квро – коэффициент выхода растительных остатков; У – урожай основной продукции, ц/га; G – содержание гумуса в почве, %; H – мощность пахотного слоя, см; D – объемная масса почвы, г/см^3; Кмин – коэффициент минерализации гумуса (табл. 4); Кбо – относительный индекс биологической продуктивности (табл. 5); 10 – коэффициент пересчета тонн в центнеры.

Таблица 3. Поправочные коэффициенты на вынос азота, связанные с технологией возделывания сельскохозяйственных культур (Кт)
Table 3. Correction factors for nitrogen removal related to agricultural crop cultivation technology (Kt)

Гранулометрический состав почв	**Поправочные коэффициенты**
Многолетние травы	1.0
Зерновые и другие однолетние культуры	1.2
Пропашные культуры	1.6

Поскольку БГ, рассчитанный по обоим методам, зависит от величины урожая культуры, то была сделана попытка установления различий между результатами, полученными разными методами, путем определения вида зависимости БГ от ОБФ. С этой целью использовался регрессионный и корреляционный анализы.

Оценка значимости уравнения регрессии выполнена на основе t-критерия Стьюдента, фактическое значение которого tb вычислялось как отношение абсолютной величины коэффициента b к его стандартной ошибке (SE):

$$tb = |b|/SE,$$

где:

$$SE = SQRT(SUM (БГзп1фI – БГзп1вI)2/(N – 1)*(N – 2)*σОФ1),$$

где I = 1…N; БГзп1фI – фактическое значение баланса гумуса для I-го региона; БГзп1вI – значение баланса гумуса для I-го региона, вычисляемое по уравнению регрессии; N – число субъектов; σОФ1 – среднее квадратичное отклонение величин общей фито-

массы; SQRT – квадратный корень; SUM – знак суммы.

Качество уравнения регрессии устанавливалось по F-критерию Фишера, который позволяет оценить точность прогноза по уравнению регрессии в сравнении с прогнозом по среднему. Фактическое значение критерия Фишера в данном случае вычислялось по формуле:

$$F_{факт} = (R^2/(1 - R^2))*(N - 2).$$

Сравнивая фактическое значение $F_{факт}$ и табличное $F_{табл}$ при уровне значимости $\alpha = 0.05$ и числе степеней свободы 1 и N – 2 (N – число сравниваемых пар чисел) принимается решение:

- если $F_{факт} > F_{табл}$, то построенная модель “лучше” прогноза по среднему;

- если $F_{факт} < F_{табл}$, то качество построенной модели сравнимо с точностью прогноза по среднему.

Величина среднего содержания гумуса для почв отдельного субъекта РФ взята из информационно-справочной базы данных индикаторов качества почв сельскохозяйственных угодий РФ (Столбовой и др., 2020; Свидетельство…, 2021). В каждом из субъектов была установлена погрешность определения количества гумуса в почвах. Для этого погрешность определения содержания гумуса в почве согласно ГОСТ 26213–2021, выраженную в процентах, переводили в единицы измерения БГ в ц/га в пахотном горизонте, по формуле:

$$PG = 10*dG*H*D,$$

где PG – погрешность определения гумуса, ц/га; dG – погрешность определения содержания гумуса в почве согласно ГОСТ 26213–2021, %; H – мощность пахотного слоя, см.; D – объемная масса почвы, г/см^3; 10 – коэффициент пересчета тонн в центнеры.

Для перевода среднего значения величины БГ (ц/га) в углеродные единицы, измеряемые в тоннах углерод эквивалентов углекислого газа (тCO_2-экв/га), необходимо выполнить пересчет:

$$K_{CO2\text{-}экв} = [1/(10*1.724)]*3.67 = 0.216,$$

Таблица 4. Коэффициенты минерализации гумуса в почвах земледельческих зон, $К_{мин}$
Table 4. Humus mineralization coefficients in soils of agricultural zones (K_{min})

Зоны, наименование почв / Культуры, технологии	**Нечерноземная**	**Лесостепная**		**Степная**
	Дерново-подзолистые, светло-серые лесные	**Темно-серые лесные, черноземы оподзоленные и сильно выщелоченные**	**Черноземы выщелоченные и типичные**	**Черноземы обыкновенные и южные**
Многолетние травы	0.0067	0.0037	0.0032	0.0027
Зерновые	0.0110	0.0060	0.0052	0.0045
Пропашные	0.0260	0.0125	0.0108	0.0095
Чистые пары	0.0310	0.0162	0.0140	0.0120

где 10 – коэффициент пересчета центнеров в тонны; 1.724 – коэффициент пересчета гумуса в углерод; 3.67 – коэффициент пересчета углерода в CO_2-экв. (углеродные единицы).

Суммарный БГ для субъекта РФ и страны в целом определяется умножением средней величины БГ на площадь возделывания зерновых в регионе.

Расчеты выполнялись в программной среде MATLAB 7.

Таблица 5. Относительный индекс биологической продуктивности, $К_{бр}$
Table 5. Relative index of biological productivity (K_{bp})

Федеральные округа	**k_{bp}**
Северо-Западный	0.84
Центральный	1.11
Приволжский	0.93
Северо-Кавказский	1.30
Южный	1.30
Уральский	0.93
Сибирский	0.81
Дальневосточный	0.93

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

1. Метод РосНИИземпроекта (1998)

Как следует из таблиц 6 и 7, БГ в почвах под зерновыми культурами в субъектах РФ отрицательный. Исключение составляет БГ в почвах Еврейской автономной области (0.8 ц/га). Небольшие величины накопления гумуса определяются урожаем зерновых в этом субъекте, равным 1.7 ц/га. Для создания этого урожая зерновых потребовалось 9.1 кг/га азота, в том числе за счет минерализации гумуса 4.6 кг/га. Это количество, согласно логике модели подсчета, соответствовало минерализации 0.9 ц/га гумуса, что было меньше его поступления с растительными остатками. БГ в почвах под зерновыми в остальных субъектах страны был отрицательным.

Таблица 6. Средняя величина БГ в почвах под посевами озимой пшеницы в регионах РФ (метод РосНИИземпроект, 1998)
Table 6. Average value of HB in soils under winter wheat in the regions of the Russian Federation (RosNIIZemProekt method, 1998)

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов, тыс. га	Фракции биомассы, ц/га					Вынос азота, ц/га					Статьи баланса гумуса, ц/га		
		Общая биомасса фотосинтеза, ОБФ	Урожай, У	Побочная продукция (солома), Пп	Пожнивные остатки, По	Корневые остатки, К	Вынос азота с У и Пп	Коэфф., в завис. от гран. состава, Кп	Коэфф. на зерновые, Кз	Вынос азота урожаем, Ny	Вынос азота из почвы, Nпоч	Поступление, Ггум	Минерализация, Гмин	Баланс гумуса, БГ
Российская Федерация	16.723	165.3	44.5	62.9	13.5	42.6	1.579	1	1.2	1.895	0.947	11.2	18.9	-7.7
Центральный федеральный округ	3911.8	178.3	49.9	66.9	14.0	46.1	1.737	1	1.2	2.084	1.042	12.0	20.8	-8.8
Белгородская область	437.5	196.1	56.2	72.4	14.7	50.9	1.952	0.8	1.2	1.874	0.937	13.1	18.7	-5.6
Брянская область	124.9	165.1	44.4	62.9	13.5	42.5	1.576	1.0	1.2	1.891	0.946	11.2	18.9	-7.7
Владимирская область	26.4	113.9	26.2	47.1	11.6	28.7	0.953	1.2	1.2	1.373	0.687	8.1	13.7	-5.6
Воронежская область	836.2	173.3	47.6	65.4	13.8	44.7	1.677	0.8	1.2	1.610	0.805	11.7	16.1	-4.4
Ивановская область	21.1	105.4	23.5	44.2	10.2	27.0	0.870	1.0	1.2	1.045	0.523	7.4	10.4	-3.0
Калужская область	39.5	127.2	30.3	51.2	12.1	32.3	1.115	1.0	1.2	1.338	0.669	8.8	13.3	-4.5
Костромская область	26.9	84.1	17.9	34.7	8.0	23.0	0.671	1.2	1.2	0.966	0.486	6.2	9.7	-3.5
Курская область	421.2	206.9	60.6	75.7	15.1	53.8	2.085	0.8	1.2	2.001	1.001	13.8	20.0	-6.2

