ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ / AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.618–627
УДК 631.5:631.6:911.2

(cc) BY

Прогноз урожайности и размещения посевов озимой ржи на землях, рекомендованных к освоению

© 2025. Д. А. Иванов✉, М. В. Рублюк, Н. А. Хархардинов
ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

В работе выполнено прогнозирование урожайности озимой ржи в пределах хозяйства Тверской области на основе результатов мониторинга и архивных данных. Долговременный (1997–2022 гг.) мониторинг урожайности озимой ржи сорта Дымка и свойств почв проводили на агрополигоне «Губино», расположенном в пределах конечно-моренного холма на агроэкологической трансекте – производственном массиве, пересекающем его основные ландшафтные позиции. Рассчитывали математические модели зависимости урожайности ржи от ландшафтных факторов при различных погодных условиях. С помощью ГИС-системы данные моделирования переносили в условия генетически-однотипного с трансектой хозяйства. В работе показано, что максимальная урожайность ржи (3,4 т/га) зафиксирована при засухе в год уборки, при оптимальном увлажнении она снижается до 3,1 т/га, а при избыточном – до 2,5 т/га. В экстремальных климатических условиях (в годы засух или избытка осадков) максимальное влияние на урожай ржи оказывает вариабельность высотных отметок в пределах поля, тогда как при оптимальном увлажнении ее продуктивность в основном зависит от агрохимических свойств почв. Важнейшим результатом прогнозирования урожайности являются синтетические карты, на которых отражены ареалы различного влияния агроклиматических обстановок на урожайность культуры – на их основе землепользователь может сделать корректные выводы о пригодности к выращиванию ржи на той или иной территории.

Ключевые слова: *агроландшафт, прогноз, урожайность ржи, статистический анализ, ГИС-системы*

***Благодарности*:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» (тема FGUR-2022-0017).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

***Для цитирования*:** Иванов Д. А., Рублюк М. В., Хархардинов Н. А. Прогноз урожайности и размещения посевов озимой ржи на землях, рекомендованных к освоению. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(3):618–627. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.618-627

Поступила: 24.01.2025 Принята к публикации: 18.06.2025 Опубликована онлайн: 30.06.2025

Forecast of yield and placement of winter rye crops on lands recommended for development

© 2025. Dmitriy A. Ivanov✉, Maria V. Rublyuk, Nikita A. Kharkhardinov
Federal Research Center V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

The paper presents a forecast of the winter rye yield on a farm of Tver region based on monitoring results and archival data. Long-term (1997–2022) monitoring of the yield of 'Dymka' winter rye cultivar and soil properties was conducted at the Gubino agricultural testing grounds within the terminal moraine hill, on an agro-ecological transect - production area intersecting its main landscape positions. Mathematical models of the dependence of rye yield on landscape factors under various weather conditions were calculated. Using a GIS system, the modeling data were transferred to the conditions of a farm genetically identical to the transect. The paper shows that the maximum rye yield (3.4 t/ha) was recorded during the drought in the year of harvesting, with optimal moisture it decreases to 3.1 t/ha, and with excess moisture – to 2.5 t/ha. In extreme climatic conditions (in years of drought or excess precipitation), the maximum impact on the rye yield is exerted by the variability of elevation marks within the field, whereas with optimal moisture, its productivity mainly depends on the agrochemical properties of the soil. The most important result of yield forecasting are synthetic maps that reflect the areas of different influence of agroclimatic conditions on crop yield. On the basis of these maps the land user can make correct conclusions about the suitability for growing rye in a particular area.

Keywords: *agrolandscape, forecast, rye yield, statistical analysis, GIS systems*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Center V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (theme No. FGUR-2022-0017).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interest: the authors declare that there is no conflict of interest.

For citation: Ivanov D. A., Rublyuk M. V., Kharkhardinov N. A. Forecast of yield and placement of winter rye crops on lands recommended for development. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(3):618–627. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.3.618-627

Received: 24.01.2025 Accepted for publication: 18.06.2025 Published online: 30.06.2025

Озимая рожь – традиционно одна из важнейших культур для районов Нечерноземной зоны нашей страны. Она богата полезными для человека веществами [1]. Озимая рожь характеризуется низкой требовательностью к условиям среды. Для ее развития оптимальна температура 7–11 °С. Рожь устойчива к засухе, однако для нее важно достаточное количество влаги в почве осенью, иначе в зиму растения уйдут слабо раскустившимися. Избыток же воды является причиной гибели части посевов.

