

# АГРОНОМИЯ

УДК 635.21:631.82/.85(571.15)

И.П. Кузьминых, Г.Г. Морковкин, С.В. Жандарова  
I.P. Kuzminykh, G.G. Morkovkin, S.V. Zhandarova

## МОДЕЛИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ УМЕРЕННО-ЗАСУШЛИВОЙ КОЛОЧНОЙ СТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

### THE SIMULATION OF SPRING WHEAT GRAIN YIELD UNDER THE CONDITIONS OF TEMPERATE ARID FOREST-OUTLIER STEPPE OF THE ALTAI REGION

**Ключевые слова:** яровая пшеница, урожайность, информационно-логический анализ, коэффициент эффективности связи, модель урожайности, прогноз урожайности.

Применение информационно-логического анализа в исследованиях позволило вычлнить действие каждого фактора, оценить тесноту (коэффициент эффективности передачи информации) и эффективность передачи информации, определить наиболее вероятные состояния урожайности, в зависимости от состояния изучаемых факторов. В результате проведенных исследований выявили прямое влияние на урожайность зерна яровой пшеницы почвенно-агрохимических факторов. Агротехнические условия оказали косвенное влияние на урожайность зерна. Информационно-логический анализ позволил установить эффективность влияния каждого фактора через коэффициент эффективности канала связи ( $K_{эфф}$ ) на урожайность яровой пшеницы и построить информационно-логическое выражение, где изучаемые факторы распределены в порядке убывающей значимости в отношении урожайности зерна яровой пшеницы. Факторы связаны между собой функцией нелинейного произведения ( $x$ ). Полученная информационно-логическая модель урожайности позволяет планировать урожайность зерна в зависимости от сложившихся погодных условий вегетации, состояния содержания в почве подвижных питательных веществ до посева культуры, на фоне различных

приемов основной обработки почвы и применения сидеральных удобрений с прогнозирующей способностью до 90%.

**Keywords:** spring wheat, yielding capacity, information-logical analysis, communication efficiency coefficient, yield modeling, yield forecast.

The use of information-logical analysis in our research enabled to identify the effect of each factor, evaluate the strength of relationship (the coefficient of information transfer efficiency) and the efficiency of information transfer, and determine the most likely yield states depending on the state of the studied factors. The conducted research revealed the direct influence of soil-agrochemical factors on the yield of spring wheat grain. The agro-technical conditions had an indirect impact on the grain yield. Information and logical analysis revealed the efficiency of each factor using the coefficient of the communication channel efficiency on spring wheat yield and to construct information-logical expression where the studied factors were distributed in order of decreasing importance regarding spring wheat grain yield and the factors were associated by a non-linear function ( $x$ ). The obtained information-logical model of yield allows planning the grain yield depending on the prevailing weather conditions of the growing season and the state of soil mobile nutrients before sowing against the background of different basic tillage techniques and application of green manure with the forecast power up to 90%.

**Кузьминых Ирина Петровна**, аспирант, каф. почвоведения и агрохимии, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: i.p.averyanova@mail.ru.

**Морковкин Геннадий Геннадьевич**, д.с.-х.н., проф., каф. почвоведения и агрохимии, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: ggmark@mail.ru.

**Жандарова Светлана Викторовна**, к.с.-х.н., доцент, каф. почвоведения и агрохимии, Алтайский государственный аграрный университет. E-mail: i.p.averyanova@mail.ru.

**Kuzminykh Irina Petrovna**, post-graduate student, Chair of Soil Science and Agrochemistry, Altai State Agricultural University. E-mail: i.p.averyanova@mail.ru.

**Morkovkin Gennadiy Gennadyevich**, Dr. Agr. Sci., Prof., Chair of Soil Science and Agrochemistry, Altai State Agricultural University. E-mail: ggmark@mail.ru.

**Zhandarova Svetlana Viktorovna**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Chair of Soil Science and Agrochemistry, Altai State Agricultural University. E-mail: i.p.averyanova@mail.ru.