Продолжение таблицы 6
Table 6 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов, тыс. га	Фракции биомассы, ц/га					Вынос азота, ц/га					Статьи баланса гумуса, ц/га		
		Общая биомасса фотосинтеза, ОБФ	Урожай, У	Побочная продукция (солома), Пп	Пожнивные остатки, По	Корневые остатки, К	Вынос азота с У и Пп	Коэфф., в завис. от гран. состава, Кп	Коэфф. на зерновые, Кз	Вынос азота урожаем, Ny	Вынос азота из почвы, Nпоч	Поступление, Ггум	Минерализация, Гмин	Баланс гумуса, БГ
Липецкая область	370.4	190	54.6	70.5	14.5	49.2	1.879	0.8	1.2	1.804	0.902	12.7	18.0	-5.3
Московская область	85.0	151.6	41.0	58.7	13.0	38.9	1.412	1.0	1.2	1.694	0.847	10.4	16.9	-6.5
Орловская область	404.6	187	51.7	69.6	14.4	48.4	1.842	0.8	1.2	1.768	0.884	12.5	17.6	-5.1
Рязанская область	339.2	168.8	47.3	64.0	13.7	43.5	1.620	1.0	1.2	1.944	0.972	11.4	19.4	-8.0
Смоленская область	43.4	120.6	28.5	49.2	11.8	30.5	1.036	1.2	1.2	1.492	0.746	8.5	14.9	-6.4
Тамбовская область	438.6	166.4	45.9	63.3	13.6	42.8	1.592	0.8	1.2	1.528	0.764	11.2	15.2	-4.0
Тверская область	11.9	142.5	36.9	55.9	12.7	36.4	1.301	1.0	1.2	1.561	0.781	9.8	15.6	-5.8
Тульская область	304.5	176.3	48.4	66.3	14.0	45.5	1.712	0.8	1.2	1.643	0.822	11.9	16.4	-4.5
Ярославская область	6.3	105.7	23.7	44.4	10.2	27.0	0.874	1.0	1.2	1.049	0.525	7.4	10.4	-3.0
Северо-Западный федеральный округ	128.4	173.7	49.2	65.5	13.9	44.8	1.680	1.0	1.2	2.016	1.008	11.7	20.2	-8.5
Вологодская область	1.5	102.2	22.0	40.8	9.4	25.6	0.81	1.0	1.2	0.974	0.487	7.3	9.7	-2.4

Продолжение таблицы 6
Table 6 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов, тыс. га	Фракции биомассы, ц/га					Вынос азота, ц/га					Статьи баланса гумуса, ц/га		
		Общая биомасса фотосинтеза, ОБФ	Урожай, У	Побочная продукция (солома), Пп	Пожнивные остатки, По	Корневые остатки, К	Вынос азота с У и Пп	Коэфф., в завис. от гран. состава, Кп	Коэфф. на зерновые, Кз	Вынос азота урожаем, Ny	Вынос азота из почвы, Nпоч	Поступление, Ггум	Минерализация, Гмин	Баланс гумуса, БГ
Калининградская область	84.9	187.2	54.7	69.7	14.4	46.3	1.85	1.0	1.2	2.214	1.107	12.6	22.1	-9.5
Ленинградская область	8.7	147.7	39.5	57.5	12.9	35.7	1.36	1.0	1.2	1.638	0.819	10.1	16.4	-6.3
Новгородская область	1.6	119.1	28.5	48.7	11.8	28.0	1.02	1.0	1.2	1.221	0.611	8.4	12.2	-3.8
Псковская область	31.7	162.4	39.5	65.1	13.8	44.5	1.385	1.0	1.2	1.662	0.831	11.6	16.6	-5.0
Южный федеральный округ	6895.3	174	46.8	65.6	13.9	44.9	1.684	1.0	1.2	2.021	1.011	11.7	20.2	-8.5
Республика Адыгея (Адыгея)	82.3	175.8	50.3	66.1	13.9	43.2	1.71	1.0	1.2	2.047	1.024	11.9	20.5	-8.6
Республика Калмыкия	244.8	114.7	26.8	47.3	11.6	26.8	1.02	1.0	1.2	1.156	0.578	8.1	11.6	-3.5
Краснодарский край	1591.4	217.6	66.4	79.0	15.5	54.5	1.71	1.0	1.2	2.658	1.329	14.4	26.6	-12.2
Республика Крым	533,9	219,6	67,2	79,6	15,6	57,2	2,239	1,0	1,2	2,687	0,027	14,6	26,9	-12,3
Астраханская область	1657.2	137.0	35.4	54.2	12.4	32.8	1.71	1.0	1.2	1.482	0.741	9.5	14.8	-5.3

Продолжение таблицы 6
Table 6 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов, тыс. га	Фракции биомассы, ц/га					Вынос азота, ц/га					Статьи баланса гумуса, ц/га		
		Общая биомасса фотосинтеза, ОБФ	Урожай, У	Побочная продукция (солома), Пп	Пожнивные остатки, По	Корневые остатки, К	Вынос азота с У и Пп	Коэфф., в завис. от гран. состава, Кп	Коэфф. на зерновые, Кз	Вынос азота урожаем, Ny	Вынос азота из почвы, Nпоч	Поступление, Ггум	Минерализация, Гмин	Баланс гумуса, БГ
Волгоградская область	4.1	164.7	32.9	62.7	13.5	42.4	1.572	1.0	1.2	1.887	0.944	11.2	18.9	-7.7
Ростовская область	3013.4	149.7	44.9	58.1	12.9	38.4	1.389	0.8	1.2	1.334	0.667	10.3	13.3	-3.0
Северо-Кавказский федеральный округ	2078.4	144.3	38.2	56.5	12.7	34.7	1.33	1.0	1.2	1.588	0.794	9.9	15.9	-6.0
Республика Дагестан	77.6	106.4	23.6	43.5	10.0	27.0	0.86	1.0	1.2	1.035	0.518	7.6	10.4	-2.8
Республика Ингушетия	12.7	134.6	32.6	53.5	12.3	34.3	1.206	1.0	1.2	1.447	724.0	9.3	14.5	-5.2
Кабардино-Балкарская Республика	45.2	137.8	35.7	54.5	12.5	33.0	1.24	1.0	1.2	1.494	0.747	9.5	14.9	-5.4
Карачаево-Черкесская Республика	21.6	168.0	47.3	63.7	13.6	41.1	1.61	1.0	1.2	1.934	0.967	11.4	19.3	-7.9
Республика Северная Осетия-Алания	25.6	121.1	31.1	49.3	11.8	30.7	1.042	1.0	1.2	1.250	0.625	8.5	12.5	-4.5
Чеченская Республика	98.4	116.2	27.4	47.8	11.6	27.2	0.98	1.0	1.2	1.179	0.590	8.2	11.8	-3.6
Ставропольский край	1797.2	149.9	39.5	58.2	12.9	38.4	1.393	0.8	1.2	1.671	0.836	10.3	16.7	-6.4

Продолжение таблицы 6
Table 6 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов, тыс. га	Фракции биомассы, ц/га					Вынос азота, ц/га					Статьи баланса гумуса, ц/га		
		Общая биомасса фотосинтеза, ОБФ	Урожай, У	Побочная продукция (солома), Пп	Пожнивные остатки, По	Корневые остатки, К	Вынос азота с У и Пп	Коэфф., в завис. от гран. состава, Кп	Коэфф. на зерновые, Кз	Вынос азота урожаем, Ny	Вынос азота из почвы, Nпоч	Поступление, Ггум	Минерализация, Гмин	Баланс гумуса, БГ
Приволжский федеральный округ	3463.9	151.6	38.5	58.7	13.0	38.9	1.412	1.0	1.2	1.694	0.847	10.4	16.9	-6.5
Республика Башкортостан	132.0	129.8	39.4	52.0	12.1	33.0	1.149	1.0	1.2	1.379	0.690	9.0	13.8	-4.8
Республика Марий Эл	21.3	149.7	32.0	58.1	12.9	38.4	1.389	1.0	1.2	1.667	0.834	10.3	16.7	-6.4
Республика Мордовия	166.1	147.1	39.5	57.3	12.8	37.7	1.358	1.0	1.2	1.303	0.602	10.1	13.0	-2.9
Республика Татарстан (Татарстан)	343.1	135	39.0	53.6	12.3	34.4	1.212	0.8	1.2	1.455	0.728	9.3	14.5	-5.2
Удмуртская Республика	14.9	134.3	33.9	53.4	12.3	34.2	1.203	1.0	1.2	1.444	0.722	9.3	14.4	-5.1
Чувашская Республика	70.6	119	34.4	48.7	11.7	30.1	1.017	1.0	1.2	1.342	0.671	8.4	13.4	-5.0
Пермский край	4.0	115.6	30.2	47.6	11.6	29.2	0.975	1.2	1.2	1.170	0.585	8.2	11.7	-3.5
Кировская область	9.4	123.9	26.6	50.2	11.9	31.4	1.077	1.0	1.2	1.292	0.646	8.7	12.9	-4.2
Нижегородская область	195.8	129.1	30.0	51.8	12.1	32.8	1.140	1.0	1.2	1.094	0.547	9.0	10.9	-1.9
Оренбургская область	302.2	169.9	29.8	64.3	13.7	43.8	1.636	0.8	1.2	1.570	0.785	11.5	15.7	-4.2

