

**МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ  
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МНОГОЛЕТНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО  
УНИВЕРСИТЕТА СЕВЕРНОГО ЗАУРАЛЬЯ**

**D.V. Eryomina**

**MATHEMATICAL MODEL OF MINERAL NUTRITION OF SPRING WHEAT ON THE RESULTS  
OF LONG-TERM RESEARCH OF AGRARIAN UNIVERSITY OF NORTHERN URALS**

**Ерёмина Д.В.** – канд. с.-х. наук, доц. каф. математики и информатики Государственного аграрного университета Северного Зауралья, г. Тюмень. E-mail: diana-eremina@mail.ru

**Eryomina D.V.** – Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Mathematics and Information Sciences, Northern Zauralie, State Agrarian University, Tyumen. E-mail: diana-eremina@mail.ru

Современное земледелие основано на активном использовании минеральных удобрений, позволяющих быстро и с минимальными затратами увеличить продуктивность пашни. Традиционное использование фиксированных доз минеральных удобрений в современных условиях рыночной экономики неэффективно, поскольку не отображает элементы почвенного плодородия. В статье приведен анализ причин наследственных связей между выносом питательных веществ и элементами урожая. Для планирования деятельности сельскохозяйственных предприятий требуется использование математических моделей расчета доз минеральных удобрений. В качестве первоначальных данных были использованы результаты многолетних опытов, проводимых на кафедре почвоведения и агрохимии Государственного аграрного университета Северного Зауралья в Тюменской области. Схема опыта включала в себя внесение минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы 3,0; 4,0; 5,0 и 6,0 т/га. Минеральные удобрения вносились с учетом почвенного плодородия, которое определялось ежегодно. В опытах ежегодно определяли содержание питательных веществ в соломе и зерне; рассчитывались хозяйственные выносы. Полученные данные явились основой для разработки математической модели питания яровой пшеницы. Выявлена высокая корреляционная зависимость между питательными веществами и биогенным выносом; отношением зерна к соломе; выходом побочной продукции основного урожая. Для расчета доз минераль-

ных удобрений на планируемую урожайность зерновых культур можно использовать регрессионные уравнения: азот –  $Y = 6,27 X - 4,45 X_1 - 80,29$ ; фосфор –  $Y = 6,11 \cdot X - 12,75 \cdot X_1 - 63,3$ , где  $Y$  – доза удобрений, кг д.в./га;  $X$  – планируемая урожайность, ц/га;  $X_1$  – содержание в почве нитратного азота, мг/кг; фосфора, мг/100 г. Высокий коэффициент аппроксимации подтверждает достоверность выведенных уравнений. Представлена математическая модель регрессионного уравнения коррелируемых показателей, которые можно использовать при оптимизации системы удобрений, планировании деятельности сельскохозяйственных предприятий, в учебном процессе.

**Ключевые слова:** математическая модель, регрессионная статистика, коэффициент корреляции, коэффициент аппроксимации, статистическая обработка, база данных, планируемая урожайность, минеральные удобрения, яровая пшеница, чернозем выщелоченный.

Modern agriculture is based on active use of the mineral fertilizers allowing quickly and with the minimum expenses to increase efficiency of arable land. Traditional use of the fixed doses of mineral fertilizers in modern conditions of market economy inefficiently does not coincide with the elements of soil fertility. The analysis of the reasons of hereditary communications between carrying out of nutrients and elements of the crop is given in the study. The planning of activity of agricultural enterprises requires using of mathematical models of calculation of doses of mineral fertilizers. As initial data results of long-term experiments made in the De-

partment of soil science and agrochemistry of the State agrarian university of Northern Zauralie in the Tyumen region were used. The scheme of experiment included introduction of mineral fertilizers on the planned productivity of spring-sown wheat 3.0; 4.0; 5.0 and 6.0 t/hectare. Mineral fertilizers were introduced taking into account soil fertility which was defined annually. In the experiments the content of nutrients in straw and grain was defined annually; economic carrying out was paid off. The obtained data were the basis for the development of mathematical model of food of spring wheat. High correlation dependence between nutrients and biogenous carrying out was revealed; grain relation to straw; exit of collateral production of the main crop. For calculation of doses of mineral fertilizers on the planned productivity of grain crops it was possible to use the regression equations: nitrogen –  $At = 6.27 \cdot X - 4.45 \cdot X_1 - 80.29$ ; phosphorus –  $At = 6.11 \cdot X - 12.75 \cdot X_1 - 63.3$ , where  $At$  – a dose of fertilizers, kg d.v./hectare;  $X$  – planned productivity, c/hectare;  $X_1$  – the contents in the soil of nitrate nitrogen, mg/kg; phosphorus, mg/100. The high coefficient of approximation confirms reliability of the equations. The mathematical model of regression equation of correlated indicators which can be used by optimization of the system of fertilizers, planning of activity of agricultural enterprises, in educational process was presented.