К почвам озимая рожь менее требовательна, чем все остальные зерновые колосовые. Хорошо произрастает на дерново-подзолистых почвах. Ее корневая система способна лучше, чем других культур, использовать фосфор из почвы, хотя по усвоению калия она уступает овсу. Растению необходимы калий и фосфор. Азот играет важную роль в ее формировании, но его избыток провоцирует полегание. По данным Л. В. Шалаевой [2], в 2021 г. уменьшился валовой сбор озимой ржи (- 827 тыс. тонн, или 32,44 %), в расчете на душу населения сокращение составило 5 кг, или 32,01 %, вследствие уменьшения площади посевов на 170 тыс. га (19,88 %). Ежегодные колебания ее урожайности достигают 20–30 %[1]. За счет увеличения посевной площади ржи – лучшей зерновой культуры по зимостойкости, кислото- и засухоустойчивости, наиболее адаптивной для регионов со сложными природно-климатическими условиями [3], а также повышения уровня использования минеральных и органических удобрений возможно решение обозначенной проблемы [2, 4, 5]. Увеличение посевных площадей под рожью во многом обусловлено темпами вовлечения заброшенных земель в сельскохозяйственный оборот, площадь которых в стране достигает 44 млн га, при этом 20 млн га бывшей пашни, из которых можно эксплуатировать 12 млн га[2] [6]. Использование заброшенных земель должно вестись на основе адаптивно-ландшафтных подходов, предполагающих экологически обусловленное размещение посевов культур для раскрытия их биологического потенциала и затухания деградационных процессов в природном комплексе [7, 8, 9].

Для осуществления адаптивно-ландшафтного подхода необходим мониторинг урожайности культур и динамики факторов природной среды на агроэкологических полигонах. При статистическом анализе его данных выявляются факторы, влияющие на продуктивность, и создаются математические модели, описывающие адаптивные реакции растения на изменчивость природной среды [10, 11, 12]. На основе моделей и ГИС-технологий производится прогнозирование «поведения» растения (изменения его урожайности) в пределах участков, которые расположены в аналогичных с агроэкологическим полигоном ландшафтных условиях. Анализ карт прогнозной урожайности позволит определить места с различными технологическими возможностями и решить вопрос о перспективах их освоения [13, 14].

В нашей работе выполнено прогнозирование урожайности озимой ржи для условий ликвидированного хозяйства Тверской области на основе результатов мониторинга ее урожайности на агрополигоне, расположенном в его пределах.

Цель исследований – оценка потенциальной (без применения удобрений) пригодности земель хозяйства для выращивания ржи при прогнозировании ее урожайности на основе мониторинговых данных, математического моделирования и ГИС-технологий.

Научная новизна – определение возможности прогнозирования урожайности озимой ржи в пределах хозяйства на базе архивных данных (агрохимических картограмм, карты почв и рельефа) без привлечения средств на дополнительное обследование его территории.

Материал и методы. В работе использовали данные длительного мониторинга (1998–2022 гг.) урожайности озимой ржи (*Secale cereale* L.) сорта Дымка на агрополи-

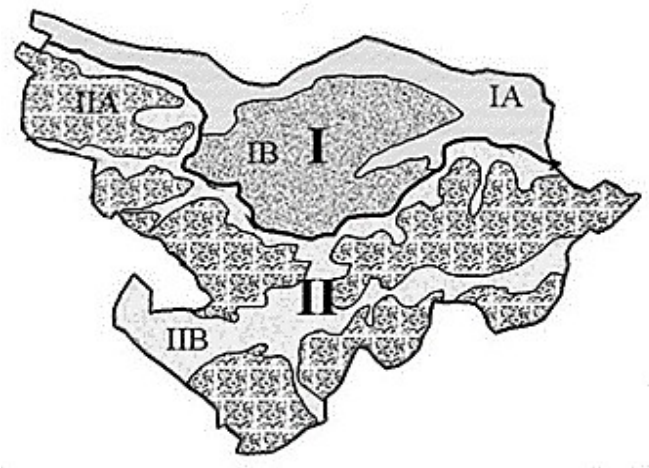
[1]Рожь – стратегическая зерновая культура в обеспечении продовольственной безопасности России. [Электронный ресурс]. URL: https://sfera.fm/articles/hlebopecheniya/rozh-strategicheskaya-zernovaya-kultura-v-obespechenii-prodovolstvennoi-bezopasnosti-rossii?ysclid=lcvxjsvwb8236690263 (дата обращения: 06.01.2023).

[2]Михайлова А. Непаханое поле: стоит ли возвращать в оборот залежные земли. Агроинвестор. 24 октября 2020. URL: https://www.agroinvestor.ru/analytics/news/34684-nepakhanoe-pole-stoit-li-vozvrashchat-v-oborot-zalezhnye-zemli/ (дата обращения: 15.02.2024).

гоне «Губино», расположенном на моренном холме в 4 км к востоку от г. Тверь. Холм с относительной высотой 15 м состоит из плоской вершины, пологих (2–5°) склонов и межхолмных депрессий. Почвенный покров – вариация-мозаика дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв, образованных на двучленных отложениях – песчано-супесчаная толща подстилается закамененной мореной на разной глубине. На юге полигона мощность флювиогляциального наноса местами превышает 1,5 м – почвы здесь преимущественно песчаные. На вершине и северном склоне поверхностные слои сложены супесью и иногда легким суглинком, мощность кроющего наноса колеблется около 1 м, а в депрессии на севере морена изредка выходит на дневную поверхность. Наблюдения проводили на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – массиве, пересекающем все микроландшафтные позиции (подурочища) конечно-моренного холма: транзитно-аккумулятивные депрессии; транзитные средних частей склонов; элювиально-транзитные верхних частей склонов; элювиально-аккумулятивное вершины. Трансекта состоит из десяти параллельных полосполей, каждая из которых занята определенной культурой. В пределах конкретной полосы технологическое воздействие однотипно, что позволяет изучать влияние ландшафтных условий на культуры в наименее искаженном виде. Поля имеют ширину 7,2 м, длину – 1300 м. Определение урожайности ржи осуществляли в 30 точках, регулярно расположенных вдоль трансекты на расстоянии 40 м друг от друга в 4-кратной повторности. Площадь учетной площадки – 20 м^2.