Продолжение таблицы 6
Table 6 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов, тыс. га	Фракции биомассы, ц/га					Вынос азота, ц/га					Статьи баланса гумуса, ц/га		
		Общая биомасса фотосинтеза, ОБФ	Урожай, У	Побочная продукция (солома), Пп	Пожнивные остатки, По	Корневые остатки, К	Вынос азота с У и Пп	Коэфф., в завис. от гран. состава, Кп	Коэфф. на зерновые, Кз	Вынос азота урожаем, Ny	Вынос азота из почвы, Nпоч	Поступление, Ггум	Минерализация, Гмин	Баланс гумуса, БГ
Пензенская область	372.2	166.8	45.8	63.4	13.5	43.0	1.598	0.8	1.2	1.534	0.767	11.3	15.3	-4.0
Самарская область	413.3	147.3	45.2	57.4	12.8	37.7	1.361	0.8	1.2	1.307	0.653	10.1	13.1	-3.0
Саратовская область	1168.1	149.1	37.7	57.9	12.9	38.2	1.383	0.8	1.2	1.660	0.830	10.2	16.6	-6.4
Ульяновская область	251.0	115.3	38.1	47.5	11.6	29.1	0.972	1.0	1.2	1.167	0.584	8.1	11.6	-3.5
Уральский федеральный округ	16.5	111.6	25.2	46.4	11.4	28.1	0.928	1.0	1.2	0.891	0.446	7.9	8.9	-1.0
Курганская область	6.0	115.3	24.4	47.5	11.6	29.1	0.972	0.8	1.2	1.167	0.584	8.1	11.6	-3.5
Свердловская область	0.8	105.4	28.3	44.2	10.2	27.0	0.870	1.0	1.2	1.045	0.523	7.4	10.4	-3.0
Тюменская область	2.4	122	23.4	49.6	11.8	30.9	1.054	1.0	1.2	1.265	0.633	8.5	12.6	-4.1
Челябинская область	7.3	116.1	26.0	47.8	11.6	29.3	0.982	1.0	1.2	1.178	0.589	8.1	11.7	-3.6
Сибирский федеральный округ	228.4	94	25.9	39.1	9.0	24.9	0.763	1.0	1.2	1.100	0.550	6.8	11.0	-4.2
Республика Алтай	19.3	72.5	16.4	31.3	7.2	20.6	0.591	1.0	1.2	0.709	0.355	5.1	5.5	-0.4

Продолжение таблицы 6
Table 6 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов, тыс. га	Фракции биомассы, ц/га					Вынос азота, ц/га					Статьи баланса гумуса, ц/га		
		Общая биомасса фотосинтеза, ОБФ	Урожай, У	Побочная продукция (солома), Пп	Пожнивные остатки, По	Корневые остатки, К	Вынос азота с У и Пп	Коэфф., в завис. от гран. состава, Кп	Коэфф. на зерновые, Кз	Вынос азота урожаем, Ny	Вынос азота из почвы, Nпоч	Поступление, Ггум	Минерализация, Гмин	Баланс гумуса, БГ
Республика Тыва	19.3	76.3	16.4	31.2	7.1	21.6	0.599	1.0	1.2	0.719	0.360	5.7	7.1	-1.4
Республика Хакасия	0.3	115.9	16.4	47.7	11.6	29.3	0.979	1.0	1.2	0.939	0.470	8.2	9.4	-1.2
Алтайский край	159.7	114	25.3	47.1	11.5	28.8	0.957	0.8	1.2	1.148	0.574	8.0	11.4	-3.4
Красноярский край	5.8	68	26.2	27.5	6.2	20.1	0.521	1.0	1.2	0.625	0.313	5.3	6.2	-0.9
Иркутская область	405.9	116.1	14.2	47.8	11.6	29.3	0.982	1.0	1.2	1.178	0.589	8.1	11.7	-3.6
Кемеровская область (Кузбасс)	23.7	130.8	28.2	52.3	12.2	33.3	1.159	1.0	1.2	1.391	0.696	9.1	13.9	-4.8
Новосибирская область	21.0	84.4	30.3	34.8	8.0	23.1	0.674	1.0	1.2	0.809	0.405	6.2	8.1	-1.9
Омская область	10.8	115.6	18.3	47.6	11.6	29.2	0.975	1.0	1.2	1.170	0.585	8.2	11.7	-3.5
Томская область	7.3	82.9	31.3	34.5	7.9	22.2	0.667	1.0	1.2	0.801	0.401	6.0	8.0	-2.0
Дальневосточный федеральный округ	519.2	82.4	18.2	34.3	7.8	22.1	0.663	1.0	1.2	0.796	0.398	6.0	8.0	-2.0
Республика Бурятия	10.8	55.7	15.0	22.9	5.2	16.1	0.425	1.0	1.2	0.510	0.255	4.3	5.1	-0.8

Продолжение таблицы 6
Table 6 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов, тыс. га	Фракции биомассы, ц/га					Вынос азота, ц/га					Статьи баланса гумуса, ц/га		
		Общая биомасса фотосинтеза, ОБФ	Урожай, У	Побочная продукция (солома), Пп	Пожнивные остатки, По	Корневые остатки, К	Вынос азота с У и Пп	Коэфф., в завис. от гран. состава, Кп	Коэфф. на зерновые, Кз	Вынос азота урожаем, Ny	Вынос азота из почвы, Nпоч	Поступление, Ггум	Минерализация, Гмин	Баланс гумуса, БГ
Республика Саха (Якутия)	67.8	69.8	11.5	28.9	6.6	19.3	0.550	1.0	1.2	0.660	0.330	5.2	6.6	-1.4
Забайкальский край	122.8	80.4	17.7	33.4	7.6	21.7	0.645	1.0	1.2	0.775	0.388	5.9	7.7	-1.8
Приморский край	0.1	124.6	30.6	50.4	12.0	29.4	1.08	1.0	1.2	1.300	0.650	8.7	13.0	-4.3
Хабаровский край	9.1	93.3	20.9/-	38.9	8.9	24.6	0.760	1.0	1.2	0.912	0.456	6.7	9.1	-2.4
Амурская область	180.1	54.0	11.1	22.2	5.0	15.7	0.410	1.0	1.2	0.492	0.247	4.1	4.9	-0.8
Еврейская автономная область	5.7	16.4	1.7	6.2	1.2	7.3	0.075	1.0	1.2	0.090	0.045	1.7	0.9	0.8

Таблица 7. Средняя величина БГ в почвах под посевами яровой пшеницы в регионах РФ (метод РосНИИземпроекта, 1998)
Table 7. Average value of HB in soils under spring wheat in the regions of the Russian Federation (RosNIIzemproekt method, 1998)

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов, тыс. га	Фракции биомассы, ц/га					Вынос азота, ц/га					Статьи баланса гумуса, ц/га		
		Общая биомасса фотосинтеза, ОБФ	Урожай, У	Побочная прдукция (солома), Пп	Пожнивные остатки, По	Корневые остатки, К	Вынос азота с У и Пп	Коэфф., в завис. от гран. состава, Кп	Коэфф. на зерновые, Кз	Вынос азота с У, Ny	Вынос азота из почвы, Nпоч	Поступление, Ггум	Минерализация, Гмин	Баланс гумуса, БГ
Томская область	99.0	28.2	18.3	34.5	7.9	22.2	0.667	1.0	1.2	0.800	0.400	5.4	8.0	-2.6
Дальневосточный федеральный округ	519.2	18.2	18.2	34.3	7.8	22.1	0.663	1.0	1.2	0.796	0.398	5.4	8.0	-2.6
Республика Бурятия	1.8	11.5	11.5	22.9	5.2	16.1	0.425	1.0	1.2	0.510	0.255	3.8	5.1	-1.3
Республика Саха (Якутия)	37.8	18.2	15.0	28.9	6.6	19.3	0.550	1.0	1.2	0.660	0.330	4.7	6.6	-1.9
Забайкальский край	55.2	15.0	17.7	33.4	7.6	21.7	0.645	1.0	1.2	0.774	0.387	5.3	7.7	-2.4