**Keywords:** mathematical model, regression statistics, correlation coefficient, approximation coefficient, statistical processing, database, planned productivity, mineral fertilizers, spring wheat, leached chernozom.

**Введение.** Интенсификация сельского хозяйства требует от науки научно обоснованного применения минеральных удобрений под планируемые урожаи культур. В прошлом эта проблема решалась агрохимическими исследованиями по всей территории страны и написанием методических рекомендаций по выращиванию определенных культур для конкретного региона. Такие рекомендации использовались повсеместно, и их было достаточно для агрономов, поскольку сортов было очень мало, технологии отработаны и едины для страны. В настоящее время ситуация кардинально изменилась – ежегодно появляются новые сорта сельскохозяйственных культур интенсивного направления;

система севооборотов и обработки почвы разрабатывается индивидуально для каждого хозяйства; появляются новые формы удобрений [1–3]. В таких условиях разработанные методические рекомендации для выращивания культур становятся менее актуальными, а в отдельных случаях и вовсе бесполезными.

На смену старым системам удобрений с фиксированными дозами под конкретную культуру и почву приходят новые технологии расчета доз удобрений на основе математических моделей питания зерновых культур. Они лишены недостатка конкретных привязок к сортам, почвам и климатическим условиями, хотя довольно трудны при расчетах. В этом случае на помощь приходит современное компьютерное оборудование, способное хранить довольно большую базу данных и практически в реальном времени рассчитывать необходимые дозы удобрений, обеспечивающие получение продукции с заданными характеристиками качества.

Без научно обоснованной стратегии производства сельскохозяйственной продукции невозможно решить проблему получения стабильных и экономически оправданных урожаев. Наиболее важным элементом в этой стратегии является использование таких современных технологий питания растений, как дифференцированное применение удобрений с учетом биологических особенностей культуры, почвы, погодных факторов [4]. По данным Н.В. Абрамова и Д.И. Ерёмкина [5], хозяйственный вынос питательных веществ яровой пшеницей варьирует в значительной степени и зависит не только от сорта, но и от погодных условий в определенный период развития растений. Ученые Государственного аграрного университета Северного Зауралья, проведя многолетние исследования, убедительно доказали, что существуют заметные различия в использовании элементов питания между сортами зерновых культур [6, 7]. Современные сорта, в силу своих генетических особенностей, характеризуются различной способностью поглощать из почвы питательные вещества и использовать их, тем самым влияя на урожайность. Поэтому система удобрений должна разрабатываться с учетом биологических особенностей не только культуры, но и сорта. Именно это будет являться залогом полного раскрытия биопотенциала сорта.

**Цель исследования:** статистическая оценка зависимости между питательными веществами и продуктивностью зерновых культур; использование уравнений регрессии, описывающих эту связь, для определения доз удобрений при возделывании яровой пшеницы на различную планируемую урожайность.

**Методика эксперимента.** Для разработки математической модели были использованы результаты многолетних исследований кафедры почвоведения и агрохимии, полученные и опубликованные Д.И. Ерёминым [8, 9]. Стационарный опыт по изучению влияния минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы был заложен в 1995 г. на маломощном, тяжелосуглинистом черноземе выщелоченном. Исследования проводили в зерновом с занятым паром севообороте (однолетние травы, пшеница, овес) в четырехкратной повторности, общая площадь делянки составляет 100 м<sup>2</sup> (4 × 25 м). Система обработки почвы – традиционная для лесостепной зоны Зауралья.

Удобрения вносились из расчета на планируемую урожайность яровой пшеницы и овса 4,0 (N<sub>140</sub>P<sub>40</sub>) и 6,0 (N<sub>280</sub>P<sub>100</sub>) т/га зерна, в качестве контроля использовался вариант без внесения удобрений. В опыте применяли аммиачную селитру с содержанием азота 34,5 % и аммофос, где на азот и фосфор приходилось 12 и 52 % соответственно. Удобрения вносились перед посевом под предпосевную культивацию. Статистическая обработка проводилась с использованием программного продукта *odn1*, разработанного на кафедре ЭММ и ВТ ГАУ Северного Зауралья. Корреляционный и регрессионный анализы проводились в Microsoft Excel.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Представленные в таблице результаты статистического анализа показали, что урожайность яровой пшеницы, а также побочная продукция в разной степени коррелируют с питательными веществами, вносимыми с удобрениями.