## Введение

Применение математического моделирования при прогнозировании урожайности сельскохозяйственных культур получило высокую актуальность в последние годы [1-3]. Поэтому **цель** исследований – изучение влияния почвенно-агрохимических и агротехнических факторов на урожайность зерна яровой пшеницы и разработка математических моделей урожайности зерна на основе полученных результатов.

## Объект и методы

Исследования проводили на территории ОАО «Учебно-опытное хозяйство «Пригородное», расположенное в условиях умеренно-засушливой колочной степи Алтайского края. Годы проводимых исследований отличались погодными условиями вегетационного периода яровой пшеницы. Более прохладным и хорошо увлажненным отмечен 2013 г., где ГТК<sub>2</sub> составил 1,4 при сумме среднесуточных температур воздуха 1890<sup>0</sup>С. Следующий 2014 г. оказался менее прохладным и увлажненным (ГТК<sub>2</sub>=1,2, при сумме температур воздуха 2019<sup>0</sup>С) по сравнению с предыдущим годом. Более теплым и засушливым был отмечен 2015 г., где ГТК<sub>2</sub> составил 0,7 при сумме температур воздуха за вегетацию 2380<sup>0</sup>С, следующий 2016 г. обозначился как теплый и слабо увлажнен-

ный при ГТК<sub>2</sub>=0,8 и сумме температур воздуха за вегетацию 2686<sup>0</sup>С [4, 5].

Опыт был заложен по следующей схеме:

Первый фактор – приемы основной обработки почвы:

- 1) контроль – отвальная вспашка (ПН 5-35) на глубину 25-27 см;
- 2) обработка почвы дисковой бороной (БДТ-7,0) на глубину 8-14 см;
- 3) плоскорезная обработка почвы (КПГ-250) на глубину 25-27 см.

Второй фактор 2 – паровые предшественники:

- 1) контроль (чистый пар);
- 2) вико-овсяная смесь (сидеральный пар);
- 3) рапс (сидеральный пар);
- 4) просо (сидеральный пар).

В 2012 г. была проведена запашка сидеральных культур, в 2013 г. изучалось действие паровых предшественников (чистого и сидеральных), в 2014 г. – 1-е последствие паровых предшественников, в 2015 г. – 2-е последствие паровых предшественников, в 2016 г. – 3-е последствие паровых предшественников [4, 5].

Исследования проводили при посеве яровой мягкой пшеницы сорта Памяти Азии. Почвенные образцы для агрохимического анализа отбирали из слоя почвы 0-20 см весной до посева, а также в фазу кущения и в период уборки яровой пшеницы. В модель урожайности зерна вошли данные содержа-

ния в почве элементов питания в почве до посева культуры, так как в данный период наблюдалось наиболее сильная связь между факторами (содержание в почве элементов питания) и явлением (урожайность зерна яровой пшеницы).

Учет урожая проводили с площади 1 м<sup>2</sup> в трехкратной повторности. Элементы питания в почве определяли общепринятыми методами. Схема расположения опыта методом расщепленных деленок площадью 400 м<sup>2</sup>. Площадь учетной деланки составила 50 м<sup>2</sup> [6, 7].

Для построения моделей урожайности зерна яровой пшеницы использовали информационно-логический анализ, который позволил вычленить действие каждого фактора, оценить тесноту (коэффициент эффективности передачи информации) и эффективность передачи информации, определить наиболее вероятные состояния урожайности, в зависимости от состояния изучаемых факторов [8]. Общая совокупность сопряженных данных урожайности на различных

вариантах за четыре года исследований составила 936 дат. В качестве факторов выступали показатели содержания подвижных питательных веществ в почве (нитратного и аммонийного азота, подвижного фосфора и обменного калия), а в качестве условий – гидротермическая характеристика вегетационного периода (ГТК<sub>2</sub>), приемы основной обработки почвы, виды сидеральных удобрений, характер их действия и последствий (таб.).

