

Оценка и прогноз гумусового состояния орошаемых темно-каштановых почв Заволжья

Вячеслав Михайлович Янюк, Любовь Геннадьевна Романова, Петр Владимирович Тарасенко

Саратовский государственный аграрный университет имени Н. И. Вавилова, г. Саратов, Россия
yanyuk96@rambler.ru

Аннотация. Одним из проблемных аспектов воспроизводства плодородия орошаемых почв является отсутствие верифицированных моделей и параметров, необходимых для прогнозирования гумусового состояния. Формирования баланса органического вещества орошаемых почв в значительной мере предопределяется не только спецификой эколого-ландшафтных факторов почвообразования, но и условиями хозяйственного использования: состав севооборота, уровень интенсификации производства, определяющий продуктивность культур, способы использования побочной продукции (соломы зерновых) и дозы органических удобрений. На основе результатов 18 летних наблюдений в производственном опыте за параметрами плодородия темно-каштановых почв проведена верификация балансовой линейно-кинетической модели гумусового состояния. Предложен авторский подход прогноза баланса гумуса пахотного слоя почв для оценки влияния на него структуры и продуктивности севооборота орошаемой пашни. Дана количественная оценка процессов дегумификации орошаемых почв, обусловленная изменениями в структуре использования пашни, где преобладающими стали овощные культуры.

Ключевые слова: плодородие; гумусовое состояние почв; Заволжье; пахотный слой; удобрения.

Для цитирования: Янюк В. М., Романова Л. Г., Тарасенко П. В. Оценка и прогноз гумусового состояния орошаемых темно-каштановых почв Заволжья // Аграрный научный журнал. 2021. № 11. С. 59-63. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i11pp59-63>.

AGRONOMY

Original article

Assessment and forecast of the humus state of irrigated dark chestnut soils in the Trans-Volga region

Vyacheslav M. Yanyuk, Lyubov G. Romanova, Petr V. Tarasenko

Saratov State Agrarian University named after N. I. Vavilov, Saratov, Russia
yanyuk96@rambler.ru

Abstract. One of the problematic aspects of the fertility reproduction of irrigated soils is the lack of verified models and parameters necessary to predict the humus state. The formation of the balance of organic matter in irrigated soils is largely predetermined not only by the specificity of ecological and landscape factors of soil formation, but also by the conditions of economic use: the composition of the crop rotation, the level of production intensification, which determines the productivity of crops, ways of using by-products (grain straw) and doses of organic fertilizers. Based on the results of 18 years of observations in the production experience of the fertility parameters of dark chestnut soils, the balance linear-kinetic model of the humus state was verified. The author's approach to forecasting the humus balance of the arable layer of soils is proposed to assess the effect of the structure and productivity of the crop rotation of irrigated arable land. A quantitative assessment of dehumification processes of irrigated soils is given, due to changes in the structure of the use of arable land, where vegetable crops are predominant.

Keywords: fertility; humus state of soils; Trans-Volga region; arable layer; fertilizers..

For citation: Yanyuk V. M., Romanova L. G., Tarasenko P. V. Assessment and forecast of the humus state of irrigated dark chestnut soils in the Trans-Volga region. Agrarny nauchny zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2021;(11):59–63. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2021i11pp59-63>.

Введение. Вовлечение почв аридной зоны в орошаемое земледелие ведет не только к формированию принципиально нового водного режима, с которым непосредственно связаны и ряд факторов, определяющих существенные изменения формирования баланса органического вещества почв. Причем разные факторы, как указывается в ряде работ, могут иметь разнонаправленное воздействие. С дополнительным ресурсом влаги, определяющим увеличение продуктивности культур и связанную с ней емкость биологического круговорота, увеличивается объем приходных статей баланса органического вещества [1, 2]. Одновременно, при повышенной увлажненности почв аридной зоны возрастает и микробиологическая активность, с которой связаны процессы трансформации растительных остатков в собственно специфические органические соединения почвы – гумус, а также его минерализация [1, 2].