Под рожь удобрения не вносили (экстенсивная технология), за исключением подкормки в фазу кущения аммиачной селитрой в дозе 1 ц/га (N_{30} д. в./ га). В работе исследовали влияние факторов рельефа (абсолютной высоты, крутизны и кривизны поверхности, интенсивности солнечной радиации) и показателей агрохимических свойств почв: гумус (по Тюрину); pH_{KCL}; подвижный фосфор (по Кирсанову); обменный калий (по Кирсанову), определяемых в вышеописанных точках опробования, т. к. только эти параметры известны для территории хозяйства (ОПХ «Заветы Ленина» Калининского района Тверской области).

Прогнозное хозяйство, где размещен агрополигон «Губино», прекратило хозяйственную деятельность в конце 90-х годов и было юридически ликвидировано в 2006 году. Общая его площадь составляла 6312 га, сельхозугодий – 4923 га, пашни – 3394 га. Территория ОПХ в агроэкологическом отношении может быть поделена на две части (рис. 1).



I – Зандрово-аллювиальная равнина / Zandro-alluvial plain
II – Водно-ледниковая равнина / Water-glacial plain
IA – Долины рек / River valleys
IB – Зандровая равнина / Zander plain
IIA – Конечно-моренные холмы / Finite-moraine hills
IIB – Межхолмные депрессии / Interhill depressions

Рис. 1. **Карта-схема ландшафтного устройства ОПХ «Заветы Ленина» /**
Fig. 1. **Map-scheme of the landscape arrangement of the experimental production farm "Zavety Lenina"**

1. Долинный ландшафт на севере хозяйства, занимающий 29,2 % его площади, образован русловыми процессами. Рельеф его плоский, осложненный останцами гривистых зандров, сложенных аллювиальными отложениями различного возраста, гранулометрического состава и занятых сосновым бором (I). Доминантная местность – современная долина р. Волги (IA).

2. Ландшафт моренно-ледниковой равнины, занимающий центральные и южные части хозяйства, образован флювиогляциальными процессами, происходившими при отступании

Московского ледника (II). Он расположен на 70,8 % площади ОПХ, рельеф волнисто-увалистый с перепадами высот до 30 м. Почвообразующие породы – двучлены разной мощности, образованные флювиогляциальными песками и супесями, подстилаемыми завалуненной карбонатной мореной. Ландшафт образован одной местностью волнисто-увалистой равнины, которая, в свою очередь, состоит из сложных урочищ моренных холмов (IIA). Доминантными подурочищами здесь являются транзитные геокомплексы, субдоминантными – транзитно-аккумулятивные геосистемы (IIB).

Агроэкологическая трансекта, расположенная в полосе перехода моренно-ледниковой равнины к долинному геокомплексу, генетически однотипна ландшафтам, составляющим территорию ОПХ.

На основании архивных материалов ОПХ и института (материалы обследования Гипрозема и Гипроводхоза, агрохимической службы Тверской области, данные по опытным участкам Всероссийского НИИ мелиорированных земель) были составлены цифровая модель рельефа (ЦМР) хозяйства, агрохимические картограммы, почвенные и ландшафтные карты. В пределах ОПХ выбраны 60 равномерно расположенных опорных точек, для каждой из которых определены все вышеуказанные параметры.

Статистическую и графическую обработку данных мониторинга и прогноз осуществляли с помощью пакетов программ Statgraphic+19, Excel 19, Statistica и геоинформационной системы ArcGIS 10. Степень влияния ландшафтных факторов на урожайность ржи вычисляли на основе метода Н. А. Плохинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую[3].

Результаты и их обсуждение. За годы наблюдений средняя урожайность озимой ржи на трансекте составила 2,9 т/га, колебание по годам – от 2,0 до 3,6 т/га. Предположение, что оно обусловлено изменением агроклиматической обстановки в год уборки урожая [15, 16] позволило все годы исследований разделить на три группы: 1. Сухие условия – годы уборки с ГТК по Селянинову <1, вероятность их возникновения – 23 %. 2. Оптимальные условия – ГТК 1,0…1,5, возникающие в 62 % случаев. 3. Влажные условия – ГТК>1,5 встречаются наиболее редко (15 %). Результаты статистической обработки данных урожайности ржи по группам лет показаны на рисунке 2.