Результаты информационного анализа показали, что теснота связи ( $K_{эфф}$ ) между содержанием в почве нитратного азота (N-NO<sub>3</sub>) – 0,1040, подвижного фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 0,0938, аммонийного азота (N-NH<sub>4</sub>) – 0,0870 и обменного калия (K<sub>2</sub>O) – 0,0736 и урожайностью зерна яровой пшеницы имеет средние значения. Не очень высокая теснота связи объясняется значительным варьированием содержания в почве подвижных питательных веществ в течение вегетации (сезонная динамика).

Таблица

**Зависимость урожайности зерна яровой пшеницы от почвенно-агрохимических факторов и агротехнических условий (по коэффициенту эффективности передачи информации,  $K_{эфф}$ )**

Факторы	$K_{эфф}$
Погодные условия вегетации (ГТК <sub>2</sub> )	0,1567
Содержание в почве нитратного азота (N-NO <sub>3</sub> )	0,1040
Содержание в почве аммонийного азота (N-NH <sub>4</sub> )	0,0870
Содержание в почве подвижного фосфора (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,0938
Содержание в почве обменного калия (K <sub>2</sub> O)	0,0736
Динамика действия, последствий сидеральных удобрений по годам (ДПСУ)	0,0992
Виды сидеральных удобрений (ВСУ)	0,0547
Обработка почвы (ОП)	0,0413

По значению коэффициента эффективности канала связи можно судить о том, что наибольшее влияние на формирование урожайности зерна яровой пшеницы оказали погодные условия вегетации ( $ГТК_2$ ) – 0,1567 и содержание нитратного азота ( $N-NO_3$ ) – 0,1040. Это можно объяснить тем, что скорость и направление почвенных микропроцессов, в результате которых повышается либо понижается содержание в почве доступных питательных веществ, напрямую связаны с погодными условиями вегетации (температура и влага) [9].

Пролонгированное действие сидеральных удобрений проявляется не только в первый год после заделки, но и в последствии. Это подтверждается коэффициентом эффективности канала связи  $K_{эфф} = 0,0992$ . Гораздо меньшее влияние на урожайность оказывает вид сидеральных удобрений ( $K_{эфф} = 0,0547$ ). Темп разложения органического субстрата играет важную роль в изучении сидеральных удобрений, что определяет доступность элементов питания, которые влияют на рост и развитие растений [10].

Слабая связь отмечалась также между приемами основной обработки почвы ( $K_{эфф}=0,0413$ ) и урожайностью. Это можно объяснить тем, что, возможно, они оказывают косвенное влияние на урожайность, либо урожайность зависит от других, более значимых, факторов. Обработка почвы регулирует водно-воздушный режим почвы, что повышает микробиологическую деятельность, которая улучшает питательный режим почвы [10]. Регулируя водно-воздушный режим, обработка почвы повышает биологическую активность почвы, а вместе с этим улучшает ее режим питания [11]. Сидеральные удобрения, как и приемы основной обработки

почвы, оказывают косвенное влияние на урожайность зерна яровой пшеницы через формирование питательного режима почвы [12]. Таким образом, информационно-логический анализ позволил установить эффективность влияния каждого фактора через коэффициент эффективности канала связи ( $K_{эфф}$ ) на урожайность яровой пшеницы и построить информационно-логическое выражение, где изучаемые факторы распределены в порядке убывающей значимости в отношении урожайности зерна яровой пшеницы. Факторы связаны между собой функцией нелинейного произведения ( $x$ ). Факторы, у которых эффективность связи в отношении урожайности близки по значению, объединены в скобки:

$$P_y = ГТК_2 \times (N-NO_3 \times ДПСУ \times P_2O_5 \times (N-NH_4 \times K_2O \times (BCU \times ОП))),$$

где  $P_y$  – ранг урожайности, который определяется в зависимости от ранга предполагаемого гидротермического коэффициента ( $ГТК_2$ ), ранга содержания в почве нитратного ( $N-NO_3$ ), аммонийного азота ( $N-NH_4$ ), подвижного фосфора ( $P_2O_5$ ) и обменного калия ( $K_2O$ ), ранга сидеральных удобрений в их действии или последствии (ДПСУ), вида сидеральных удобрений (BCU) и ранга приемов основной обработки почвы (ОП).