Орошаемое земледелие предполагает и более высокий уровень техногенной нагрузки в виде повышенных доз минеральных удобрений, сопровождающийся более частым воздействием почвообрабатывающей и уборочной техники. Указанные факторы вместе с искусственным дождем с более высокими энергетическими показателями, чем естественные осадки, ведут к изменениям водно-физических свойств, влияющим на условия формирования воздушного режима корнеобитаемого слоя почв и микробиологическую активность [6, 8, 11]. Одновременно, при летних поливах возникает промачивание пахотного слоя, которое в степной и сухостепной зонах характерно только в осенне-зимний период, ведущее к миграции водорастворимого гумуса за пределы пахотного слоя почв [6, 7].

Обоснованно судить об изменениях этих интегральных характеристик гумусового состояния почв из-за крайне высокой инерционности процессов можно только по результатам длительных опытов. От точности и уровня адекватности определения параметров трансформации органического вещества почв и статей его баланса напрямую зависят объективность агроэкологической оценки земель и эффективность мер по обеспечению воспроизводства их плодородия.

Дополнительным фактором последних трех десятилетий, влияющим на условия формирования баланса гумуса орошаемых почв, стало изменение структура выращиваемых культур. В связи с резким сокращением животноводс-





тва в общественном производстве в структуре посевов практически исчезли кормовые культуры. В настоящее время основная доля площади орошаемых земель занята овощными культурами и значительно меньше используется в производстве зерновых и зернобобовых. Новый набор культур коренным образом изменил условия формирования баланса гумуса, делая необходимым соответствующих корректировок в ранее разработанные нами параметры воспроизводства плодородия орошаемых почв [8, 12].

Цель исследования – верификация модели и параметров трансформации органического вещества почв орошаемой пашни для прогнозирования условий воспроизводства плодородия почв в современной системе орошаемого земледелия.

Методика исследований. Наблюдения за процессами формирования баланса гумуса с целью верификации модели и параметров трансформации органического вещества почв орошаемой пашни проводили в производственном опыте в ОПХ ВолжНИИГиМ. Характеристика объекта и методика проведения опыта достаточно детально изложены в диссертационных работах и коллективных монографиях с участием авторов [7, 8, 12]. Почвенный покров опытного поля представлен темно-каштановыми среднесуглинистыми почвами, третьей надпойменной террасы долины р. Волги. Наблюдения проводили в течение трех ротаций (1981–1999 гг.) в шестипольном зерно-кормо-пропашном севообороте, включающем в себя следующий набор культур: зерновые – три поля (яровая пшеница, озимая пшеница и яровая пшеница с подсевом люцерны); многолетние травы – два поля (люцерна на сено и зеленый корм); кукуруза на силос.

Опыт включал в себя наблюдения за водным и пищевым режимом, продуктивностью культур и водно-физическими свойствами почв при различных вариантах управления пищевым режимом, предусматривающим внесение как только минеральных удобрений, рассчитанным на различный уровень продуктивности культур, так минеральных и органических удобрений (80 т/га один раз за ротацию). Контролем служил вариант орошения без внесения удобрений.

Отбор образцов почв на содержание гумуса до начала опыта проведено в пределах поля в слоях 0–30 и 30–60 см в 30-кратной повторности, в слое 60–100 см в 10-кратной, а по окончании третьей ротации в 20-кратной повторности по каждому варианту опыта в слоях 0–30 и 30–60 см. Определение содержания гумуса в образцах почв вели по общепринятому при агрохимических обследованиях методу Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213–91).

Приходные статьи баланса органического вещества (пожнивных и корневых остатков) определяли по статистическим зависимостям от урожайности культур согласно Методическим рекомендациям [4], параметры трансформации органического вещества (коэффициенты минерализации и гумификации) устанавливали по Усовершенствованной базе данных (ВНИИЗиЗПЭ) [10].