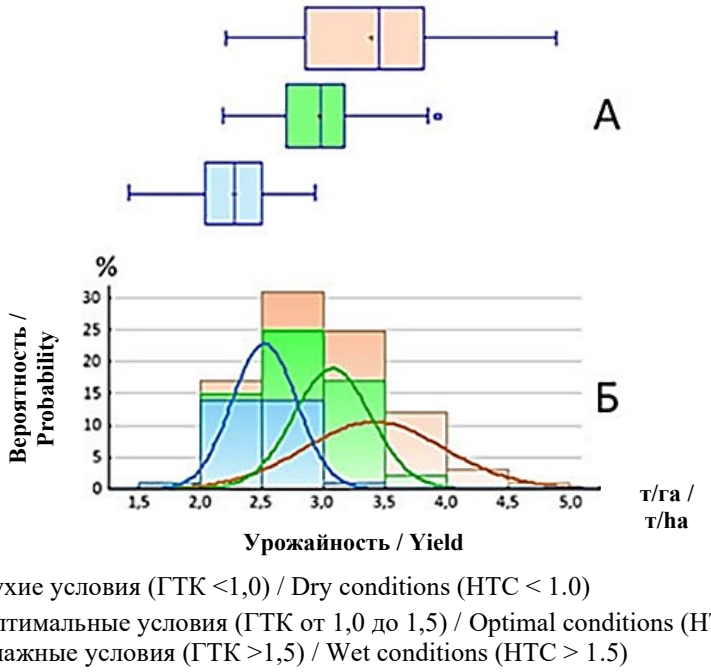


Рис. 2. **Результаты статистической обработки данных по урожайности озимой ржи в пределах трансекты в различных агроклиматических условиях /**

Fig. 2. **Results of statistical processing of data on winter rye yield within the transect in various agroclimatic conditions**

[3]Плохинский Н. А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с. URL: https://djvu.online/file/GePtUfYfyhJ95

Максимальная урожайность культуры (3,4 т/га) получена при сухих условиях в год уборки, по мере увеличения ГТК она снижалась – при оптимальных условиях увлажнения она достигала 3,1 т/га, а при влажных – 2,5 т/га. Различия статистически достоверны – $НСР_{05}$ = 0,2 т/га. В сухие годы отмечена максимальная пространственная изменчивость урожайности (CV =16,8 %), в оптимальные и влажные годы она снижается (10,3 и 10,4 % соответственно) (рис. 2А). На рисунке 2Б показаны гистограммы распределения урожайности ржи в различных погодных условиях. Видно, что при недостатке влаги наибольшие площади в агроландшафте занимают ареалы с урожайностью от 2,5 до 3,5 т/га, а увеличение ГТК приводит к преобладанию ареалов с урожайностью от 2,0 до 3,0 т/га.

Мультирегрессионный анализ показывает изменение характера адаптивных реакций ржи на ландшафтные условия при изменении ГТК. В сухую погоду урожайность зерна достоверно зависит от плодородия почвы и условий рельефа. Уравнение регрессии имеет следующий вид:

$$Урожай = 8{,}30818_{pH} - 0{,}785061_{Калий} - 0{,}102307_{Фосфор} + \\ + 0{,}00118811_{Солнечная\ радиация} + 2{,}1011_{Высота\ местоположения} - 755{,}916. \quad (1)$$

$R^2 = 54{,}3\ \%$, $p = 0{,}0001$.

Максимальное влияние на урожай ржи в этих условиях оказывает высота местоположения – она определяет 49,0 % его пространственной вариабельности, суммарное влияние остальных предикторов составляет 5,3 %.

Прямая пропорциональная зависимость урожайности от высоты позволяет предположить, что при засухе наилучшие условия для культуры складываются на плоских вершинах холмов, характеризующихся наибольшей освещенностью и относительно высокими запасами продуктивной влаги, вследствие медленного (элювиального) оттока влаги из почвенного профиля. Следует также отметить и лучшие условия для перезимовки культуры. Влияние топографии местности на урожай ржи описано и другими учеными [17, 18].

В оптимальные по увлажнению годы максимальное влияние на урожайность ржи оказывает содержание фосфора в почве. Уравнение регрессии при этом принимает вид:

$$Урожай = \sqrt{(191{,}549 \ln_{фосфор} + 300{,}878)}. \quad (2)$$

$R^2 = 24{,}3\ \%$, $p = 0{,}0006$.

В условиях года уборки урожая с ГТК несколько выше 1 в значительной степени проявляется влияние агрофона на продуктивность ржи, в то время как рельефные факторы не оказывают на нее существенного воздействия. При усилении осадков влияние высоты местоположения вновь становится определяющим. Уравнение регрессии для этих условий выглядит следующим образом:

$$Урожай = \sqrt{(0{,}0959546_{Высота\ местоположения^2} - 1630{,}31)}. \quad (3)$$

$R^2 = 42{,}6\ \%$, $p = 0{,}002$.

Можно сказать, что в экстремальных климатических условиях характеристики рельефа оказывают определяющее влияние на урожайность культуры, потому что плоские вершины холмов в сухие годы сохраняют значительное количество влаги, так как в их пределах господствует ее медленный элювиальный отток, а во влажные не испытывают крайнего переувлажнения вследствие относительно низкого стояния грунтовых вод [19].