### Заключение

Использование информационно-логической модели урожайности зерна яровой пшеницы позволяет прогнозировать урожайность в зависимости от почвенно-агрохимического состояния и агротехнических условий. Процент безошибочного прогноза урожайности зерна яровой пшеницы через модель составил 60% и варьированием на один ранг до 90%.

**Библиографический список**

1. Пивоварова, Е. Г. Моделирование агрохимических свойств в почве: учебно-методическое пособие / Е. Г. Пивоварова. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2015. – 56 с. – Текст: непосредственный.
2. Совриков, А. Б. Принцип метода оптимизации минерального питания растений и его эффективность / А. Б. Совриков. – Текст: непосредственный // Почвы национальное достояние России: материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов. – Новосибирск, 2004. – С. 328-331.
3. Абрамов, Н. В. Моделирование продуктивности агроэкосистем / Н. В. Абрамов. – Текст: непосредственный // Агропродовольственная политика России. – 2012. – № 12. – С. 2-6.
4. Аверьянова, И. П. Влияние факторов эффективного плодородия почвы на урожайность и качество зерна яровой пшеницы и их моделирование в условиях умеренно-засушливой колочной степи Алтайского края / И. П. Аверьянова, С. В. Жандарова, А. Б. Совриков. – Текст: непосредственный // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2017. – № 6. – С. 15-20.
5. Аверьянова, И. П. Влияние агротехнических факторов на урожайность зерна яровой пшеницы в условиях умеренно-засушливой колочной степи Алтайского края / И. П. Аверьянова. – Текст: непосредственный // Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета: сборник научных трудов. – Барнаул: РИО Алтайского ГАУ, 2019. – № 1. – С. 3-5.
6. Аринушкина, Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – Москва: Изд-во Московского университета, 1970. – 491 с. – Текст: непосредственный.
7. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – Москва: Колос, 1985. – 351 с. – Текст: непосредственный.
8. Пузаченко, Ю.Т., Карпачевский Л.О., Взнуздаев Н.А. Возможности применения информационно-логического анализа при изучении почвы. – Москва: Наука, 1970. – С. 103-121.
9. Минеев, В. Г. Плодородие и биологическая активность дерново-подзолистой почвы при длительном применении удобрений и их последствие / В.Г. Минеев, Н. Ф. Гомонова, М. Ф. Овчинникова // Агрохимия. – 2004. – № 7. – С. 5-10.
10. Лапа, В. В. Минерализация различных видов органических удобрений в дерново-подзолистой супесчаной почве / В. В. Лапа. – Текст: непосредственный // Труды БелНИИПА. – Минск, 2004. – С. 87-92.
11. Ковда, В. А. Основы учения о почвах / В. А. Ковда. – Наука, 1973. – 448 с. – Текст: непосредственный.
12. Thomason, W.E., Raun, W.R., Johnson, G.V. (2000). Winter wheat fertilizer nitrogen use efficiency in grain and forage production systems. *Journal of Plant Nutrition*. 23:10, 1505-1516, DOI: 10.1080/01904160009382118.

**References**

1. Pivovarova, E.G. Modelirovanie agrokhimicheskikh svoystv v pochve: uchebno-metodicheskoe posobie / E.G. Pivovarova; Altayskiy GAU. – Barnaul: Altayskiy GAU, 2015. – 56 s.
2. Sovrikov, A.B. Printsip metoda optimizatsii mineralnogo pitaniya rasteniy i ego effektivnost // Pochvy – natsionalnoe dostoyanie Rossii. Materialy IV sezda Dokuchaevskogo obshchestva pochvovedov. – Novosibirsk, 2004. – S. 328-331.
3. Abramov, N.V. Modelirovanie produktivnosti agroekosistem / N.V. Abramov // Agroprodovolstvennaya politika Rossii. – 2012. – No. 12. – S. 2-6.