Результаты исследований. В ходе проведения наблюдений и аналитических определений получены следующие основные результаты по условиям формирования баланса органического вещества почв. При заложении опыта в 1981 г. содержание гумуса в пахотном слое составляло в среднем 2,73 %. С учетом объемной массы пахотного слоя исходные запасы гумуса в пахотном слое почв составляли 102 т/га. Более подробная информация по профильному распределению содержания гумуса, его качественному и групповому составу на опытном поле приведена в диссертационных работах авторов [7, 8, 12].

Как показали результаты анализов определения содержания гумуса по окончании третьей ротации севооборота (то есть за 18-летний период), его значения в вариантах без применения органических удобрений практически не изменились, составляя в среднем 2,73 и 2,77 %. Фактическая величина критерия достоверности различий Стьюдента ($t_{\text{факт}}$) не превышает 0,47, что на порядок ниже его критического значения для установленных в опыте параметров пространственного варьирования содержания гумуса 5–10 %.

Статистически достоверное изменение содержания гумуса в почвах на 99 % уровне значимости выявлены на варианте с внесением навоза. Содержание гумуса в пахотном слое почвы 0–30 см повысилось на 0,26 % и составило 2,98%, что отразилось на запасах гумуса, которые по сравнению с началом опыта возросли на 9 т/га и составили 111 т/га.

Таким образом, в результате 18-летних наблюдений было установлено, что в условиях орошения и достаточно высокой культуры земледелия на темно-каштановых почвах исследуемого участка сложился нулевой баланс гумуса на вариантах без внесения органических удобрений. С внесением достаточно высоких доз навоза (80 т/га за ротацию) он становится положительным.

Осредненные данные параметров продуктивности в различных вариантах производственного опыта приведены в табл. 1. Используя статистические модели массы пожнивных и корневых остатков, представленные в работе [4], параметры гумификации растительных остатков и навоза, предлагаемых ВНИИЗиЗПЭ [10], на основе полученных в опыте параметров продуктивности культур рассчитаны приходные статьи баланса гумуса за три ротации севооборота (см. табл. 1).

На основе данных об исходных запасах гумуса в балансовом слое почв с помощью коэффициентов минерализации гумуса под разными культурами, предлагаемых в работе ВНИИЗиЗПЭ [10], рассчитаны расходные статьи баланса гумуса – его минерализация. Таким образом, составлен баланс гумуса по вариантам опыта, соответствующий параметрам продуктивности почв. Среднеквадратическое отклонение рассчитанных по модели баланса запасов гумуса от фактически определяемых по анализам почв составило 2,1 т/га.

Математическое моделирование такой сложной динамической системы, как органическое вещество почв, учитывая его роль в оценке и управлении плодородия почв, получило широкое развитие, чему способствовало массовое распространение компьютеров. Обстоятельный обзор состояния проблемы математического моделирования круговорота органического углерода и азота в почве, выполненный в работе И.М. Рыжовой [9], указывает на наличие около 250 моделей, описывающих процессы превращения органического вещества почв. Их количество увеличивается примерно на 6% в год. При этом подавляющая часть моделей носит чисто исследовательский характер и не предназначена для массового применения. В основном это модели, предусматривающие описание различных пулов органического вещества почв, параметры трансформации которых характеризуются крайне высокой кинетической гетерогенностью. Скорость разложения разных пулов может отличаться на порядки. Вместе с тем, как показывают результаты многолетних наблюдений отечественных [3] и зарубежных [15] ученых, подбор и задание параметров экспериментально установленных трансформации органического вещества почв (коэффициентов минерализации и гумификации) обеспечивают приемлемый уровень сходимости фактически наблюдаемых и рассчитываемых по балансовой модели запасов гумуса, представленных одним не дифференцируемым пулом.

