Научная статья
УДК 631.874:51.581.143
doi: 10.55186/25876740_2022_65_2_169

ЦИФРОВАЯ МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ «ЗЕЛЕНЫХ» УДОБРЕНИЙ

В.Г. Григулецкий, Е.К. Яблонская, Е.В. Белокур, А.В. Казакевич, Е.Н. Долженко
Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Краснодар, Россия

Аннотация. Впервые предложена новая методика оценки эффективности применения «зеленых» удобрений на основе полевых результатов применения зеленой массы гороха при выращивании риса на Кубани. В основе методики положено утверждение: урожай и прирост урожая повышается с введением увеличивающихся количеств какого-либо фактора роста пропорционально урожаю, не достигающего до максимального (предельного) значения урожая, и возможному количеству урожая, выше некоторого начального (минимального) значения урожая. В статье установлены аналитические зависимости для определения максимального возможного урожая при использовании «зеленых» удобрений, а также коэффициента действия «зеленых» удобрений. Показано применение новой методики оценки эффективности при использовании «зеленых» удобрений при выращивании разных сортов риса в вегетационных опытах на Кубани (опыты И.Д. Берко); установлено хорошее соответствие опытных и расчетных данных (отличие составляет 3,1, 7,6 и 4,5 % для разных условий). Новая математическая модель позволяет проводить теоретическое обоснование разных агротехнических технологий применения «зеленых» удобрений, определять наиболее рациональные и эффективные виды растений для сидерации почвы, проводить оценку эффективности применения и последствия разных способов, технологий и растений при сидерации и т.д.

Ключевые слова: «зеленые» удобрения, сидерация, люпин, горчица, рапс, рожь, урожайность, факторы роста, максимально возможный урожай, минеральные удобрения, суперфосфат, продуктивность риса

Original article

THE DIGITAL METHODOLOGY FOR THE APPLICATIONS ASSESSMENT OF THE “GREEN” FERTILIZERS

V.G. Griguletskiy, E.K. Yablonskaya, E.V. Belokur, A.V. Kazakevich, E.N. Dolzhenko
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, Russia

Abstract. A new methodology for evaluating the “green” fertilizers effectiveness of the peas green mass based on results of a growing the rice in the Kuban was proposed. In accordance with the method, the statement based on approval yield and increase with the introduction of increasing amounts of any growth in yield consumption that does not reach the maximum (marginal) value of the yield and a possible increase in yield, above the increase in the initial (minimum value) yield. The article establishes on the analytical dependences to using “green” fertilizers and the maximum possible yield determination, as well as the coefficient of action of “green” fertilizers. The application of a new methodology to evaluating the effectiveness of using “green” fertilizers when growing different varieties of rice during vegetation experiments in the Kuban is shown (experiments by I.D. Berko); a positive agreement was found between the experimental and calculated data (the difference is 3.1, 7.6 and 4.5% for different condition).
The new math model makes it possible to theoretically substantiate various agro-technique way for “green” fertilizers, to determine the most preferable and applicable plant species for green manure, that lead to evaluate the effectiveness under action of a various technologies and for the green manure, etc.

Keywords: “green” fertilizers, green manure, lupine, mustard, rapeseed, rye, yield, growth factors, maximum possible yield, mineral fertilizers, superphosphate, rice productivity

Введение

Доказано и научно обосновано, что некоторые виды растений способны унаваживать почву [1-3]. История применения «зеленых» удобрений насчитывает более пяти тысячелетий, когда в Китае, Индии, странах Азии, Северной и Южной Америки в качестве сидератов использовались разные виды люпина [3]. В современной агрономической литературе сидерация — агротехнологический прием запахивания в почву зеленой массы определенного вида растений для обогащения ее органическим веществом и азотом. [3-6]. Обширные полевые опыты в Узбекистане [7], Московской области [8], Украине [9], Белоруссии [10, 11], Сибири [12-14], на Кубани [15], Поволжье [16] и других районах Российской Федерации [3-6] показали высокую экономическую эффективность разных «зеленых» удобрений. Академик Д.Н. Прянишников, в частности, приводит следующие результаты опытов с сидерацией на полях Черниговской губернии России в 1914 г. [2] (табл. 1).