4. Averyanova, I.P. Vliyanie faktorov effektivnogo plodorodiya pochvy na urozhaynost i kachestvo zerna yarovoy pshenitsy i ikh modelirovanie v usloviyakh umerenno-zasushlivoy kolochnoy stepi Altayskogo kraya / I.P. Averyanova, S.V. Zhandarova, A.B. Sovrikov // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – No. 6. – S. 15-20.
5. Averyanova, I.P. Vliyanie agrotekhnicheskikh faktorov na urozhaynost zerna yarovoy pshenitsy v usloviyakh umerenno-zasushlivoy kolochnoy stepi Altayskogo kraya // Vestnik molodezhnoy nauki Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta: sbornik nauchnykh trudov. – Barnaul: RIO Altayskogo GAU, 2019. – No. 1. – S. 3-5.
6. Arinushkina, E.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv / E.V. Arinushkina. – Moskva: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1970. – 491 s.
7. Dospekhov B.A. Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezultatov issledovaniy). – Moskva: Kolos, 1985. – 351 s.
8. Puzachenko, Yu.T., Karpachevskiy L.O., Vznuzdaev N.A. Vozmozhnosti primeneniya informatsionno-logicheskogo analiza pri izuchenii pochvy. – Moskva: Nauka, 1970. – S. 103-121.
9. Mineev, V.G. Plodorodie i biologicheskaya aktivnost dernovo-podzolistoy pochvy pri dlitelnom primenenii udobreniy i ikh posledeystvie / V.G. Mineev, N.F. Gomonova, M.F. Ovchinnikova // Agrokimiya. – 2004. – No. 7. - S. 5-10.
10. Lapa, V.V. Mineralizatsiya razlichnykh vidov organicheskikh udobreniy v dernovo-podzolistoy supeschanoy pochve / V.V. Lapa // Tr. BelNIIPA. – Minsk, 2004. – S. 87-92.
11. Kovda, V.A. Osnovy ucheniya o pochvakh. – Moskva: Nauka, 1973. – 448 s.
12. Thomason, W.E., Raun, W.R., Johnson, G.V. (2000). Winter wheat fertilizer nitrogen use efficiency in grain and forage production systems. *Journal of Plant Nutrition*. 23:10, 1505-1516, DOI: 10.1080/01904160009382118.



УДК 633.11«324»:664.64:002.237

**И.В. Пахотина, Ю.Н. Кашуба,  
Е.Ю. Игнатьева, В.М. Трипутин  
I.V. Pakhotina, Yu.N. Kashuba,  
Ye.Yu. Ignatyeva, V.M. Triputin**

## ОЦЕНКА КОЛЛЕКЦИИ ОЗИМОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ НА КАЧЕСТВО ЗЕРНА

### THE EVALUATION OF WINTER SOFT WHEAT COLLECTION REGARDING GRAIN QUALITY

**Ключевые слова:** озимая пшеница, образец, коллекция, продуктивность, качество зерна, технологические и хлебопекарные показатели.

Одна из важнейших задач сельского хозяйства – производство зерна высокого качества. Основой решения этой задачи является создание и внедрение в производство новых сортов пшеницы, у которых хорошее качество зерна сочетается с высокой урожай-

ностью. Высококачественное зерно пшеницы является важным и необходимым сырьем для перерабатывающей промышленности в выработке стандартной хлебопекарной муки. Современные сорта озимой пшеницы обладают достаточно высокими потенциальными возможностями по урожайности. Но генетический потенциал высокопродуктивных сортов используется в производственных условиях на 30-50%. Одной из основных задач селекции озимой