Продолжение таблицы 7
Table 7 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов, тыс. га	Фракции биомассы, ц/га					Вынос азота, ц/га					Статьи баланса гумуса, ц/га		
		Общая биомасса фотосинтеза, ОБФ	Урожай, У	Побочная прдукция (солома), Пп	Пожнивные остатки, По	Корневые остатки, К	Вынос азота с У и Пп	Коэфф., в завис. от гран. состава, Кп	Коэфф. на зерновые, Кз	Вынос азота с У, Ny	Вынос азота из почвы, Nпоч	Поступление, Гум	Минерализация, Гмин	Баланс гумуса, БГ
Приморский край	12.4	17.8	17.9	33.8	7.7	21.9	0.653	1.0	1.2	0.784	0.392	5.3	7.8	-2.5
Хабаровский край	1.7	17.9	20.9	38.9	8.9	24.6	0.760	1.0	1.2	0.912	0.456	6.0	9.1	-3.1
Амурская область	80.2	20.9	11.1	22.2	5.0	15.7	0.321	1.0	1.2	0.385	0.193	3.7	3.9	-0.2
Еврейская автономная область	1.7	16.4	1.7	6.2	1.2	7.3	0.076	1.0	1.2	0.091	0.046	1.5	0.9	0.6

При этом, согласно модели РосНИИземпроекта, величина отрицательного БГ была больше в субъектах с повышенным урожаем, что отмечалось на почвах более легкого гранулометрического состава. Наибольший отрицательный баланс был отмечен под зерновыми в республике Крым (-12.3 ц/га) и Краснодарском крае (-12.2 ц/га). Наименьший отрицательный БГ, равный -0.8 ц/га, был в Амурской области и Республике Бурятия. В субъектах черноземной зоны влияние повышенного урожая зерновых на увеличение отрицательного БГ до определенной степени нивелировалось тяжелосуглинистым гранулометрическим составом почв, при котором вынос азота из почвы снижается.

Во всех федеральных округах БГ под зерновыми культурами был отрицательным. Наибольшая величина отрицательного БГ в почвах получена в Центральном (-8.8 ц/га), Северо-Западном (-8.5 ц/га) и Южном (-8.5 ц/га) федеральных округах. Наименьшая величина отрицательного БГ в почвах отмечена в Уральском (-1.0 ц/га) и Дальневосточном (-2.0 ц/га).

Оценка зависимости БГ от ОБФ показала, что согласно t-критерию Стьюдента, представленные регрессионные уравнения являются значимыми (табл. 8).

Основанием для заключения является то, что рассчитанное значение превышает табличное, взятое на 5%-ном уровне значимости при 69 степенях свободы для почв под озимой и при 8 степенях свободы – под яровой пшеницей. Согласно шкале Чеддока, (Закс, 1974), теснота корреляционной связи баланса гумуса от ОБФ для озимой пшеницы оценивается как высокая, а для яровой – как очень высокая. Величина критерия Фишера, рассчитанная по зависимости БГ от ОБФ озимой пшеницы, позволила заключить, что качество прогноза по этому уравнению сравнимо с точностью прогноза по среднему. Значение критерия Фишера для яровой пшеницы значительно превышало табличную величину, что свидетельствует о более высокой точности прогноза по уравнению регрессии в сравнении с прогнозом по среднему.

Как видно из таблицы 8, БГ под зерновыми культурами, рассчитанный по методике РосНИИземпроекта, имеет отрицательную линейную корреляцию с ОБФ, т. е. большее поступление растительных остатков приводит к понижению накопления гуму-

са. Этот результат находится в противоречии с существующими данными о том, что увеличение поступления органических остатков в почву приводит к усилению процессов гумусообразования (Орлов, 1992). Полученный результат свидетельствует о том, что методика РосНИИземпроекта воспроизводит ошибку, заложенную в логическую модель подсчета БГ. Одним из наиболее значимых источников ошибки является допущение того, что, восполняемая за счет минерализации гумуса доля потребности культуры в азоте принимается одинаковой для разных уровней урожайности и составляет половину от потребности культуры. Вместе с тем математическая платформа выполнения подсчетов обеспечивает получение достоверных и статистически значимых результатов (табл. 8).

Таблица 8. Оценка качества регрессионной зависимости БГ, рассчитанного по методике РосНИИземпроекта (Бгзп), от ОБФ в почвах под зерновыми культурами
Table 8. Assessment of the quality of the regression dependence of HB, calculated by the RosNIIzemproekt method (Bgzp), on the TBP in soils under grain crops

Регрессионная зависимость Бгзп от ОБФ	t-критерий Стьюдента		Коэффициент корреляции (R)		F-критерий Фишера	
	t факт. (tb =|b|/ SE)	t табл.	R факт.	R крит.	F факт.	F табл.
БГзп1х = 6.69 – 0.0487*ОФ1	2.74	1.995	- 0.744	0.232	84.06	254.38
БГзп2 = 1.45 – 0.0412*ОФ2	68.67	2.26	- 0.999	0.666	49.93	58.91

Примечание. Здесь и далее индекс 1 означает, что БГ определялся на полях под озимой пшеницей, индекс 2 – под яровой пшеницей.
Note. Hereinafter index 1 means that Humus balance (HB) was determined on fields under winter wheat, index 2 – under spring wheat.

2. Метод ЦИНАО (2000)

БГ, рассчитанный по методике ЦИНАО, представлен в таблицах 9 и 10. Как следует из таблицы 9, в почвах пашни под озимой пшеницей в 49 субъектах БГ является положительным и изменяется от 0.1 до 16.8 ц/га. В 14 субъектах он отрицателен и варьирует от -0.1 до -13.0 ц/га.

В одном субъекте (Омская область) БГ нейтральный. В почвах пашни величина БГ под яровой пшеницей варьирует от -3.2 до -10.3 ц/га (табл. 10). При этом отрицательные значения БГ в почвах пашни под зерновыми культурами приурочены к субъектам ареала дерново-подзолистых почв таежно-лесной зоны. По всей видимости, это было связано с относительно низкой урожайностью зерновых и более высоким коэффициентом минерализации гумуса в этих субъектах.

БГ в пяти федеральных округах является положительным: в Южном – 9.3 ц/га, в Центральном – 5.9, в Северо-Западном – 5.6 ц/га, в Приволжском – 3.4 и в Северо-Кавказском – 0.3 ц/га. В трех федеральных округах БГ в почвах под зерновыми культурами характеризовался отрицательными значениями: в Уральском он был равен -1.4 ц/га, в Сибирском – -1.6, в Дальневосточном – -6.7 ц/га.

Оценка качества регрессионной зависимости БГ от ОБФ в почвах под зерновыми культурами является достоверной для озимой пшеницы, так как фактическое значение t-критерия превышает табличное. Для яровой пшеницы достоверность связи не подтверждается, поскольку фактическое значение t-критерия на 5%-ном уровне значимости было меньше табличного.

В соответствии со шкалой Чеддока, теснота коррелятивной связи БГ от ОБФ для озимой пшеницы оценивается как высокая, для яровой как умеренная. Величина критерия Фишера, рассчитанная по зависимости БГ от ОБФ как озимой, так и яровой пшеницы, оказалась ниже табличного значения, из чего следует, что качество прогноза по обоим уравнениям сравнимо с точностью прогноза по среднему.