На рисунке представлена фотография снопов озимой ржи, полученных на полях Черниговской губернии в 1914 г. с применением люпина (справа) и без использования люпина (слева) [17].

В последние годы особенно высокие экологические и экономические результаты получены при использовании «зеленых» удобрений при выращивании риса [15] и картофеля [18]. Кроме традиционных разных видов люпина (желтый, синий, белый) и сераделлы, в качестве эффективных «зеленых» удобрений можно использовать растения горчицы и особенно рапса [19]. Несмотря на большую экономическую эффективность «зеленых» удобрений, объем их применения в Российской Федерации составляет не более 0,9 т условного навоза на 1 га пашни (а требуется в 4 раза больше!); при этом затраты на производство и использование «зеленого» удобрения в 3-4 раза меньше применения подстилочного навоза; в зеленой массе сидератов содержится 200-250 кг/га азота, что эквивалентно 6,0-7,0 ц/га аммиачной селитры, которые постепенно высвобождаются под действием почвенных микроорганизмов, а не вносятся однократно в повышенной дозе и т.д. [3]. Незначительные объемы использования «зеленых» удобрений в Российской Федерации, по существу, объясняются двумя главными причинами.

Таблица 1. **Урожайность озимой ржи в Черниговской губернии в 1914 г. [2]**
Table 1. **The yield of winter rye in the Chernigov province in 1914 [2]**

Место испытаний (уезды)	Почва	Урожай зерна озимой ржи, ц/га	
		без удобрений	люпин-сидерат
Городнянский	Супесчаная	4,0	13,0
Нежинский	Супесчаная	10,2	21,3
Королевецкий	Песчаная	6,4	13,6
Королевецкий	Легкий суглинок	9,6	22,0
Новгород-Северский	Суглинок	3,2	7,5
Остерский	Легкий суглинок	6,7	23,8
Глуховский	Песчаная	6,4	19,2
Черниговский	Песчаная	6,1	11,0
Суражский	Суглинок	4,0	7,0

© Григулецкий В.Г., Яблонская Е.К., Белокур Е.В., Казакевич А.В., Долженко Е.Н., 2022
Международный сельскохозяйственный журнал, 2022, том 65, № 2 (386), с. 169-172.

Рисунок. **Снопы озимой ржи на полях Черниговской губернии с применением (справа) и без использования (слева) люпина в 1914 г.**
Figure. **Sheaves of winter rye in the fields of the Chernigov province with the use (right) and without the use (left) of lupine in 1914**

Во-первых, значительным развитием химизации сельского хозяйства, что позволило увеличить урожайность, защитить растения от болезней, вредителей, сорняков и т.д., но и созданием экологических проблем на планете Земля, снижением качества продуктов питания, ростом количества болезней человека, животных, птиц и др.

Во-вторых, незначительный объем применения «зеленых» удобрений объясняется отсутствием научно обоснованных агротехнологий и рекомендаций по использованию «зеленых» удобрений: нет рекомендаций по районированию, рекомендаций по нормам применения, по хранению сидератов и т.д.

Актуальность проблемы

Актуальность проблемы разработки научно обоснованных агротехнологий и рекомендаций применения «зеленых» удобрений в Российской Федерации в последние годы отмечалась в фундаментальных работах проф. В.Г. Лошакова [3, 20-24]. «В «век техники и химии» сидерация позволяет успешно сочетать биологические, физиологические и химические принципы воспроизводства плодородия почвы с принципами адаптивности и экологичности современного земледелия; она является важным фактором биологизации земледелия, постоянно возобновляемым источником обеспечения пахотных земель экологически чистым органическим веществом; она становится важным элементом плодосмена в современных севооборотах и приобретает большое значение в системе почвозащитных и природоохранных мероприятий» [3, с. 12]. Во введении учебника «Земледелие» [20] отмечается, что на данном этапе развития сельского хозяйства научно-технический потенциал и накопленный практический опыт должны объединяться и интегрироваться в зональных системах земледелия.

При решении проблем экологизации земледелия, адаптивной его интенсификации и особенно биологизации технологических процессов необходимо пересмотреть роль и содержание элементов системы земледелия.

На первый план оптимизации агропромышленного производства выходят задачи адаптации земледелия, то есть разработка и освоение адаптивно-ландшафтных систем земледелия и их элементов [20, с. 5].