#### Статистические характеристики связи между выносом NPK и структурными элементами продуктивности яровой пшеницы

Показатель	Коэффициент корреляции	Уровень значимости
Азот		
Вынос-урожай зерна	0,88	0,001
Вынос-урожай соломы	0,72	0,010
Вынос-соотношение соломы к зерну	0,84	0,001
Фосфор		
Вынос-урожай зерна	0,77	0,010
Вынос-урожай соломы	0,42	0,010
Вынос-соотношение соломы к зерну	0,75	0,010
Калий		
Вынос-урожай зерна	0,43	0,010
Вынос-урожай соломы	0,80	0,010
Вынос-соотношение соломы к зерну	0,84	0,010

В лесостепной зоне Зауралья урожайность яровой пшеницы наиболее сильно зависит от вносимого азота и фосфора – коэффициент корреляции составляет 0,88 и 0,77 ед. соответственно. Слабая корреляционная связь отмечена между урожайностью и калием, вносимым с удобрениями. Данный факт объясняется высоким содержанием этого элемента питания в

почвах Тюменской области. Однако была установлена тесная связь между выносом и выходом побочной продукции – она составила 0,80 ед.

Корреляционная связь между биогенным выносом азота и соотношением формирующегося зерна и соломы яровой пшеницы также очень тесная – 0,84 ед., что позволяет нам использовать этот показатель для создания уравнения

регрессии. Это также приемлемо и в отношении калия. Связь между фосфором и соотношением зерна и соломы яровой пшеницы хоть и остается сильной, но коэффициент корреляции меньше, относительно азота и калия – 0,75 ед. Однако он также показывает, что создаваемое уравнение регрессии будет достоверным.

Высокая достоверность связи изучаемых признаков, бесспорно, свидетельствует о возможности ее использования для разработки уравнений регрессии, описывающих эту связь в алгебраической форме. В этом случае по уравнениям регрессии можно статистически достоверно прогнозировать биогенный вынос питательных веществ отдельно по каждому показателю продуктивности яровой пшеницы или же использовать отношение зерна к соломе. Несмотря на то что коэффициент корреляции в этом случае высокий, для сельскохозяйственного товаропроизводителя будет более интересным составление регрессионного уравнения по биогенному выносу питательных веществ, рассчитанного путем умножения планируемой урожайности на хозяйственный вынос. Как показали исследования Р.И. Белкиной и М.И. Масленко, этот показатель для сортов яровой пшеницы не варьирует в сильной степени [10]. Поскольку он является практически одинаковым для всех сортов яровой пшеницы, то, используя уравнения регрессии при имитационном моделировании, можно оценить потребность различных сортов в питательных веществах для формирования планируемой урожайности. Хозяйственный вынос соответствует затратам питательных веществ на формирование единицы основной продукции. На основании этой информации дозы минеральных удобрений можно определить по формуле

$$D = Y_{\text{п}} \cdot B_{\text{х}} - C_{\text{эл}},$$

где  $D$  – доза минеральных удобрений, кг действующего вещества на 1 гектар;  $Y_{\text{п}}$  – планируемая урожайность основной продукции, ц/га;  $B_{\text{х}}$  – хозяйственный вынос, кг/ц основной продукции;  $C_{\text{эл}}$  – запасы элемента питания в доступной для растений форме, кг/га.

Математический анализ позволил нам вывести регрессионные уравнения для расчета доз минеральных удобрений:

$$\text{Азот} - Y = 6,27 \cdot X - 4,45 \cdot X_1 - 80,29,$$

$$\text{Фосфор} - Y = 6,11 \cdot X - 12,75 \cdot X_1 - 63,3,$$

где  $Y$  – доза удобрений, кг д.в./га;  $X$  – планируемая урожайность, ц/га;  $X_1$  – содержание в почве нитратного азота, мг/кг; фосфора, мг/100 г.

Регрессионная статистика показала, что коэффициент корреляции между планируемой урожайностью, содержанием питательных веществ и дозой минеральных удобрений составляет: для азота – 0,94; для фосфора – 0,93. Коэффициент аппроксимации соответственно 0,87 ед., что указывает на достоверность прогнозируемых результатов. Представленные уравнения действительны только в диапазоне 15–60 ц/га. При увеличении планируемой урожайности свыше 60 ц/га необходимо пересмотреть текущие показатели и добавить новые, например, запасы продуктивной влаги в почве, сумму эффективных температур.