Таблица 9. Средняя величина БГ в почвах под посевами озимой пшеницы в субъектах РФ (методика ЦИНАО, 2000)
Table 9. Average value of HB in soils under winter wheat in the regions of the Russian Federation (TSINAO Method, 2000)

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов тыс. га	Урожай, У ц/га	Коэффициент выхода растительных остатков, Кр	Выход растительных остатков, Р ц/га	Коэфф. гумификации, Кгум	Количество образованного гумуса, Ггум	Содержание гумуса в почве, %	Мощность пахотного слоя, см	Объемная масса пахотного слоя, г/см^3	Коэфф. минерализации гумуса, km	Относительный индекс биологической продуктивности, kb0	Минерализация гумуса, М	Баланс гумуса, БГ
Российская Федерация	16.723	44.5	1.3	60.19	0.18	10.8	3.98	21.9	1.29	0.0060	1.11	7.5	3.3
Центральный федеральный округ	3911.8	49.9	1.3	66.69	0.18	12.0	3.14	22.0	1.31	0.0060	1.11	6.1	5.9
Белгородская область	437.5	56.2	1.3	75.53	0.25	18.9	4.78	23.0	1.26	0.0052	1.11	8.0	10.9
Брянская область	124.9	44.4	1.3	60.06	0.18	10.8	2.25	21.3	1.34	0.0110	1.11	7.8	3.0
Владимирская область	26.4	26.2	1.5	39.75	0.18	7.2	1.84	21.5	1.41	0.0110	1.11	6.8	0.4
Воронежская область	836.2	47.6	1.3	64.22	0.25	16.1	4.83	23.4	1.26	0.0052	1.11	8.0	8.1
Ивановская область	21.1	23.5	1.5	36.00	0.18	6.5	1.70	21.7	1.38	0.0110	1.11	6.2	0.3
Калужская область	39.5	30.3	1.3	41.08	0.18	7.4	1.99	21.3	1.39	0.0110	1.11	7.2	0.2
Костромская область	26.9	17.9	1.5	27.60	0.18	5.0	1.92	21.7	1.32	0.0110	1.11	6.7	-1.7
Курская область	421.2	60.6	1.3	80.99	0.25	20.2	4.60	22.6	1.27	0.0052	1.11	7.6	12.6
Липецкая область	370.4	54.6	1.3	72.54	0.25	18.1	4.62	22.5	1.27	0.0052	1.11	7.6	10.5

Продолжение таблицы 9
Table 9 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов тыс. га	Урожай, У ц/га	Коэффициент выхода растительных остатков, Кр	Выход растительных остатков, Р ц/га	Коэфф. гумификации, Кгум	Количество образованого гумуса, Ггум	Содержание гумуса в почве, %	Мощность пахотного слоя, см	Объемная масса пахотного слоя, г/см^3	Коэфф. минерализации гумуса, km	Относительный индекс биологической продуктивности, kb0	Минерализация гумуса, М	Баланс гумуса, БГ
Московская область	85.0	41.0	1.3	53.30	0.18	9.6	2.00	21.3	1.36	0.0110	1.11	7.1	2.5
Орловская область	404.6	51.7	1.3	70.98	0.25	17.7	2.70	21.3	1.36	0.0052	1.11	4.5	13.2
Рязанская область	339.2	47.3	1.3	61.88	0.18	11.1	4.04	22.1	1.29	0.0060	1.11	7.7	3.4
Смоленская область	43.4	28.5	1.5	43.65	0.18	7.9	3.76	21.7	1.32	0.0110	1.11	13.2	-5.3
Тамбовская область	438.6	45.9	1.3	60.71	0.25	15.2	1.65	21.4	1.28	0.0052	1.11	5.5	9.7
Тверская область	11.9	36.9	1.3	48.75	0.18	8.8	5.03	23.0	1.27	0.0110	1.11	17.9	-9.1
Тульская область	304.5	48.4	1.3	65.65	0.18	11.8	1.80	21.3	1.25	0.0060	1.11	3.2	8.6
Ярославская область	6.3	23.7	1.5	36.15	0.18	6.5	3.94	21.9	1.30	0.0110	1.11	13.7	-7.2
Северо-Западный федеральный округ	128.4	49.2	1.3	64.35	0.18	11.9	2.43	22.9	1.23	0.0110	0.84	6.3	5.6
Вологодская область	1.5	22.0	1.5	33.0	0.18	5.9	2.25	22.3	1.29	0.0110	0.84	6.0	-0.1
Калининградская область	84.9	54.7	1.3	71.1	0.18	12.8	3.00	23.0	1.25	0.0110	0.84	8.0	4.8
Ленинградская область	8.7	39.5	1.5	59.3	0.18	10.7	2.48	23.5	1.19	0.0110	0.84	6.4	4.3
Новгородская область	1.6	28.5	1.3	37.1	0.18	6.7	2.09	22.5	1.19	0.0110	0.84	5.2	1.5
Псковская область	31.7	39.5	1.3	50.7	0.18	9.1	2.35	23.1	1.23	0.0110	0.84	6.2	2.9

Продолжение таблицы 9
Table 9 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов тыс. га	Урожай, У ц/га	Коэффициент выхода растительных остатков, Кр	Выход растительных остатков, Р ц/га	Коэфф. гумификации, Кгум	Количество образованого гумуса, Ггум	Содержание гумуса в почве, %	Мощность пахотного слоя, см	Объемная масса пахотного слоя, г/см^3	Коэфф. минерализации гумуса, km	Относительный индекс биологической продуктивности, kb0	Минерализация гумуса, М	Баланс гумуса, БГ
Южный федеральный округ	6895.3	46.8	1.3	64.48	0.25	16.1	3.29	22.4	1.36	0.0052	1.30	6.8	9.3
Республика Адыгея (Адыгея)	82.3	50.3	1.5	75.5	0.25	18.9	3.74	25.2	1.39	0.0052	1.30	8.9	10.0
Республика Калмыкия	244.8	26.8	1.3	34.8	0.25	8.7	1.93	18.0	1.44	0.0052	1.30	3.4	5.3
Краснодарский край	1591.4	66.4	1.5	99.6	0.25	24.9	3.85	23.7	1.31	0.0052	1.30	8.1	16.8
Волгоградская область	1657.2	35.4	1.3	59.93	0.25	15.0	3.16	22.0	1.35	0.0052	1.30	6.2	8.8
Астраханская область	4.1	32.9	1.3	48.62	0.25	12.2	2.72	11.0	1.39	0.0052	1.30	2.8	9.4
Ростовская область	3013.4	44.9	1.3	52.39	0.25	13.1	3.78	23.1	1.31	0.0052	1.30	7.7	5.4
Северо-Кавказский федеральный округ	2078.4	38.2	1.5	31.50	0.25	7.9	3.73	23.1	1.31	0.0052	1.30	7.6	0.3
Республика Дагестан	77.6	23.6	1.3	42.12	0.25	10.5	3.48	20.4	1.27	0.0052	1.30	6.1	4.4
Республика Ингушетия	12.7	32.6	1.3	44.85	0.25	11.2	3.76	24.1	1.29	0.0052	1.30	7.9	3.3
Кабардино-Балкарская Республика	45.2	35.7	1.3	68.77	0.25	17.2	3.80	23.4	1.33	0.0052	1.30	8.0	9.2
Карачаево-Черкесская Республика	21.6	47.3	1.3	41.21	0.25	10.3	3.96	23.8	1.30	0.0052	1.30	8.3	2.0

Продолжение таблицы 9
Table 9 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов тыс. га	Урожай, У ц/га	Коэффициент выхода растительных остатков, Кр	Выход растительных остатков, Р ц/га	Коэфф. гумификации, Кгум	Количество образованого гумуса, Ггум	Содержание гумуса в почве, %	Мощность пахотного слоя, см	Объемная масса пахотного слоя, г/см^3	Коэфф. минерализации гумуса, km	Относительный индекс биологической продуктивности, kb0	Минерализация гумуса, М	Баланс гумуса, БГ
Республика Северная Осетия-Алания	25.6	31.1	1.5	43.95	0.25	11.0	3.72	24.1	1.32	0.0052	1.30	8.0	3.0
Чеченская Республика	98.4	27.4	1.3	53.82	0.25	13.5	3.82	23.7	1.29	0.0052	1.30	8.0	5.5
Ставропольский край	1797.2	39.5	1.3	52.52	0.25	13.1	3.60	22.0	1.34	0.0052	1.30	7.2	5.9
Приволжский федеральный округ	3463.9	38.5	1.3	53.30	0.18	9.6	3.75	22.6	1.31	0.0060	0.93	6.2	3.4
Республика Башкортостан	132.0	39.4	1.3	42.51	0.18	7.7	5.24	23.0	1.31	0.0060	0.93	8.8	-1.1
Республика Марий Эл	21.3	32.0	1.3	52.39	0.18	9.4	1.97	21.2	1.43	0.0060	0.93	3.2	6.2
Республика Мордовия	166.1	39.5	1.3	51.09	0.18	9.2	3.60	21.6	1.33	0.0060	0.93	3.9	5.3
Республика Татарстан (Татарстан)	343.1	39.0	1.3	45.11	0.18	8.1	5.14	23.7	1.32	0.0052	0.93	7.8	0.3
Удмуртская Республика	14.9	33.9	1.3	44.72	0.18	8.0	2.56	22.1	1.28	0.0060	0.93	4.0	4.0
Чувашская Республика (Чувашия)	70.6	34.4	1.5	42.75	0.18	7.7	3.17	21.2	1.37	0.0060	0.93	5.1	2.6
Пермский край	4.0	30.2	1.5	40.80	0.18	7.3	2.23	22.0	1.27	0.0110	0.93	6.4	0.9