Новая математическая модель урожайности сельскохозяйственных культур

Принимаем справедливость утверждения: *урожай (y) и прирост урожая повышается с введением увеличивающихся количеств какого-либо фактора роста (x) пропорционально урожаю, не достигающего до максимального значения урожая (A) и возможному количеству урожая, выше некоторого начального (минимального) значения (B) урожая*, то есть можно записать основное дифференциальное уравнение в обыкновенных производных первого порядка:

$$\frac{dy}{dx} = c(A-y)(B+y), \qquad (1)$$

c — коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом действия фактора роста; *A* — постоянный параметр, определяемый по экспериментальным (опытным) данным и равный потенциально (предельно) возможному урожаю; *B* — постоянный параметр, определяемый по экспериментальным (опытным) данным и равный «начальному» значению урожая определенной культуры для конкретной почвы и гидрометеоусловий района.

Назначим «начальные» условия для уравнения (1):

$$y(x_0) = y_0 = B, \qquad (2)$$

x_0, y_0 — постоянные параметры, определяющие соответственно «начальное» значение фактора роста (x_0) и «начальное» значение урожая (y_0).

Решение дифференциального уравнения (1), удовлетворяющее начальным условиям (2), можно записать в виде:

$$\ln(A-y_0) - \ln(B+y_0) = \ln(A-y) - \ln(B+y) + c(A+B)(x-x_0), \qquad (3)$$

или в виде:

$$\ln\left(\frac{A-y_0}{B+y_0}\right) = \ln\left(\frac{A-y}{B+y}\right) + c(A+B)(x-x_0), \qquad (4)$$

или окончательно:

$$y(x) = \frac{A(B+y_0)\exp[c(A+B)(x-x_0)] - B(A-y_0)}{(B+y_0)\exp[c(A+B)(x-x_0)] + (A-y_0)}. \qquad (5)$$

Соотношения (1)-(5) позволяют исследовать многие вопросы земледелия. В частности, из уравнения (3) можно найти для конкретных условий значение:

$$(x-x_0)(A+B) = \frac{\ln[(A-y_0)(B+y)] - \ln[(B+y_0)(A-y)]}{c}, \qquad (6)$$

которое определяет количество питательных веществ в почве. Значение произведения $(x-x_0)(A+B)$ (определяется по действию конкретного удобрения, мелиоранта и компоста на растения, то есть по величине урожая, который получается при внесении в почву определенного количества конкретного питательного вещества.

Эффективность конкретного удобрения, мелиоранта и компоста можно оценивать по значению коэффициента действия фактора роста, который можно находить по формуле:

$$c = \frac{\ln[(A-y_0)(B+y)] - \ln[(B+y_0)(A-y)]}{(A+B)(x-x_0)}. \qquad (7)$$

Значение коэффициента *A*, который можно найти по приближенной формуле:

$$A+B = \frac{2(y_1+B)(y_2+B)(y_3+B) - (y_2+B)^2(y_1+y_3+2B)}{(y_1+B)(y_3+B) - (y_2+B)^2}, \qquad (8)$$

y_1, y_2, y_3 — экспериментальные значения урожая, установленные через равные интервалы изменения фактора роста (*x*), то есть $x_3 - x_2 = x_2 - x_1$ и соответственно $y(x_1) = y_1$, $y(x_2) = y_2$, $y(x_3) = y_3$, позволяет найти значение потенциально (предельно) возможного урожая конкретного растения для определенных условий, состава почв и гидрометеорологических данных.

Применение новой математической модели для оценки эффективности применения «зеленых» удобрений

Воспользуемся результатами вегетационных опытов применения «зеленых» удобрений под рис на Кубани [15]. Исследования проводились с районированными сортами риса Дубовский 129, ВРОС 213, Краснодарский 424. Выращивание риса осуществлялось в стеклянных сосудах емкостью 10 л, в которых набивалось по 6 кг почвы, взятой с участка, где рис выращивался 17-18 лет без удобрений. В качестве сидерата использовалась мелко измельченная зеленая масса гороха, которая вносилась по 75, 100, 125, 150, 200 г на сосуд. Почва удобрялась суперфосфатом (по 3 г на сосуд) в одних случаях и полным минеральным удобрением в других вариантах (сульфат аммония и суперфосфат по 3 г и калийной соли по 0,96 г на сосуд). Контроль — сосуды и растения без «зеленых» удобрений, по каждому варианту использовалось 16 сосудов [15]. В таблице 2 приведены данные урожайности риса в почве без минеральных удобрений в зависимости от количества «зеленого» удобрения.