Условия формирования и баланс гумуса в производственном опыте за три ротации севооборота

Вариант опыта	Суммарная продуктивность за три ротации севооборота, ц. к. ед./га	Масса пожнивных и корневых остатков, ц/га	Образование гумуса, т/га	Минерализация гумуса, т/га	Баланс гумуса в слое 0–30 см, т/га	
					расчетный	по данным анализа почв
Органические и минеральные удобрения	1040	1129	39,5 (27,0*+12,5**)	28,3	+11,2	+9,0
Минеральные удобрения на средний уровень урожайности	1001	1110	26,6	25,2	+1,4	0
Минеральные удобрения на повышенный уровень урожайности	1038	1132	27,3	25,7	+1,6	-1,0
Без внесения удобрений (контроль орошаемый)	859	952	22,7	23,6	-0,9	+1,0

*27 т/га – образование гумуса за счет пожнивных и корневых остатков;

**12,5 т/га – образование гумуса за счет навоза.

Полученные в результате производственного опыта параметры урожайности культур, статистически достоверные фактические данные о запасах гумуса в балансовом слое почв по вариантам опыта послужили экспериментальной базой верификации балансовой линейно-кинетической модели запасов гумуса в пахотном слое почв, которая обычно описывается в следующем виде:

$$3\Gamma_T = 3\Gamma_0 + Y_p K_{пк} K_{гр} + D_y K_{гy} - 3\Gamma_0 K_m - ПГ_\phi - ПГ_{эp}, \quad (1)$$

где $3\Gamma_0$, $3\Gamma_T$ – начальные и конечные запасы гумуса в балансовом слое почв; Y_p – урожайность возделываемых культур; $K_{пк}$ – доля пожнивно-корневых остатков урожая, поступающих в почву при выращивании культуры; $K_{гр}$, $K_{гy}$ – коэффициенты гумификации растительных остатков и органических удобрений, соответственно; K_m – коэффициент минерализации гумуса; D_y – доза органических удобрений; $ПГ_\phi$ – потери гумуса из балансового слоя за счет вымывания водорастворимых фракций гумуса в нижележащие горизонты; $ПГ_{эp}$ – потери гумуса за счет эрозионных процессов.

Принимая во внимание следующие особенности формирования баланса гумуса: весьма инерционный характер изменений запасов гумуса при отсутствии явно выраженных эрозионных процессов, в котором как потери, так и прирост запасов гумуса не то что в годовом, но даже в севооборотном 5–6-летнем цикле, не превышают 2–3 %, аналитическое решение балансового уравнения (1) в отношении прогнозных запасов гумуса ($3\Gamma_T$) за промежуток времени T принимает следующий вид [12]:

$$3\Gamma_T = X 3\Gamma_0 (1 - \bar{K}_m)^T + \left[\bar{Y}_p \bar{K}_{пк} \bar{K}_{гр} + \bar{D}_{oy} K_{гy} \right] \frac{1 - (1 - \bar{K}_m)^T}{\bar{K}_m}, \quad (2)$$

где составляющие приходных статей баланса органического вещества (\bar{Y}_p , \bar{D}_{oy}) и коэффициенты его трансформации (\bar{K}_m , $\bar{K}_{гy}$) усреднены по севообороту.

В свою очередь модель (2) преобразуется в удобный для прогнозных расчетов вид:

$$3\Gamma_T = 3\Gamma_0 \left[(1 - K_m)^T \cdot (1 - K_{впг}) + K_{впг} \right], \quad (3)$$

где соотношение приходных (за счет поступления органического вещества) и расходных (за счет минерализации гумуса) статей задается в виде коэффициента восполнения потерь гумуса ($K_{впг}$):

$$K_{впг} = \frac{Y_p K_{пк} K_{гр} + D_{oy} K_{гy}}{3\Gamma_0 K_m}. \quad (4)$$

Модель (3) была использована в решении следующих задач:

оценки влияния изменившейся в условиях земельной реформы структуры использования пашни, характеризующейся резким возрастанием в ней доли пропашных культур и незанятого пара, на примере обыкновенных черноземов Аркадакского района Саратовской области [13];

обоснования расчетной модели баланса гумуса для агроэкологической оценки организации севооборотов на примере темно-каштановых почв Энгельского района Саратовской области [14].