Продолжение таблицы 9
Table 9 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов тыс. га	Урожай, У ц/га	Коэффициент выхода растительных остатков, Кр	Выход растительных остатков, Р ц/га	Коэфф. гумификации, Кгум	Количество образованого гумуса, Ггум	Содержание гумуса в почве, %	Мощность пахотного слоя, см	Объемная масса пахотного слоя, г/см^3	Коэфф. минерализации гумуса, km	Относительный индекс биологической продуктивности, kb0	Минерализация гумуса, М	Баланс гумуса, БГ
Кировская область	9.4	26.6	1.3	39.52	0.18	7.1	2.05	22.1	1.23	0.0110	0.93	5.7	1.4
Нижегородская область	195.8	30.0	1.3	42.12	0.18	7.6	2.70	21.3	1.36	0.0110	0.93	8.0	-0.4
Оренбургская область	302.2	29.8	1.3	62.53	0.25	15.6	5.08	24.2	1.28	0.0052	0.93	7.6	8.0
Пензенская область	372.2	45.8	1.3	60.97	0.25	15.2	4.24	22.3	1.29	0.0052	0.93	5.9	9.3
Самарская область	413.3	45.2	1.3	51.22	0.25	12.8	5.40	24.6	1.26	0.0060	0.93	9.3	3.5
Саратовская область	1168.1	37.7	1.3	52.13	0.25	13.0	3.68	23.0	1.33	0.0052	0.93	5.4	7.6
Ульяновская область	251.0	38.1	1.5	40.65	0.18	7.3	4.39	22.6	1.30	0.0060	0.93	7.2	0.1
Уральский федеральный округ	16.5	25.2	1.5	38.55	0.18	6.9	5.49	20.8	1.31	0.0060	0.93	8.3	-1.4
Курганская область	6.0	24.4	1.5	40.65	0.25	10.2	5.81	19.5	1.33	0.0052	0.93	8.3	1.9
Свердловская область	0.8	28.3	1.5	36.00	0.18	6.5	4.85	22.0	1.30	0.0060	0.93	7.7	-1.2
Тюменская область	2.4	23.4	1.5	44.55	0.18	8.0	6.36	21.5	1.30	0.0060	0.93	9.9	-1.9
Челябинская область	7.3	26.0	1.5	41.10	0.18	7.4	4.94	20.2	1.32	0.0060	0.93	7.3	0.1
Сибирский федеральный округ	228.4	25.9	1.5	31.50	0.18	5.7	5.49	21.0	1.30	0.0060	0.81	7.3	-1.6
Республика Алтай	19.3	16.4	1.5	24.60	0.18	4.4	3.42	5.0	1.34	0.0060	0.81	1.1	3.3

Продолжение таблицы 9
Table 9 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов тыс. га	Урожай, У ц/га	Коэффициент выхода растительных остатков, Кр	Выход растительных остатков, Р ц/га	Коэфф. гумификации, Кгум	Количество образованого гумуса, Ггум	Содержание гумуса в почве, %	Мощность пахотного слоя, см	Объемная масса пахотного слоя, г/см^3	Коэфф. минерализации гумуса, km	Относительный индекс биологической продуктивности, kb0	Минерализация гумуса, М	Баланс гумуса, БГ
Республика Тыва	0.3	16.4	1.5	24.60	0.25	6.2	2.68	19.1	1.36	0.0060	0.81	3.4	2.8
Республика Хакасия	159.7	25.3	1.5	40.95	0.25	10.2	7.11	20.0	1.28	0.0060	0.81	8.8	1.4
Алтайский край	5.8	26.2	1.5	39.90	0.25	10.0	5.56	22.4	1.27	0.0052	0.81	6.7	3.3
Красноярский край	405.9	14.2	1.5	21.30	0.18	3.8	6.03	21.2	1.29	0.0110	0.81	14.7	-10.9
Иркутская область	23.7	28.2	1.5	41.10	0.18	7.4	4.59	21.7	1.30	0.0110	0.81	11.5	-4.1
Кемеровская область Кузбасс	21.0	30.3	1.3	42.90	0.18	7.7	5.63	21.8	1.28	0.0110	0.81	14.0	-6.3
Новосибирская область	10.8	18.3	1.5	27.75	0.18	5.0	6.45	21.6	1.28	0.0110	0.81	15.9	-10.9
Омская область	7.3	31.3	1.5	40.80	0.18	7.3	6.01	19.0	1.32	0.0060	0.81	7.3	0
Томская область	519.2	18.2	1.4	25.4	0.18	4.6	5.37	22.41	1.31	0.0110	0.81	14.0	-9.4
Дальневосточный федеральный округ	10.8	15.0	1.4	25.5	0.18	4.6	4.48	20.32	1.21	0.0110	0.93	11.3	-6.7
Республика Якутия (Саха)	67.8	11.5	1.4	21.0	0.18	3.8	2.56	20.15	1.19	0.0110	0.93	6.3	-2.5
Республика Бурятия	122.8	17.7	1.4	16.1	0.18	2.8	5.03	19.78	1.44	0.0110	0.93	14.7	-11.9
Забайкальский край	0.1	30.6	1.4	24.8	0.18	4.5	5.19	17.96	1.43	0.0110	0.93	13.6	-9.1
Приморский край	9.1	20.9	1.3	39.8	0.18	7.2	3.55	21.67	1.13	0.0110	0.93	8.9	-1.2

Продолжение таблицы 9
Table 9 continued

Параметры баланса / Регионы	Площадь посевов тыс. га	Урожай, У ц/га	Коэффициент выхода растительных остатков, Кр	Выход растительных остатков, Р ц/га	Коэфф. гумификации, Кгум	Количество образованого гумуса, Ггум	Содержание гумуса в почве, %	Мощность пахотного слоя, см	Объемная масса пахотного слоя, г/см^3	Коэфф. минерализации гумуса, km	Относительный индекс биологической продуктивности, kb0	Минерализация гумуса, М	Баланс гумуса, БГ
Хабаровский край	180.1	11.1	1.4	29.3	0.18	5.4	4.07	20.76	1.08	0.0110	0.93	9.3	-3.9
Амурская область	5.7	1.7	1.4	15.5	0.18	2.8	4.24	20.24	1.15	0.0110	0.93	10.1	-7.3
Еврейская автономная область	1.5	22.0	1.4	2.4	0.18	0.4	4.81	21.56	1.26	0.0110	0.93	13.4	-13.0

Таблица 10. Средняя величина БГ в почвах под посевами яровой пшеницы в регионах РФ (ЦИНАО, 2000)
Table 10. Average value of HB in soils under spring wheat in the regions of the Russian Federation (TsINAO, 2000)

Параметры баланса / Регионы	Площадь под озимой пшеницей, тыс. га	Урожай, У ц/га	Коэффициент выхода растительных остатков, Кр	Выход растит. остатков, Р, ц/га	Коэфф. гумификации, Кгум	Количество образованного гумуса, Ггум	Содержание гумуса в почве, %	Мощность пахотного слоя, см	Объемная масса пахотного слоя, г/см^3	Коэфф. минерализации гумуса, km	Относительный индекс биологической продуктивности, kb0	Минерализация гумуса, М	Баланс гумуса, БГ
Томская область	99.0	32.1	1.4	44.9	0.18	8.1	5.37	22.41	1.31	0.0110	0.81	14.0	-5.9
Дальневосточный федеральный округ	519.2	19.7	1.4	27.6	0.18	5.0	4.48	20.32	1.21	0.0110	0.93	11.3	-6.3
Республика Якутия (Саха)	1.8	12.4	1.4	17.4	0.18	3.1	2.56	20.15	1.19	0.0110	0.93	6.3	-3.2
Республика Бурятия	37.8	19.2	1.4	26.9	0.18	4.8	5.03	19.78	1.44	0.0110	0.93	14.7	-9.9
Забайкальский край	55.2	15.8	1.4	22.1	0.18	4.0	5.19	17.96	1.43	0.0110	0.93	13.6	-9.6
Приморский край	12.4	18.5	1.4	25.9	0.18	4.7	3.55	21.67	1.13	0.0110	0.93	8.9	-4.2
Хабаровский край	1.7	18.5	1.4	25.9	0.18	4.7	4.07	20.76	1.08	0.0110	0.93	9.3	-4.6
Амурская область	80.2	23.1	1.4	32.3	0.18	5.8	4.24	20.24	1.15	0.0110	0.93	10.1	-4.3
Еврейская автономная область	1.7	12.2	1.4	17.1	0.18	3.1	4.81	21.56	1.26	0.0110	0.93	13.4	-10.3

Как видно из таблицы 11, БГ под зерновыми культурами, рассчитанный по методике ЦИНАО, демонстрирует положительную линейную корреляцию с ОБФ (табл. 11). На положительную корреляцию БГ с ОБФ также указывают и положительные величины коэффициента корреляции. Таким образом, анализ показывает, что методика ЦИНАО производит результат, который не противоречит существующим представлениям об усилении процессов гумусообразования при увеличении поступления органических остатков в почву (Орлов, 1992).