Среднее, минимальное и максимальное значения агрохимических показателей по точкам опробования за годы наблюдений в пределах трансекты составили: $pH_{сол}$ – 5,52 единиц (от 4,69 до 6,07); содержание гумуса 2,72 % (от 1,9 до 3,38); фосфора – 386 мг/кг (от 182 до 939); калия – 123 мг/кг (от 70,7 до 193). Почвы ОПХ на момент прекращения деятельности характеризовались следующими показателями: $pH_{сол}$ – 5,48 (от 4,3 до 6,8), гумус – 1,83 % (от 0,7 до 4,0), фосфор – 149 мг/кг (от 37 до 305), калий – 90 мг/кг (от 8 до 241). Только по кислотности почв отсутствуют достоверные различия между трансектой и хозяйством. В почвах трансекты достоверно больше гумуса ($НСР_{05}$ = 0,27 %), фосфора ($НСР_{05}$ = 60 мг/кг) и калия ($НСР_{05}$ = 18,4 мг/кг). За годы исследований произошла некоторая трансформация агрохимических свойств почв в пределах агрополигона. Нами установлено заметное подкисление почв с 5,73 до 5,39 ед. ($НСР_{05}$ = 0,22) и снижение содержания подвижного фосфора с 504 до 202 мг/кг ($НСР_{05}$ =128 мг/кг). Агрохимические свойства почв трансекты и хозяйства несколько сблизились – исчезли достоверные различия по фосфору. Агрофон почв хозяйства, вероятно, претерпевал подобные изменения, хотя и в меньшей степени, так как здесь не было отчуждения элементов питания с урожаем. Это позволило нам переносить закономерности, полученные на трансекте, в условия прогнозного хозяйства.

В среде EXCEL, на основе уравнений 1–3, был проведен расчёт прогнозной урожайности ржи для условий хозяйства, а с помощью геоинформационной системы проведена визуализация результатов прогноза. На рисунке 3 изображены прогнозные поверхности урожайности озимой ржи в пределах ОПХ при различных агроклиматических условиях начала XXI века. Следует отметить, что с этого времени, по-видимому, произошли определенные трансформации агрохимических свойств почв, однако, на основе литературных данных [20] можно утверждать, что общий характер их пространственной пестроты изменился несущественно и, поэтому информация, получаемая на основе рисунка 3, актуальна и сейчас.

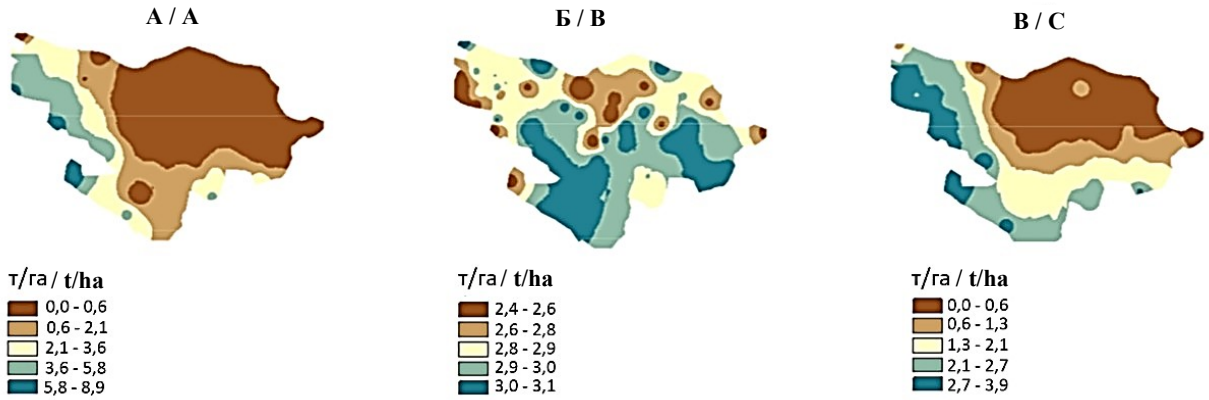


Рис. 3. **Карты-схемы прогнозной урожайности озимой ржи в пределах прогнозного хозяйства для различных агроклиматических условий: А – ГТК <1,0; Б – ГТК от 1 до 1,5; В – ГТК >1,5 /**
Fig. 3. **Maps-schemes of the predicted yield of winter rye within the forecast farm for various agroclimatic conditions: A – HTC <1.0; B – HTC from 1 to 1.5; C – HTC >1.5**

Экстремальные агроклиматические обстановки (3А – ГТК <1 и 3В – ГТК >1,5) обусловливают создание достаточно однотипных прогнозных поверхностей урожайности ржи – ареалы с максимальной урожайностью сосредоточены на западе и юге хозяйства – в местах, занятых моренно-ледниковой равниной, в то время как в пределах зандровой равнины и долин рек наблюдается значительное понижение урожайности. Это объясняется тем, что основным фактором, определяющим урожайность культуры в этих условиях, является высота местоположения, а гипсометрические отметки моренно-ледниковой равнины заметно выше, чем зандров и долин. Однако различия в уравнениях регрессии определяет и индивидуальные черты моделей – в экстремально сухие годы прогнозная урожайность ржи в пределах хозяйства может колебаться от 0 до 9 т/га (средневзвешенное значение – 1,5 т/га), а во влажных условиях – 0–4,0 т/га (1,4 т/га). При оптимальном увлажнении (3Б) поверхность отклика радикально изменяется, вследствие смены основного предиктора – максимальная урожайность будет наблюдаться в центре, на востоке и юге хозяйства – в местах, где почвы относительно обогащены фосфором, вследствие близости к поверхности карбонатной морены, характеризующейся повышенным содержанием этого элемента. Пространственное колебание урожайности будет незначительным – от 2,4 до 3,1 т/га, а средневзвешенное – весьма высоким – 2,9 т/га вследствие того, что ареалы с повышенной урожайностью ржи в этих условиях занимают больше половины площади хозяйства. Следует отметить, что в эти годы можно получать относительно высокие урожаи ржи, даже в пределах зандровой равнины и в долинах рек.