На базе верифицированных прогнозной модели баланса гумуса и параметров трансформации органического вещества в условиях орошения по рассмотренному выше производственному опыту проведена оценка влияния изменившихся в последние десятилетия условий использования орошаемой пашни на формирование баланса гумуса. Результаты определения необходимых для реализации в модели параметров ($K_{впг}$ – коэффициентов восполнения потерь гумуса и осредненного по севообороту коэффициента минерализации \bar{K}_m) приведены в табл. 2. В качестве условий, характеризующих дореформенный период использования орошаемых земель, приведены данные по формированию баланса гумуса в вариантах производственного опыта без использования органических удобрений. Потери гумуса выявляются при производстве





зерновых с отчуждением соломы, используемой на ферме, и кукурузы на силос. Они практически полностью компенсируются образованием гумуса под многолетними травами. Высокий уровень продуктивности культур и функционально связанная с ним масса пожнивных и корневых остатков, обеспечивают поддержание равновесного баланса гумуса, коэффициент восполнения потерь гумуса равен 0,94.

Выведение из состава пашни кормовых культур (многолетних и однолетних трав, кукурузы на силос) и преобладание в структуре посевов овощных культур (до 66 % и более) приводят к существенному отрицательному балансу гумуса –2,34 т/га за одну ротацию (6 лет). Обусловлено это, главным образом, спецификой параметров трансформации органического вещества овощных культур: низким процентом гумификации растительных остатков и высоким коэффициентом минерализации гумуса, как следствие многократных почвообрабатывающих воздействий. Результаты прогноза потерь гумуса по модели (4) обусловленных изменением структуры использования орошаемой пашни приведены на рисунке.

Прогнозные расчеты показывают, что происходящие изменения в структуре использования орошаемой пашни в 3,0–3,5 раза ускоряют процесс дегумификации орошаемых почв. За последние три десятилетия потери запасов гумуса в пахотном слое почв составляют 10 %. При этом объективную оценку этих процессов не могут отразить проводимые агрохимические обследования. Это обусловлено пространственным варьированием содержания гумуса и методикой отбора образцов почв при агрохимических обследованиях без привязки к конкретной почвенной разности [5].

Изменения в содержании гумуса в пахотном слое почв между очередными турами агрохимических обследований, проводимыми с интервалом 5 лет, не могут превышать 3–5 % от исходных запасов. Для выявления статистической достоверности таких изменений необходимо проанализировать несколько десятков образцов только по одной почвенной разности. Единственно достоверную оценку изменения гумусированности почв и связанных с ней показателей потенциального и эффективного плодородия почв можно получить только косвенным путем. Система мониторинга за гумусовым состоянием почв должна строиться на учете приходно-расходных статей баланса органического вещества почв (урожайность, структура посевов, дозы органических удобрений) и определении параметров его трансформации (коэффициенты минерализации гумуса и гумификации растительных остатков) на объектах полигонного мониторинга [12].

Заключение. Многолетние наблюдения в производственном опыте за параметрами плодородия темно-каштановых орошаемых почв показали, что сохранение равновесного баланса гумуса возможно без внесения навоза при уровне продуктивности севооборота от 55–60 ц к.ед/га при наличии в структуре севооборота 30–35 % многолетних трав.

По результатам опыта проведена верификация балансовой линейно-кинетической модели органического вещества слоя почв, обеспечивающая приемлемый уровень погрешности прогнозирования запасов гумуса пахотного слоя. Среднеквадратическое отклонение рассчитанных значений от фактически определяемых за три ротации севооборота составило 2,1 т/га.

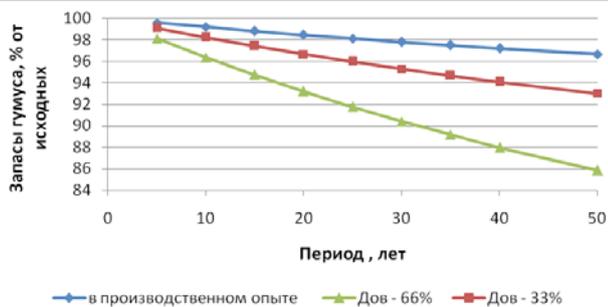
Наличие верифицированной прогнозной модели баланса гумуса и параметров трансформации органического вещества почв позволяет оценить влияние современных изменений в структуре использования орошаемой пашни на гумусовое состояние почв. Выведение из состава пашни кормовых культур и преобладание в струк-