При данном методическом подходе в качестве аргументов в математических моделях выступают биологические особенности культур, сортов, что является положительным моментом использования метода. Немаловажно, что при этом потребление питательных веществ характеризуется как результативный признак. Соответствие между аргументом и функцией может быть выражено таблицей, формулой, графиком, а это, в свою очередь, дает возможность предельно наглядной количественной оценки потребления элементов минерального питания любой сельскохозяйственной культурой.

Еще одним весомым достоинством предлагаемого метода является то, что характеристика потребления сортами элементов минерального питания обеспечивает возможность рассчитать нормативы затрат азота, фосфора и калия на формирование единицы продукции различных сортов зерновых культур при их возделывании по различным технологиям и соответственно рассчитать окупаемость минеральных удобрений сортами зерновых культур. Также просматривается реальная возможность при расчетах доз удобрений избежать использования различных коэффициентов, предположение о постоянстве которых статистически не доказано (например, коэффициентов использования питательных веществ из почвы, удобрений и т. д.).

**Заключение.** Рассмотренная методика математического моделирования расчета доз минеральных удобрений на планируемую урожайность яровой пшеницы является объективной основой для разработки систем применения минеральных удобрений под новые сорта, возделываемые при любой системе земледелия с различным уровнем интенсификации. Полученные данные могут стать основой для создания оптимизационной модели питания сельскохозяйственных культур.

### Литература

1. *Логинов Ю.П., Казак А.А., Якубышина Л.И.* Сортосые ресурсы ячменя в Западной Сибири // *Аграрный вестн. Урала.* – 2012. – № 7 (61). – С. 8–11.
2. *Ерёмин Д.И., Моисеев А.Н.* Продуктивность севооборотов на черноземе выщелоченном в северной лесостепи Тюменской области // *Земледелие.* – 2013. – № 5. – С. 10–11.
3. *Остапенко А.В., Тоболова Г.В.* Создание базы данных сортов рода *Avena L.* на основе изменчивости компонентного состава проламинов // *Агропродовольственная политика России.* – 2015. – № 4. – С. 44–46.
4. *Абрамов Н.В., Шерстобитов С.В., Абрамов О.Н.* Дифференцированное внесение минеральных удобрений с использованием космических систем // *Агропродовольственная политика России.* – 2014. – № 2 (14). – С. 2–8.
5. *Абрамов Н.В., Ерёмин Д.И.* Азот текущей нитрификации и хозяйственный вынос как фактор программирования урожайности яровой пшеницы в условиях Северного Зуралья // *Сиб. вестн. с.-х. науки.* – 2009. – № 2. – С. 25–29.
6. *Белкина Р.И.* Сорт как фактор повышения качества зерна в условиях ресурсосбережения // *Сиб. вестн. с.-х. науки.* – 2012. – № 2. – С. 102–104.
7. *Бабушкина Т.Д., Боме Н.А., Белкина Р.И.* Яровая пшеница в Тюменской области: рекомендации. – Тюмень, 1984. – 37 с.
8. *Ерёмин Д.И.* Продуктивность зернового с занятым паром севооборота в северной лесостепи Тюменской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Тюмень, 2002. – 18 с.
9. *Ерёмин Д.И.* Агрогенная трансформация чернозема выщелоченного Северного Зуралья: дис. ... д-ра биол. наук. – Тюмень, 2012. – 452 с.
10. *Белкина Р.И., Масленко М.И.* Роль удобрений и азотной подкормки в повышении качества зерна пшеницы // *Сиб. вестн. с.-х. науки.* – 2012. – № 2. – С. 35–38.

### Literatura

1. *Loginov Ju.P., Kazak A.A., Jakubyshina L.I.* Sortovye resursy jachmenja v Zapadnoj Sibiri // *Agrarnyj vestn. Urala.* – 2012. – № 7 (61). – S. 8–11.
2. *Erjomin D.I., Moiseev A.N.* Produktivnost' sevooborotov na chernozeme vyshhelochennom v severnoj lesostepi Tjumenskoj oblasti // *Zemledelie.* – 2013. – № 5. – S. 10–11.
3. *Ostapenko A.V., Tobolova G.V.* Sozdanie bazy dannyh sortov roda *Avena L.* na osnove izmenchivosti komponentnogo sostava prolaminov // *Agroprodovol'stvennaja politika Rossii.* – 2015. – № 4. – S. 44–46.
4. *Abramov N.V., Sherstobitov S.V., Abramov O.N.* Differencirovanoe vnesenie mineral'nyh udobrenij s ispol'zovaniem kosmicheskikh sistem // *Agroprodovol'stvennaja politika Rossii.* – 2014. – № 2 (14). – S. 2–8.
5. *Abramov N.V., Erjomin D.I.* Azot tekushhej nitrifikacii i hozjajstvennyj vynos kak faktor programmirovanija urozhajnosti jarovoj pshenicy v uslovijah Severnogo Zaural'ja // *Sib. vestn. s.-h. nauki.* – 2009. – № 2. – S. 25–29.
6. *Belkina R.I.* Sort kak faktor povyshenija kachestva zerna v uslovijah resursoberzhenija // *Sib. vestn. s.-h. nauki.* – 2012. – № 2. – S. 102–104.
7. *Babushkina T.D., Bome N.A., Belkina R.I.* Jarovaja pshenica v Tjumenskoj oblasti: rekomendacii. – Tjumen', 1984. – 37 s.
8. *Erjomin D.I.* Produktivnost' zernovogo s zanjatym parom sevooborota v severnoj lesostepi Tjumenskoj oblasti: avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk. – Tjumen', 2002. – 18 s.