Карты-схемы, изображенные на рисунке 3, не могут дать надежной информации для землепользователя, так как долгосрочные метеопрогнозы в настоящее время недостаточно достоверны [21]. Вышеприведенные прогнозные данные могут принести ощутимую пользу только в случае создания синтетической карты, показывающей ареалы наиболее оптимальные для произрастания культуры – территории, где озимая рожь будет устойчиво продуктивной при различных метеоусловиях. Такая карта может быть создана при наложении карт-схем, изображенных на рисунке 3, в среде ARCGIS (рис. 4).

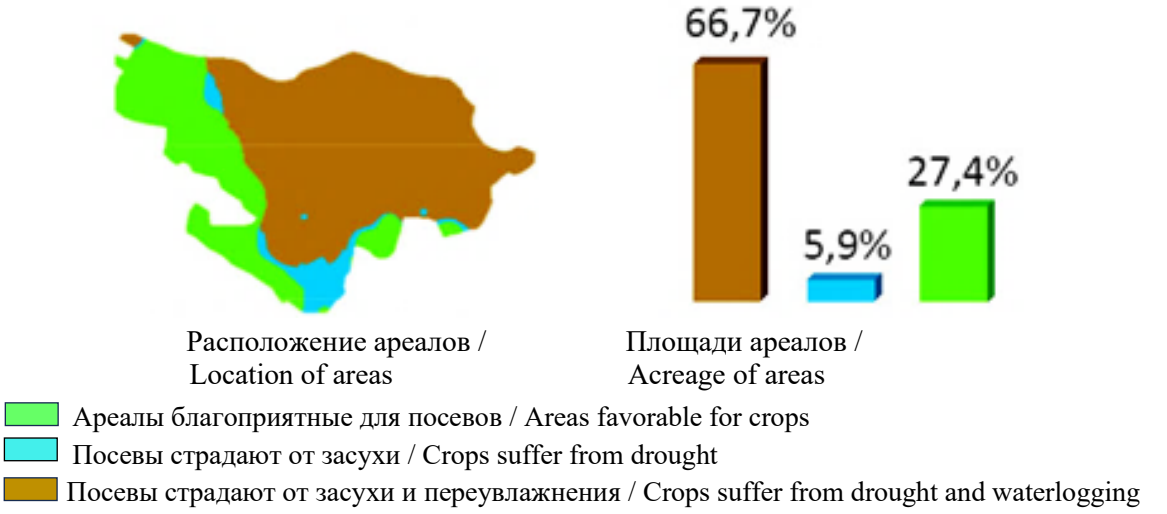


Рис. 4. **Зонирование земель прогнозного хозяйства по пригодности к выращиванию озимой ржи /**
Fig. 4. **Zoning of lands of the forecast farm by suitability for winter rye cultivation**

Анализ рисунка 4 показывает, что только на западе и частично юге хозяйства, на территории с номинальной (рассчитанной от всей площади хозяйства) площадью 1730 га (27,4 %), возможно получение урожайности озимой ржи более 2,0 т/га практически независимо от погодных условий года уборки. На большей части территории ОПХ (4215 га, 66,7 %) продуктивность ржи будет сильно колебаться по годам, что не позволяет рекомендовать использование этого ареала под посевы культуры. В ареалах на западе и юге хозяйства, с общей площадью 372 га (5,9 %), прогнозируется резкое снижение урожайности в засушливые годы, что следует учитывать при проектировании севооборотов.

Выводы. Мониторинговые исследования выявили значительное влияние агроклиматической обстановки года уборки урожая на продуктивность озимой ржи. Максимальная ее урожайность (3,4 т/га) зафиксирована при засухе в год уборки, при оптимальном увлажнении она снижается до 3,1 т/га, а при избыточном – до 2,5 т/га. Регрессионный анализ показал, что в экстремальных климатических условиях (в годы засух или избытка осадков) максимальное влияние на урожай ржи оказывает вариабельность высотных отметок в пределах поля, тогда как при оптимальном увлажнении ее продуктивность в основном зависит от агрохимических свойств почв.

Итоги прогноза урожайности культуры в условиях земель, рекомендованных к освоению, не обязательно совпадают с характером моделей, полученных на основе мониторинга, так как природные условия прогнозного хозяйства не идентичны трансектным – различия в соотношении площадей подурочищ на тестовом и прогнозном участках приводит к особенностям изменения средневзвешенных урожайностей ржи в пределах бывшего ОПХ в зависимости от агроклимата – в отличие от трансекты. В пределах прогнозного хозяйства максимальная урожайность может быть достигнута лишь в условиях оптимального увлажнения (2,9 т/га), в сухие и влажные годы средневзвешенная урожайность ржи, по прогнозу, не должна превышать 1,5 т/га.