Таблица 2. **Продуктивность риса на почве без минеральных удобрений в зависимости от количества «зеленого» удобрения (опыты И.Д. Берко, 1961-1962 гг.)**
Table 2. **The productivity of rice on soil without mineral fertilizers depending on the amount of "green" fertilizer (experiments of I.D. Berko, 1961-1962)**

№ п.п.	1	2	3	4	5	6
Зеленое удобрение, г	0	75	100	125	150	200
Урожай риса на сосуд (опыт), г	1,4	2,6	3,5	4,2	4,1	5,1
Урожай риса на сосуд (расчет), г	1,40	2,81	3,32	3,83	4,33	**5,26**

Находим максимально возможный урожай риса (*A*) по формуле (8) при следующих данных:

$$y_0(0) = 1{,}4 = B;\ y_1(75) = 2{,}6;\ y_2(100) = 3{,}4;\ y_3(125) = 4{,}2,$$

определяем значение:

$$A + B = \frac{2(1{,}4+2{,}6)(1{,}4+3{,}4)(1{,}4+4{,}2) - 4{,}8^2 \cdot 9{,}6}{4{,}0 \cdot 5{,}6 - 4{,}8^2} = 9{,}6,$$

или:

$$A = 9{,}6 — 1{,}4 = 8{,}2.$$

Находим значения коэффициентов действия фактора роста (*c*) по формуле (7) на интервале от $x_0 = 0$ до $x = 75$:

$$c_1 = \frac{\ln[(8{,}2-1{,}4)(1{,}4+2{,}6)] - \ln[(1{,}4+1{,}4)(8{,}2-2{,}6)]}{9{,}6 \cdot (75-0)} = 0{,}000765;$$

на интервале от $x_0 = 0$ до $x = 100$:

$$c_2 = \frac{\ln[(8{,}2-1{,}4)(1{,}4+3{,}4)] - \ln[(1{,}4+1{,}4)(8{,}2-3{,}4)]}{9{,}6 \cdot (100-0)} = 0{,}000924;$$

на интервале от $x_0 = 0$ до $x = 125$:

$$c_3 = \frac{\ln[(8{,}2-1{,}4)(1{,}4+4{,}2)] - \ln[(1{,}4+1{,}4)(8{,}2-4{,}2)]}{9{,}6 \cdot (125-0)} = 0{,}001020;$$

на интервале от $x_0 = 0$ до $x = 150$:

$$c_4 = \frac{\ln[(8{,}2-1{,}4)(1{,}4+4{,}1)] - \ln[(1{,}4+1{,}4)(8{,}2-4{,}1)]}{9{,}6 \cdot (150-0)} = 0{,}000820.$$

Вычислим среднее взвешенное значение коэффициента действия фактора роста:

$$c_{ср} = \frac{0{,}000765 \cdot 75 + 0{,}000924 \cdot 100 + 0{,}001020 \cdot 125 + 0{,}000820 \cdot 150}{75+100+125+150} = 0{,}000889.$$

Используя это значение коэффициента $c_{ср}$ и значения $A = 8{,}2$; $B = 1{,}4$; $x_0 = 0$, по формуле (5) определяем зависимость урожайности риса (*y*) на почве без минеральных удобрений в зависимости от количества «зеленого» удобрения для опытов И.Д. Берко [15]:

$$y(x) = \frac{22{,}96 \cdot \exp(0{,}008539x) - 9{,}52}{2{,}8 \cdot \exp(0{,}008539x) + 6{,}8}.$$

По этой формуле для $x = 200$ г определено возможное (расчетное) значение урожая риса $y(200) = 5{,}26$ г, которое отличается от фактического опытного $y_ф(200) = 5{,}1$ г на 3,1%; в последней строке таблицы 2 приведены расчетные значения урожайности риса при количествах «зеленого» удобрения $x = 0$ (контроль), $x = 75$ г, $x = 100$ г, $x = 125$ г, $x = 150$ г для наглядности анализа, показывающие хорошее соответствие опытных и расчетных данных.