9. *Erjomin D.I.* Agrogennaja transformacija chernozema vyshhelochennogo Severnogo Zaural'ja: dis. ... d-ra biol. nauk. – Tjumen', 2012. – 452 s.
10. *Belkina R.I., Maslenko M.I.* Rol' udobrenij i azotnoj podkormki v povyshenii kachestva zerna pshenicy // Sib. vestn. s.-h. nauki. – 2012. – № 2. – S. 35–38.



УДК 633.16:631.527:631.526.32(527.1)

*Н.И. Аниськов, П.Н. Николаев  
П.В. Поползухин, И.В. Сафонова*

**АГРОБИОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДВУРЯДНОГО СОРТА  
ЯРОВОГО КОРМОВОГО ЯЧМЕНЯ ПОДАРОК СИБИРИ**

*N.I. Aniskov, P.N. Nikolaev,  
P.V. Popolzukhin, I.V. Safonova*

**AGROBIOLOGICAL CHARACTERISTICS OF VARIETIES OF SPRING  
TWO-ROWED FEED BARLEY GIFT OF SIBERIA**

**Аниськов Н.И.** – д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. Всероссийского института растениеводства им. Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург. E-mail: i.safonova@vir.nw.ru

**Николаев П.Н.** – зав. лаб. селекции ячменя Сибирского НИИ сельского хозяйства, г. Омск. E-mail: nikolaevpetr@mail.ru

**Поползухин П.В.** – канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. НИИ сельского хозяйства, г. Омск. E-mail: sibniish@bk.ru

**Сафонова И.В.** – канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр. Всероссийского института растениеводства им. Н.И. Вавилова, г. Санкт-Петербург. E-mail: i.safonova@vir.nw.ru

**Aniskov N. I.** – Dr. Agr. Sci., Senior Staff Scientist, All-Russian Institute of Plant Growing named after N.I. Vavilov, St. Petersburg. E-mail: i.safonova@vir.nw.ru

**Nikolaev P.N.** – Head, Lab. of Barley Selection, Siberian Research Institute of Agriculture, Omsk. E-mail: nikolaevpetr@mail.ru

**Popolzukhin P.V.** – Cand. Agr. Sci., Senior Staff Scientist, Research Institute of Agriculture, Omsk. E-mail: sibniish@bk.ru

**Safonova I.V.** – Cand. Agr. Sci., Senior Staff Scientist, All-Russian Institute of Plant Growing named after N.I. Vavilov, St. Petersburg. E-mail: i.safonova@vir.nw.ru

Целью исследований являлось создание и внедрение в производство двурядного средне-спелого, устойчивого к полеганию, болезням и засухе кормового сорта ярового пленчатого ячменя, обладающего высокой и стабильной урожайностью с хорошими технологическими качествами зерна. Яровой ячмень Подарок Сибири создан в Сибирском научно-исследовательском институте сельского хозяйства путем скрещивания сортов (Медикум 4369 × Медикум 4396) с последующим индивидуальным отбором. Относится к разновидности медикум. В статье представлены результаты исследований за 2011–2015 гг. в условиях

зоны южной лесостепи Западной Сибири (Омская область). Изучено три сорта: Подарок Сибири, Омский 91, Саша. Дана характеристика хозяйственно-биологических признаков и свойств сорта Подарок Сибири. Показаны все преимущества данного сорта в сравнении со стандартным сортом Омский 91 и последним переданным сортом Саша. Максимальная урожайность сорта ячменя Подарок Сибири получена в 2014 г. – 6,3 т/га. Прибавка к Омскому 91 составила 1,7 т/га. Зерно крупное, полуудлиненное. Сорт среднерослый, средне-спелый. Подарок Сибири относится к степной экологической группе сортов, засухоустойчив,