Результаты прогнозирования урожайности в пределах заброшенных земель нельзя использовать буквально – как любой прогноз они носят вероятностный характер вследствие, во-первых, стохастической природы моделей, полученных на основе мониторинговых данных (вероятности наступления различных агроклиматических обстановок не равны), во-вторых, отсутствия современных данных агрохимического состояния почв прогнозного хозяйства. Наибольшую ценность представляют собой синтетические карты, на которых отражены ареалы различного влияния агроклиматических обстановок на урожайность культуры (установлено, что в условиях прогнозного хозяйства на территории 1730 га, возможно получение урожаев озимой ржи более 2,0 т/га независимо от погодных условий, а на площади 4215 га продуктивность ржи будет сильно колебаться по годам) – на их основе землепользователь может сделать достаточно полезные выводы о потенциальной (без внесения удобрений) пригодности той или иной территории к выращиванию конкретной культуры на землях, рекомендованных к освоению.

Список литературы

1. Jonsson K., Andersson R., Bach Knudsen K., Hallmans G., Hanhineva K., Katina K. et al. Rye and health - Where do we stand and where do we go? Trends in Food Science and Technology. 2018;79:78–87. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.018

2. Шалаева Л. В. Оценка тенденций производства и потребления ржи в Российской Федерации в разрезе основных факторов и категорий хозяйств. Продовольственная политика и безопасность. 2023;10(3):453–470. DOI: https://doi.org/10.18334/ppib.10.3.117097 EDN: HSWPXF

3. Исмагилов Р. Р., Абдуллоев В. Х. Кормовые качества зерна озимых зерновых культур в южной лесостепи республики Башкортостан. Пермский аграрный вестник. 2021;(1):35–43. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_33_35 EDN: BMNNGM

4. Мелешкина Е. П., Бундина О. И. Производство, переработка и потребление зерна ржи в России: направления развития. Пищевая промышленность. 2020;(12):55–59. DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10144 EDN: XEYKSE

5. Шамин А. Е., Заикин В. П., Лисина А. Ю. Производство зерна в России: достижения, существующие и возможные проблемы. Вестник НГИЭИ. 2022;(3):110–121. DOI: https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-3-110-121 EDN: ZXTJAV

6. Шилов П. М., Козлов Д. Н. Почвенно-агроэкологическая оценка пахотно-пригодности земель Валдайской возвышенности по материалам генерального межевания. Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019;(98):5–36. DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-5-36 EDN: OORMRZ

7. Андрющенко С. А. Тенденции и условия повышения экологической устойчивости АПК Российской Федерации. Международный сельскохозяйственный журнал. 2023;(2(392)):143–146. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_2_14 EDN: FGIDIZ

8. Шалов Т. Б., Азубеков Л. Х. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия в схеме землеустройства территории сельского поселения. Земледелие. 2013;(6):28–29. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=20446181 EDN: RFLAHT

9. Alaoui A., Barão L., Carla S., Ferreira S., Hessel R. An Overview of Sustainability Assessment Frameworks in Agriculture Land. 2022;11(4):537. DOI: https://doi.org/10.3390/land11040537

10. Иванов Д. А. Влияние почв и рельефа на продуктивность разновозрастных травостоев. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021;(4(382)):73–76. DOI: https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-73-76 EDN: WQYYGX

11. Садовая И. И., Захарова О. А., Черкасов О. В., Мусаев Ф. А., Фатьянов С. О. Долгосрочное прогнозирование урожайности овса и озимой ржи в севообороте на основе расчетов имитационной модели агроэкосистемы. Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2022;14(2):80–87. DOI: https://doi.org/10.36508/RSATU.2022.54.2.010 EDN: HFWTOQ

12. Иванов Д. А., Рублюк М. В., Анциферова О. Н. Прогнозирование размещения посевов льна на основе данных мониторинга и гис-технологий. Земледелие. 2023;(7):3–6. DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-7-3-6 EDN: NFSNSJ

13. Иванов Д. А., Рублюк М. В., Хархардинов Н. А. К вопросу об адаптивно-ландшафтном обустройстве заброшенных земель на основе результатов прогнозирования урожайности ячменя. Российская сельскохозяйственная наука. 2023;(5):27–33. DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262723050058 EDN: PKYHZO

14. Иванов Д. А., Соловьев Д. А., Рублюк М. В., Карасева О. В., Хархардинов Н. А. Оценка пригодности заброшенных земель к возделыванию овса на основе прогнозирования его урожайности по данным долговременного мониторинга (на примере конкретного хозяйства). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):623–635. DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.623-635 EDN: LCDXOJ

15. Пономарев С. Н. Обоснование потенциальной урожайности озимой ржи по обеспеченности республики Татарстан климатическими ресурсами. Современные проблемы науки и образования. 2013;(6):970. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=21163406 EDN: RVDCDN

16. Chmielewski F. M., Köhn W. Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. Agricultural and Forest Meteorology. 2000;102(4):253–261.