В таблице 3 приведены данные урожайности риса при внесении суперфосфата в зависимости от количества «зеленого» удобрения.

Находим максимально возможный урожай риса (*A*) по формуле (8) при следующих данных:

$$y_0(0) = 1{,}4 = B;\ y_1(75) = 2{,}7;\ y_2(100) = 3{,}3;\ y_3(125) = 3{,}8,$$

определяем значение:

$$A + B = \frac{2(1{,}4+2{,}7)(1{,}4+3{,}3)(1{,}4+3{,}8) - 4{,}7^2 \cdot 9{,}3}{4{,}1 \cdot 5{,}2 - 4{,}7^2} = 6{,}53,$$

или:

$$A = 6{,}53 — 1{,}4 = 5{,}13.$$

Находим значения коэффициента действия фактора роста (*c*) по формуле (7) на разных интервалах:

$$c_1 = 0{,}001654;\ c_2 = 0{,}001828;\ c_3 = 0{,}001962;\ c_4 = 0{,}002337.$$

Находим среднее взвешенное значение коэффициента действия фактора роста:

$$c_{ср} = 0{,}002006.$$

Используя это значение коэффициента *c* и значения $A = 5{,}13$; $B = 1{,}4$; $x_0 = 0$, по формуле (5) определяем зависимость урожайности риса (*y*) на почве с суперфосфатом в зависимости от количества «зеленого» удобрения для опытов И.Д. Берко [15]:

$$y(x) = \frac{14{,}364 \cdot \exp(0{,}013099x) - 5{,}222}{2{,}8 \cdot \exp(0{,}013099x) + 3{,}73}.$$

По этой формуле для $x = 200$ г определено возможное (расчетное) значение урожая риса $y(200) = 4{,}55$ г, которое отличается от фактического опытного $y = 4{,}9$ г на 7,6 %; в последней строке таблицы 3 приведены расчетные значения урожайности риса при количествах «зеленого» удобрения $x = 0$ (контроль), $x = 75$ г, $x = 100$ г, $x = 125$ г, $x = 150$ г для наглядности анализа, показывающие хорошее соответствие опытных и расчетных данных. В таблице 4 приведены данные урожайности риса при внесении полных минеральных удобрений (NPK) в зависимости от количества «зеленого» удобрения.

Находим максимально возможный урожай риса (*A*) по формуле (8) при следующих данных:

$$y_0(0) = 4{,}0 = B;\ y_1(75) = 5{,}1;\ y_2(100) = 5{,}5;\ y_3(125) = 5{,}9,$$

определяем значение:

$$A + B = \frac{2(4{,}0+5{,}1)(4{,}0+5{,}5)(4{,}0+5{,}9) - 9{,}5^2 \cdot 19{,}0}{9{,}1 \cdot 9{,}9 - 9{,}5^2} = 19{,}0,$$

или:

$$A = 19{,}0 — 4{,}0 = 15{,}0.$$

Находим значения коэффициента действия фактора роста (*c*) по формуле (7) на разных интервалах:

$$c_1 = 0{,}000164;\ c_2 = 0{,}000168;\ c_3 = 0{,}000170;\ c_4 = 0{,}000178.$$

Находим среднее взвешенное значение коэффициента действия фактора роста:

$$c_{ср} = 0{,}000171.$$

Используя это значение коэффициента *c* и значения $A = 15{,}0$; $B = 4{,}0$; $x_0 = 0$, по формуле (5) определяем зависимость урожайности риса (*y*) на почве при внесении полных минеральных удобрений (NPK) в зависимости от количества «зеленого» удобрения для опытов И.Д. Берко [15]:

$$y(x) = \frac{120 \cdot \exp(0{,}003249x) - 44{,}0}{8{,}0 \cdot \exp(0{,}003249x) + 11{,}0}.$$

По этой формуле для $x = 200$ г определено возможное (расчетное) значение урожая риса $y(200) = 7{,}00$ г, которое отличается от фактического опытного $y = 6{,}7$ г на 4,5 %; в последней строке таблицы 4 приведены расчетные значения урожайности риса при количествах зеленого удобрения $x = 0$ (контроль), $x = 75$ г, $x = 100$ г, $x = 125$ г, $x = 150$ г для наглядности анализа, показывающие хорошее соответствие опытных и расчетных данных.