© Янюк В. М., Романова Л. Г., Тарасенко П.В., 2021

Параметры формирования баланса гумуса в зависимости от условий использования орошаемой пашни

Культура	Число полей в севообороте,	Урожайность культуры, т/га	Коэффициент гумификации пожнивных остатков	Масса пожнивных остатков, т/га	Образование гумуса в севообороте, т/га	Коэффициент минерализации гумуса $K_{\text{гум}}$	Минерализация гумуса, т/га	Баланс гумуса, т/га	Доза навоза на поддержание баланса гумуса в севообороте, т/га
Зерновые	3	3,20	0,16	4,48	1,72	0,0096	2,94	-1,22	-19,5
многолетние травы на сено	2	12,00	0,2	8,95	3,58	0,008	1,63	1,95	31,2
кукуруза на силос	1	40,0	0,12	5,03	0,60	0,014	1,43	-0,82	-13,2
Итого по севообороту	6	коэффициент восполнения потерь гумуса 0,94		0,94	5,90	0,0098*	6,00	-0,09	-1,50
Современная структура использования орошаемых земель в Энгельском районе (доля овощных культур 66 %)									
кукуруза на зерно	1	4,00	0,12	11,60	1,39	0,014	1,43	-0,04	-0,40
зернобобовые (соя)	1	2,50	0,16	6,49	1,04	0,0096	0,98	0,06	0,65
Овощи	4	15	0,08	10,46	3,35	0,014	5,71	-2,36	-26,25
Итого по севообороту	6	коэффициент восполнения потерь гумуса 0,71		0,71	5,78	0,0133*	8,12	-2,34	-26,0
Структура использования орошаемых земель с долей овощных культур 33 %									
2,86	2	4,00	0,12	11,60	2,78	0,014		-0,07	-0,80
1,96	2	2,50	0,16	6,49	2,08	0,0096		0,12	1,30
Овощи	2	15	0,08	10,46	1,67	0,014	2,86	-1,18	-13,12
Итого по севообороту	6	коэффициент восполнения потерь гумуса 0,85		0,85	6,53	0,0125*	7,67	-1,14	-12,6

* Средневзвешенное значение по севообороту.



Прогноз изменения запасов гумуса в пахотном слое почв

3. Масютенко Н. П. Трансформация органического вещества в черноземных почвах ЦЧР и системы его воспроизводства. М., 2012. 150 с.
4. Методические рекомендации по оценке качества и классификации земель по их пригодности для использования в сельском хозяйстве. М., 2003. 170 с.
5. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения / под ред. Л. М. Державина, Д. С. Булгакова. М., 2003. 240 с.
6. Приходько В.Е. Орошаемые степные почвы: функционирование, экология, продуктивность. М., 1996. 168 с.
7. Пронько Н. А., Романова Л. Г., Фалькович А. С. Изменение плодородия орошаемых каштановых почв Поволжья в процессе длительного использования и научные основы его регулирования. Саратов, 2005. 220 с.
8. Романова Л. Г. Влияние длительного орошения на свойства темно-каштановых почв Заволжья и агромелиоративные приемы их улучшения: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.01.02. Саратов, 2002. 23 с.
9. Рыжова И. М. Проблемы и перспективы моделирования динамики органического вещества почв // Агрохимия. 2011. № 12. С. 71–80.
10. Чуян О. Г. Усовершенствованная база данных для планирования урожайности сельскохозяйственных культур при проектировании систем удобрений (для Центрального Черноземья). Курск, 2011.
11. Щедрин В. Н., Докучаева Л. М., Юркова Р. Е. Негативные почвенные процессы при регулярном орошении различных типов почв // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018. № 2(30). С. 1–21.
12. Янюк В. М. Совершенствование агроэкологической оценки и мониторинга мелиоративного состояния орошаемых земель сухостепной зоны Поволжья: Автореф. дис. д-ра с.-х.н. 06.01.02. Саратов, 2007. 47 с.
13. Янюк В. М., Губин Н. М., Гагина И. С. Анализ влияния современного использования пашни на воспроизводство почвенного плодородия на примере Аркадакского района Саратовской области // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. 2013. №2. С. 3–25.
14. Янюк В. М., Тарбаев В. А., Верина Л.К. Обоснование расчетной модели баланса гумуса для агроэкологической оценки организации севооборотов // Аграрный научный журнал. 2014. №12. С. 47–50.
15. Katteren T., Andren O. Long-term agricultural experiment in North Europe: analysis of the influence of management of soil carbon stocks using the ICBM model // *Agricult. Ecosys. And Envir.*, 1999 (72), 165–179.