Таблица 11. Оценка качества регрессионной зависимости БГ в почвах, рассчитанная по методике ЦИНАО (Бгц), от ОБФ под зерновыми культурами
Table 11. Assessment of the quality of the regression dependence of HB in soils, calculated using the TSINAO method (BGts), on the TPB under grain crops

Регрессионная зависимость	t-критерий Стьюдента		Коэффициент корреляции (R)		F-критерий Фишера	
	t факт. (tb =|b|/ SE)	t табл.	R факт.	R крит.	F факт.	F табл.
Бгзп от ОБФ БГц1 = 14.18 + 0.124*ОБФ1	2.21	1.995	0.718	0.232	72.32	254.38
БГц2 = -2.78+ 0.0701*ОБФ2	0.66	2.26	0.454	0.666	1.94	233.90

3. Сравнение результатов, полученных методами РосНИИземпроекта (1998) и ЦИНАО (2000)

Результаты расчета БГ, полученные по методике РосНИИземпроекта (1998), значительно отличаются от таковых, полученных по методике ЦИНАО (2000). Так при расчете по методике РосНИИземпроекта, Центральный, Северо-Западный и Южный

федеральные округа имели наиболее выраженные отрицательные значения БГ (-8.8, -8.5 и -8.5 ц/га соответственно). Те же федеральные округа по методике ЦИНАО (2000) характеризовались наиболее высокими положительными величинами БГ (5.9, 5.6 и 9.3 ц/га). В Дальневосточном округе, по сравнению с другими округами, БГ, полученный по методике РосНИИземпроекта (1998), составил -2.0 ц/га, в то время как по методике ЦИНАО он был -6.7 ц/га. Как следует из сопоставления показателей таблиц 6 и 7 с соответствующими данными таблиц 8 и 9, подобные различия отмечались и по субъектам РФ. В итоге величина БГ по РФ в целом по методике РосНИИземпроекта (1998) была отрицательной и составила -7.7 ц/га. По методике ЦИНАО величина БГ в почвах РФ в целом под посевами зерновых культур положительна и равна 3.3 ц/га.

Исследование выявило относительно небольшое (в интервале от +0.3 до -0.8 т/га) годичное изменение запасов гумуса. При среднем значении запасов гумуса в пахотных почвах РФ равном ≈108 т/га (Stolbovoy, 2002) средняя величина годичного изменения составляет ≈0.3%. Очевидно, что достоверное определение изменений содержания гумуса требует более длительного периода его накопления в почвах. Считается (IPCC, 2003), что достаточным периодом для насыщения почвы углеродом является срок 20 лет. Отметим, что этот период относится к продолжительности почвенного климатического проекта, т. е. фиксирует время его начала и завершения. При этом международные рекомендации не предусматривают выполнение промежуточных наблюдений.

Изучение качества методов расчета БГ в почвах агроэкосистем выявило логическую ошибку модели расчета в методике РосНИИземпроекта, согласно которой увеличение поступления растительных остатков приводит к снижению содержания гумуса в почве. Таким образом, методика РосНИИземпроекта не рекомендуется для практического использования в климатических проектах РФ.

4. Значение подсчетов БГ в учете выбросов парниковых газов РФ

Принимая методику ЦИНАО за основу развития националь-

ной модели управления БГ в почвах агроэкосистем, можно рассчитать суммарную величину секвестрации углеродных единиц, произведенную сельскохозяйственными почвами РФ под зерновыми культурами в 2022 г. Так, средняя величина БГ составляет 3.3 ц/га. Коэффициент пересчета содержания гумуса в углеродные единицы ($тCO_2$-экв/га) равен 0.216. Таким образом, средняя величина секвестрации углеродных единиц в почвах РФ под зерновыми культурами в 2022 г. составила 0.71 $тCO_2$-экв/га (3.3 ц/га гумуса X 0.216 = 0.71 $тCO_2$-экв/га). Общая площадь посевов зерновых в 2022 г. равнялась 16 723 тыс. га (табл. 6). Следовательно, суммарная величина секвестрации углерода в 2022 г. была около 11 млн 914 тыс. $тCO_2$-экв. Эта величина составляет почти 10% выбросов парниковых газов сельским хозяйством РФ в 2022 г. – 116.6 млн $тCO_2$-экв (Охрана…, 2022). Иными словами, согласно результатам подсчетов БГ, почвы под посевами зерновых культур компенсируют выбросы сельскохозяйственного производства и снизили последние практически до 105 млн $тCO_2$-экв в 2022 г.

Таким образом, адаптация методики ЦИНАО к задачам климатических проектов демонстрирует, что успех продвижения сельского хозяйства РФ к целям декарбонизации определяется не только улучшением технологий производства, но также связан с совершенствованием системы подсчетов углеродного баланса отрасли. При этом важно отметить, что в исследовании рассматривается около 17 млн га или почти 21% пахотных почв РФ. Очевидно, что необходим полный учет БГ всего массива пахотных почв, который может внести существенную корректировку углеродного баланса в масштабе страны.

В дополнение необходимо отметить, что представленные расчеты проведены в соответствии с международным стандартом MRV (Столбовой и др., 2023), т. е. являются легитимными для использования в климатических проектах РФ.

ВЫВОДЫ

Исследована возможность использования методов мониторинга плодородия почв на основе расчета баланса основных питательных элементов в севооборотах при различных уровнях интенсификации производства для климатических проектов. В числе

изученных были 2 метода, которые наиболее широко применяются для определения БГ в почвах: 1) метод РосНИИземпроекта (1998), 2) метод ЦИНАО (2000).

Показано, что метод РосНИИземпроекта (1998) содержит недостатки в части логической модели расчета средней величины БГ. В результате применения метода средняя величина БГ имеет отрицательную величину -7.7 ц/га для почв под зерновыми в агроэкосистемах РФ в целом. Метод РосНИИземпроекта (1998) не рекомендован к использования для климатических проектов в РФ.

Выявлено, что для климатических проектов более обосновано применение метода ЦИНАО (2000). Этот метод основывается на более логичной модели расчета. Согласно методу ЦИНАО, средняя величина БГ в почвах под зерновыми для России в целом в 2022 г. положительная и составляет 3.3 ц/га, что соответствует ≈0.71 тCO_2-экв/га углеродных единиц. Общая секвестрация углерода в почвах под зерновыми культурами в 2022 г. равнялась почти 11 млн 914 тыс. тCO_2-экв углеродных единиц. Эта величина компенсирует почти 10% выбросов парниковых газов сельским хозяйством РФ в 2022 г.

Определено относительно небольшое (в интервале от +0.3 до -0.8 т/га) годичное изменение БГ в почвах РФ под зерновыми. При средних запасах гумуса в пахотных почвах РФ равных 108 т/га абсолютная величина годичного изменения составляет около 0.3%. Статистически достоверное определение изменений требует отбора большого количества почвенных проб, что делает процедуру экономически излишне затратной (Stolbovoy et al., 2007). Другой опцией достоверного определения изменений содержания гумуса можно предположить увеличение длительности периода его накопления в почвах. Считается (IPCC, 2003), что достаточным временем для насыщения почвы углеродом является срок 20 лет. Отметим, что этот период относится к продолжительности почвенного климатического проекта, т. е. фиксирует время его начала и завершения. При этом международные рекомендации не предусматривают выполнение промежуточных наблюдений.