Таблица 3. **Продуктивность риса при внесении суперфосфата в зависимости от количества «зеленого» удобрения (опыты И.Д. Берко, 1961-1962 гг.)**
Table 3. **The productivity of rice with the introduction of superphosphate depending on the amount of "green" fertilizer (experiments of I.D. Berko, 1961-1962)**

№ п.п.	1	2	3	4	5	6
Зеленое удобрение, г	0	75	100	125	150	200
Урожай риса на сосуд (опыт), г	1,4	2,7	3,3	3,8	4,4	4,9
Урожай риса на сосуд (расчет), г	1,40	2,96	3,40	3,78	4,10	**4,55**

Таблица 4. **Продуктивность риса при внесении полных минеральных удобрений (NPK) в зависимости от количества «зеленого» удобрения (опыты И.Д. Берко, 1961-1962 гг.)**
Table 4. **The productivity of rice with the introduction of complete mineral fertilizers (NPK) depending on the amount of "green" fertilizer (experiments of I.D. Berko, 1961-1962)**

№ п.п.	1	2	3	4	5	6
Зеленое удобрение, г	0	75	100	125	150	200
Урожай риса на сосуд (опыт), г	4,0	5,1	5,5	5,9	6,4	6,7
Урожай риса на сосуд (расчет), г	4,00	5,14	5,53	5,92	6,30	**7,00**

Выводы

Представленные результаты расчетов применения новой методики оценки эффективности применения «зеленых» удобрений и хорошее соответствие опытных и расчетных значений продуктивности риса (опыты И.Д. Берко [15]) позволяют использовать новую математическую модель урожая при исследовании следующих важных практических вопросов:

– проводить теоретическое обоснование разных агротехнических технологий применения «зеленых» удобрений;
– определять наиболее рациональные и эффективные виды растений для сидерации;
– устанавливать оптимальные нормы высева разных растений для сидерации;
– проводить оценку эффективности применения и последействия разных способов и растений при сидерации;
– исследовать вопросы оптимизации глубины заделки, времени посева, сроков запашки растений при сидерации разных сельскохозяйственных культур и т.д.

Список источников

1. Будрин П.В. Зеленое удобрение. М.-Л.: Сельхозгиз, 1927. 76 с.
2. Прянишников Д.Н. Люпин — на службу социалистическому земледелию // Избранные сочинения. М.: АН СССР, 1953. Т. 2. С. 7-19.
3. Лошаков В.Г. Зеленое удобрение в земледелии России. М.: ВНИИА, 2015. 300 с.
4. Алексеев Е.К. Зеленое удобрение в СССР. М.: Сельхозгиз, 1948. 469 с.
5. Алексеев Е.К. Зеленое удобрение в нечерноземной полосе. М.: Сельхозгиз, 1959. 278 с.
6. Такунов И.П. Люпин в земледелии России. Брянск: Придесенье, 1996. 372 с.
7. Кузнецов В.П. Зеленое удобрение в сельском хозяйстве Узбекистана. Ташкент: АН УзбССР, 1951. 76 с.
8. Доброхлеб И.Ф. Применение зеленого удобрения в Московской области. М.: Московский рабочий, 1958. 55 с.
9. Юхимчук Ф.Ф. Люпин в земледелии. Киев: Наукова Думка, 1963. 359 с.
10. Довбан К.И. Применение зеленых удобрений в интенсивном земледелии. Минск: Ураджай, 1981. 206 с.
11. Довбан К.И. Зеленое удобрение. М.: Агропромиздат, 1990. 208 с.
12. Казанцев В.П. Использование капустных культур на зеленое удобрение в Сибири // Земледелие. 1999. № 4. С. 10-14.
13. Берзин А.М., Шредт А.А. Использование зеленых удобрений в Краснодарском крае // Агрохимия. 2001. № 5. С. 27-32.
14. Берзин А.М. Зеленое удобрение в Средней Сибири. Красноярск: Красноярский СХИ, 2002. 395 с.
15. Берко И.Д. Применение зеленых удобрений под рис на Кубани: автореф. дис. … канд. с.-х. наук. Краснодар: КубСИ, 1962. 28 с.
16. Кормилицын Р.Ф. Развитие сидерации в Поволжье // Земледелие. 1999. № 1. С. 28-31.
17. Кулжинский С.П. Отчет по коллективным опытам. Влияние в 1914 г. на урожай озимой ржи люпинового зеленого удобрения и минеральных, внесенных под люпин в 1913 г. Нежин: Черниговское Губернское Земство, 1914.
18. Майстренко Н.Н. Эффективность сидеральных смесей под картофель // Земледелие. 2010. № 5. С. 35-36.
19. Авазов И. Горчица и рапс на зеленое удобрение // Земледелие. 1973. № 7. С. 28-29.
20. Баздырев Г.И., Лошаков В.Г., Пупонин А.И. и др. Земледелие. М.: ТСХА, 2000. 788 с.
21. Лошаков В.Г. Избранные труды. Теория и практика российского земледелия и образования. Т. 1. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 648 с.
22. Лошаков В.Г. Избранные труды. Теория и практика российского земледелия и образования. Т. 2. М.: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. 668 с.
23. Лошаков В.Г. Экологические и фитосанитарные функции зеленого удобрения // Успехи современной науки. 2017. Т. 1. № 10. С. 24-31.
24. Лошаков В.Г. Зеленое удобрение как фактор повышения плодородия почвы, биологизации и экологизации земледелия // Плодородие. 2018. № 2. С. 24-29.