REFERENCES

1. Baranovskaya V. A. Optimization of the humus state of soils // *Soil-ecological problems in steppe agriculture*. Pushchino; 1992.79–87. (In Russ.).
2. Ionova Z. M. The use of irrigation in the steppe zone. Survey information of the Central Bank Scientific and Technical Institute of the USSR Ministry of Agriculture. Moscow; 1991.66 p. (In Russ.).
3. Masyutenko N. P. Transformation of organic matter in chernozem soils of the Central Black Earth Region and the systems of its reproduction. Moscow; 2012.150 p. (In Russ.).
4. Guidelines for assessing the quality and classification of lands according to their suitability for use in agriculture. Moscow;2003.170 p. (In Russ.).
5. Methodological guidelines for the comprehensive monitoring of soil fertility of agricultural lands / ed. L.M. Derzhavin, D.S. Bulgakov. Moscow;2003.240 p. (In Russ.).
6. Prikhodko V. E. Irrigated steppe soils: functioning, ecology, productivity. Moscow;1996.168 p. (In Russ.).
7. Pronko N. A., Romanova L. G., Falkovich A. S. Changes in the fertility of irrigated chestnut soils in the Volga region in the process of long-term use and the scientific basis of its regulation. Saratov; 2005.220 p. (In Russ.).
8. Romanova L. G. Influence of long-term irrigation on the properties of dark-chestnut soils of the Trans-Volga region and agromeliorative methods of their improvement. Saratov; 2002.23 p. (In Russ.).
9. Ryzhova I. M. Problems and prospects of modeling the dynamics of soil organic matter. *Agrochemistry*.2011; 12: 71–80. (In Russ.).
10. Chuyan O. G. An improved database for planning the productivity of agricultural crops in the design of fertilizer systems (for the Central Chernozem region). Kursk; 2011. (In Russ.).
11. Shchedrin V. N., Dokuchaeva L. M., Yurkova R. E. Negative soil processes during regular irrigation of various types of soils. *Scientific journal of the Russian Research Institute of Melioration Problems*. 2018; No. 2 (30): 1–21. (In Russ.).
12. Yanyuk V. M. Improvement of agroecological assessment and monitoring of the reclamation state of irrigated lands in the drysteppe zone of the Volga region. Saratov; 2007.47s. (In Russ.).
13. Yanyuk V. M., Gubin N. M., Gagina I. S. Analysis of the influence of modern use of arable land on the reproduction of soil fertility on the example of the Arkadak district of the Saratov region. *Land management, cadastre and monitoring of lands*.2013; 2: 3–25. (In Russ.).
14. Yanyuk V. M., Tarbaev V. A., Verina L. K. Substantiation of the calculated humus balance model for agroecological assessment of the organization of crop rotation. *Agrarian scientific journal*.2014; 12: 47–50. (In Russ.).
15. Katteren T., Andren O. Long-term agricultural experiment in North Europe: analysis of the influence of management of soil carbon stocks using the ICBM model. *Agricult.Ecosys.andEnvir.* 1999; (72): 165–179.

Статья поступила в редакцию 03.08.2021; одобрена после рецензирования 15.08.2021; принята к публикации 25.08.2021.
The article was submitted 03.08.2021; approved after reviewing 15.08.2021; accepted for publication 25.08.2021.