Для обеих моделей мониторинга плодородия почв рассчитана оценка качества регрессионной зависимости БГ от общей биомассы фотосинтеза (ОБФ). Показано, что согласно t-критерию

Фишера на 5%-ном уровне значимости исследованная связь является достоверной и характеризуется квадратами коэффициента корреляции (R^2), равными 0.554 и 0.998. В соответствии со шкалой Чеддока, теснота коррелятивной связи БГ с ОБФ для озимой пшеницы оценивается как высокая, для яровой – как очень высокая.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 20432–83. Удобрения. Термины и определения.
2. ГОСТ 26213–2021. Почвы. Методы определения органического вещества.
3. *Закс Л.* Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.
4. *Кононова М.М.* Кристаллохимические исследования пироксенов Украинского щита. Киев: Ин-т геол. наук, 1984. 52 с.
5. *Крылатов А.К., Носов С.И., Юдицкий Б.А., Бондарев Б.Е., Первушина В.Н.* Динамика баланса гумуса на пахотных землях Российской Федерации. М.: Госкомзем России, РосНИИземпроект, 1998. 49 с.
6. Методические указания по определению баланса питательных веществ азота, фосфора, калия, гумуса, кальция. М.: ЦИНАО, 2000. 39 с.
7. *Минеев В.Г.* Химизация земледелия и плодородная среда. М.: Агропромиздат, 1990. 288 с.
8. *Орлов Д.С.* Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. М.: Изд-во МГУ, 1990. 324 с.
9. *Орлов Д.С.* Химия почв. М.: Изд-во МГУ, 1992. 399 с.
10. Охрана окружающей среды в России. 2022: Стат. сб. / Росстат. М.: Росстат, 2022. 115 с.
11. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021621903 от 8 сентября 2021 г.
12. Сельское хозяйство в России. 2023: Стат.сб./Росстат – С 29. М., 2023. 103 с.
13. *Семенов В.М., Когут Б.М.* Почвенное органическое вещество. М.: ГЕОС, 2015. 233 с.
14. *Столбовой В.С., Гребенников А.М.* Индикаторы качества почв пахотных угодий РФ // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2020. Вып. 104. С. 31–67. DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-31-67.
15. *Столбовой В.С., Филь П.П.* Оценка содержания углерода в сельскохозяйственных почвах Европейской территории России для климатических проектов // Известия РАН. Серия географическая. 2023. Т. 87. № 4. С. 1–16.

16. *Тюрин И.В.* Органическое вещество почв и его роль в почвообразовании и плодородии. Л.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
17. Федеральный закон от 02.07.2021 № 296-ФЗ “Об ограничении выбросов парниковых газов” // Собрание законодательства Российской Федерации. 2021. № 27 (часть II). Ст. 5376.
18. IPCC. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry / *J. Penman, M. Guitarsky, T. Hiraishi* (Eds.). Hayama: Inst. Glob. Envir. Strateg., 2003. 590 p.
19. IPCC. Guidelines for National greenhouse gas inventories, prepared by the National greenhouse gas inventories programme / *H.S. Eqqleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, K. Tanabe* (Eds.). Hayama: Inst. Glob. Envir. Strateg., 2006. 20 p.
20. *Stolbovoy V.* Carbon in agricultural soils of Russia / *C.A.S. Smith* (Ed.) // Soil organic carbon and agriculture: developing indicators for policy analyses. Proceedings of an OECD expert meeting. Ottawa: Agriculture and Agri-Food Canada, Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, 2002. P. 301–306.
21. *Stolbovoy V., Montanarella L., Filippi N., Jones A., Gallego J., Grassi G.* Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the European Union. Ver. 2. EUR 21576 EN/2. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007. 56 p. https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR21576_2.pdf (дата обращения: 26.04.2023).
22. *Watson R.T., Noble I.R., Bolin B. et al.* Land use, land use change, and forestry. IPCC Special Report. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2000. 375 p.

REFERENCES

1. State standard, GOST 20432–83, *Udobreniya. Terminy i opredeleniya* (Fertilizers. Terms and definitions).
2. State standard, GOST 26213–2021, *Pochvy. Metody opredeleniya organicheskogo veshchestva* (Soils. Methods for the studying of organic matter).
3. Zaks L., *Statisticheskoe otsenivanie* (Statistical estimation), Moscow: Statistika, 1976, 598 p.
4. Kononova M.M., *Kristallokhimicheskie issledovaniya piroksenov Ukrainskogo shchita* (Crystal-chemical studies of pyroxenes of the Ukrainian Shield), Kiev: In-t geol. nauk, 1984, 52 p.
5. Krylatov A.K., Nosov S.I., Yuditskii B.A., Bondarev B.E., Pervushina V.N., *Dinamika balansa gumusa na pakhotnykh zemlyakh Rossiiskoi*

Federatsii (Dynamics of humus balance in arable lands of the Russian Federation), Moscow: Goskomzem Rossii, RosNIIzemproekt, 1998, 49 p.
6. *Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu balansa pitatel'nykh veshchestv azota, fosfora, kaliya, gumusa, kal'tsiya* (Methodical guidelines for determining the balance of nutrients nitrogen, phosphorus, potassium, humus, calcium), Moscow: TsINAO, 2000, 39 p.
7. Mineev V.G., *Khimizatsiya zemledeliya i plodorodnaya sreda* (Chemization of agriculture and fertile environment), Moscow: Agropromizdat, 1990, 288 p.
8. Orlov D.S., *Gumusovye kisloty pochv i obshchaya teoriya gumifikatsii* (Humic acids of soils and the general theory of humification), Moscow: Izd-vo MGU, 1990, 324 p.
9. Orlov D.S., *Khimiya pochv* (Soil chemistry), Moscow: Izd-vo MGU, 1992, 399 p.
10. *Okhrana okruzhayushchei sredy v Rossii* (Environmental Protection in Russia), Moscow: Rosstat, 2022, 115 p.
11. Svidetel'stvo o gosudarstvennoi registratsii bazy dannykh No. 2021621903 ot 8 sentyabrya 2021 g. (Certificate of State Database Registration No. 2021621903 dated September 8, 2021).
12. *Agriculture in Russia*. 2023: Stat. sat. / Rosstat – C 29, Moscow, 2023, 103 p.
13. Semenov V.M., Kogut B.M., *Pochvennoe organicheskoe veshchestvo* (Soil Organic Matter), Moscow: GEOS, 2015, 233 p.
14. Stolbovoy V.S., Grebennikov A.M., Soil quality indicators of arable lands in the Russian Federation, *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2020, Vol. 104, pp. 31–67, DOI: 10.19047/0136-1694-2020-104-31-67.
15. Stolbovoy V.S., P.P. Fil', Otsenka soderzhaniya ugleroda v sel'skokhozyaistvennykh pochvakh Evropeiskoi territorii Rossii dlya klimaticheskikh proektov (Assessment of Carbon Content in Agricultural Soils of the European Part of Russia for Climate Projects), *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2023, Vol. 87, No. 4, pp. 1–16.
16. Tyurin I.V., *Organicheskoe veshchestvo pochv i ego rol' v pochvoobrazovanii i plodorodii* (Soil Organic Matter and Its Role in Soil Formation and Fertility), Leningrad: Sel'khozgiz, 1937, 287 p.
17. Federal Law dated 07.02.2021 No. 296-FZ (On the Limitation of greenhouse gas emissions), 2021, No. 27 (chast' II), art. 5376.
18. Penman J., Guitarsky M., Hiraishi T. (Eds.), *IPCC. Good practice guidance for land use, land-use change and forestry*, Hayama: Inst. Glob. Envir. Strateg., 2003, 590 p.
19. Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T., Tanabe K. (Eds.), *IPCC. Guidelines for National greenhouse gas inventories, prepared by the National*

greenhouse gas inventories programme, Hayama: Inst. Glob. Envir. Strateg., 2006, 20 p.
20. Stolbovoy V., Carbon in agricultural soils of Russia, In: *Soil Organic Carbon and Agriculture: Developing Indicators for Policy Analyses. Proceedings of an OECD expert meeting, Ottawa Canada*, Ottawa: Agriculture and Agri-Food Canada, Paris: Organization for Economic Co-operation and Development, 2002, pp. 301–306.
21. Stolbovoy V., Montanarella L., Filippi N., Jones A., Gallego J., Grassi G., Soil sampling protocol to certify the changes of organic carbon stock in mineral soil of the European Union. Ver. 2. EUR 21576 EN/2, Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities, 2007, 56 p., URL: https://esdac.jrc.ec.europa.eu/ESDB_Archive/eusoils_docs/other/EUR21576_2.pdf.
22. Watson R.T., Noble I.R., Bolin B. et al., *Land use, land use change, and forestry. IPCC Special Report*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2000, 375 p.