References

1. Budrin, P.V. (1927). *Zelenoe udobrenie* [Green fertilazer]. Moscow-Leningrad, Sel'khozgiz Publ., 76 p.
2. Pryanishnikov, D.N. (1953). Lyupin — na sluzhbu sotsialisticheskomu zemledeliyu [Lyupin — in the service of socialist agriculture]. *Izbrannye sochineniya* [Selected writings]. Moscow, AN SSSR, vol. 2, pp. 7-19.
3. Loshakov, V.G. (2015). *Zelenoe udobrenie v zemledelii Rossii* [Green fertilizer in russian agriculture]. Moscow, VNIIA, 300 p.
4. Alekseev, E.K. (1948). *Zelenoe udobrenie v SSSR* [Green fertilizer in SSSR]. Moscow, Sel'khozgiz Publ., 469 p.
5. Alekseev, E.K. (1959). *Zelenoe udobrenie v nechernozemnoi polose* [Green fertilizer in non-chernozem strip]. Moscow, Sel'khozgiz Publ., 278 p.
6. Takunov, I.P. (1996). *Lyupin v zemledelii Rossii* [Lyupin in Russian agriculture]. Bryansk, Pridesen'e Publ., 372 p.
7. Kuznetsov, V.P. (1951). *Zelenoe udobrenie v sel'skom khozyaistve Uzbekistana* [Green fertilizer in agriculture of Uzbekistan]. Tashkent, AN UzbSSR, 76 p.
8. Dobrokhleb, I.F. (1958*). Primenenie zelenogo udobreniya v Moskovskoi oblasti* [Application of green fertilizer in the Moscow region]. Moscow, Moskovskii rabochii Publ., 55 p.
9. Yukhimchuk, F.F. (1963). *Lyupin v zemledelii* [Lyupin in agriculture]. Kiev, Naukova Dumka Publ., 359 p.
10. Dovban, K.I. (1981). *Primenenie zelenykh udobrenii v intensivnom zemledelii* [Application of green fertilizer in agriculture]. Minsk, Uradzhai Publ., 206 p.
11. Dovban, K.I. (1990). *Zelenoe udobrenie* [Green fertilizer]. Moscow, Agropromizdat Publ., 208 p.
12. Kazantsev, V.P. (1999). Ispol'zovanie kapustnykh kul'tur na zelenoe udobrenie v Sibiri [Useing of a cabbage crops for the green manure in Siberi]. *Zemledelie*, no. 4, pp. 10-14.
13. Berzin, A.M., Shredt, A.A. (2001). Ispol'zovanie zelenykh udobrenii v Krasnodarskom krae [Application of green fertilizer in agriculture of Krasnoyars region]. *Agrokhimiya* [Agricultural chemistry], no. 5, pp. 27-32.
14. Berzin, A.M. (2002). *Zelenoe udobrenie v Srednei Sibiri* [Green fertilizer in agriculture of the Middle Siberian]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk Agricultural Institute, 395 p.
15. Berko, I.D. (1962). *Primenenie zelenykh udobrenii pod ris na Kubani* [Application of green fertilizer in the on rice in Kuban]. Cand. agricultural sci. diss. Abstr. Krasnodar, Kuban Agricultural Institute, 28 p.
16. Kormilitsyn, R.F. (1999). Razvitie sideratsii v Povolzh'e [Development of green manure in the Volga region]. *Zemledelie*, no. 1, pp. 28-31.
17. Kulzhinskii, S.P. (1914). *Otchet po kollektivnym opytam. Vliyanie v 1914 g. na urozhai ozimoi rzhi lyupinovogo zelenogo udobreniya i mineral'nykh, vnesennykh pod lyupin v 1913 g.* [Collective experience report in 1914. Influence on the yield of winter rye of lupine green fertilizer and mineral applications for lupinein 1913]. Nezhin, Chernigovskoye Gubernskoye Zemstvo.
18. Maistrenko, N.N. (2010). Ehffektivnost' sideral'nykh smesei pod kartofel' [The effectiveness of a green manure mixtures for potatoes]. *Zemledelie*, no. 5, pp. 35-36.
19. Avazov, I. (1973). Gorchitsa i raps na zelenoe udobrenie [Mustard and rapeseed for green manure]. *Zemledelie*, no. 7, pp. 28-29.
20. Bazdyrev, G.I., Loshakov, V.G., Puponin, A.I. i dr. (2000). *Zemledelie* [Agriculture]. Moscow, Timiryazev agricultural academy, 788 p.
21. Loshakov, V.G. (2017). *Izbrannye trudy. Teoriya i praktika rossiiskogo zemledeliya i obrazovaniya* [Selected works. Theory and practice of Russian agriculture and education]. Vol. 1. Moscow, LAP LAMBERT Academic Publishing, 648 p.
22. Loshakov, V.G. (2017). *Izbrannye trudy. Teoriya i praktika rossiiskogo zemledeliya i obrazovaniya* [Selected works. Theory and practice of Russian agriculture and education]. Vol. 2. Moscow, LAP LAMBERT Academic Publishing, 668 p.
23. Loshakov, V.G. (2017). Ehkologicheskie i fitosanitarnye funktsii zelenogo udobreniya [Ecological and phytosanitary functions of green manure]. *Uspekhi sovremennoi nauki* [Advances in modern science], vol. 1, no. 10, pp. 24-31.
24. Loshakov, V.G. (2018). Zelenoe udobrenie kak faktor povysheniya plodorodiya pochvy, biologizatsii i ehkologizatsii zemledeliya [Green fertilizer as a factor in increasing soil fertility. biologization and ecologization of agriculture]. *Plodorodie* [Fertility], no. 2, pp. 24-29.

Информация об авторах:

Григулецкий Владимир Георгиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой высшей математики, gvg-tnc@mail.ru
Яблонская Елена Карленовна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры химии, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1043-5879, yablonskay@mail.ru
Белокур Евгения Васильевна, старший преподаватель кафедры высшей математики, evgeniakoa@mail.ru
Казакевич Анастасия Васильевна, старший преподаватель кафедры высшей математики, voskresenia@gmail.com
Долженко Екатерина Николаевна, ассистент кафедры строительных материалов и конструкций, bigna@mail.ru

Information about the authors:

Vladimir G. Griguletskiy, doctor of technical sciences, professor, head of the department of higher mathematics, gvg-tnc@mail.ru
Elena K. Yablonskaya, doctor of agricultural sciences, associate professor of the department of chemistry, ORCID: http://orcid.org/0000-0003-1043-5879, yablonskay@mail.ru
Evgeniya V. Belokur, senior lecturer of the department of higher mathematics, evgeniakoa@mail.ru
Anastasia V. Kazakevich, senior lecturer of the department of higher mathematics, voskresenia@gmail.com
Ekaterina N. Dolzhenko, assistant of the department of building materials and structures, bigna@mail.ru

✉ **gvg-tnc@mail.ru**