17. Leuthold S. J., Salmerón M., Wendroth O., Poffenbarger H. Cover crops decrease maize yield variability in sloping landscapes through increased water during reproductive stages. Field Crops Research. 2021;265:108111. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108111

18. Singh G., Dhakal M., Kaur G., E. J. Schoonover, Williard K. W. J. Cover crops and landscape positions mediate corn–soybean production. Agrosystems, Geosciences & Environment. 2022;5(2):e20249. DOI: https://doi.org/10.1002/agg2.20249

19. Иванов Д. А., Абрамов В. А. Динамика уровня почвенно-грунтовых вод в пределах агроландшафта. Мелиорация и водное хозяйство. 2014;(4):7–9. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=21994913 EDN: SNIENX

20. Сидорова В. А. Динамика пространственного варьирования почвенных свойств луговых агроценозов Карелии при постантропогенном развитии. Российский журнал прикладной экологии. 2016;(3):23–27. Режим доступа: https://elibrary.ru/item.asp?id=27345326 EDN: XAKIRB

21. Frank P. Propagation of Error and the Reliability of Global Air Temperature Projections. Frontiers in Earth Science. 2019;7:223. DOI: https://doi.org/10.3389/feart.2019.00223

References

1. Jonsson K., Andersson R., Bach Knudsen K., Hallmans G., Hanhineva K., Katina K. et al. Rye and health - Where do we stand and where do we go? Trends in Food Science and Technology. 2018;79:78–87. DOI: http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2018.06.018

2. Shalaeva L. V. Trends in rye production and consumption in russia in the context of the main factors and farm categories. *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'* = Food Policy and Security. 2023;10(3):453–470. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.18334/ppib.10.3.117097

3. Ismagilov R. R., Abdulloev V. Kh. Feed quality of winter cereal crops in the southern forest-steppe of the republic of Bashkortostan. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2021;(1):35–43. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_33_35

4. Meleshkina E. P., Bundina O. I. Production, processing and consumption of rye grain in Russia: directions of development. *Pishchevaya promyshlennost'* = Food Industry. 2020;(12):55–59. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24411/0235-2486-2020-10144

5. Shamin A. E., Zaikin V. P., Lisina A. Yu. Grain production in Russia: achievements, existing and possible problems. *Vestnik NGIEI* = Bulletin NGII. 2022;(3):110–121. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2227-9407-2022-3-110-121

6. Shilov P.M., Kozlov D.N. Soil-agro-ecological assessment of the arable land of the Valdai upland based on the general survey. *Byulleten' Pochvennogo instituta imeni V.V. Dokuchaeva* = Dokuchaev Soil Bulletin. 2019;(98):5-36. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-5-36

7. Andryushchenko S. A. Trends and conditions for improving the environmental sustainability of the agro-food complex of the Russian Federation. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2023;(2(392)):143–146. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2023_66_2_14

8. Shalov T. B., Azubekov L. Kh. Adaptive-landscape systems of farming in the scheme of land management territory of rural settlements. *Zemledelie*. 2013;(6):28–29. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=20446181

9. Alaoui A., Barão L., Carla S., Ferreira S., Hessel R. An Overview of Sustainability Assessment Frameworks in Agriculture Land. 2022;11(4):537. DOI: https://doi.org/10.3390/land11040537

10. Ivanov D. A. Influence of soils and relief on productivity of various herbs. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2021;(4(382)):73–76. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-73-76

11. Sadovaya I. I., Zakharova O. A., Cherkasov O. V., Musaev F. A., Fat'yanov S. O. Statistical studies of barley production in Ryazan region and the forecast of crop productivity. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva* = Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P. A. Kostychev. 2022;14(2):80–87. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.36508/RSATU.2022.54.2.010

12. Ivanov D. A., Rublyuk M. V., Antsiferova O. N. Forecasting the placement of flax crops based on monitoring data and gis technologies. *Zemledelie*. 2023;(7):3–6. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-7-3-6

13. Ivanov D. A., Rublyuk M. V., Kharkhardinov N. A. On the issue of adaptive landscape development of useless lands based on the results of barley yield forecasting. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2023;(5):27–33. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31857/S2500262723050058

14. Ivanov D. A., Solovyov D. A., Rublyuk M. V., Karaseva O. V., Kharhardinov N. A. Assessment of suitability of abandoned lands for oats cultivation based on the forecast of the yield according to long-term monitoring data (the case of a specific farm). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):623-635. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.623-635

15. Ponomarev S. N. Rationale for potential yield of winter rye on provision of cli-mate resources Tatarstan republic. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2013;(6):970. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21163406

16. Chmielewski F. M., Köhn W. Impact of weather on yield components of winter rye over 30 years. Agricultural and Forest Meteorology. 2000;102(4):253–261.

17. Leuthold S. J., Salmerón M., Wendroth O., Poffenbarger H. Cover crops decrease maize yield variability in sloping landscapes through increased water during reproductive stages. Field Crops Research. 2021;265:108111. DOI: https://doi.org/10.1016/j.fcr.2021.108111

18. Singh G., Dhakal M., Kaur G., E. J. Schoonover, Williard K. W. J. Cover crops and landscape positions mediate corn–soybean production. Agrosystems, Geosciences & Environment. 2022;5(2):e20249. DOI: https://doi.org/10.1002/agg2.20249

19. Ivanov D. A., Abramov V. A. Dynamics of groundwater within agrolandscape. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2014;(4):7–9. (In Russ.).
URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=21994913

20. Sidorova V. A. Dynamics of the spatial variability of soil properties of grassland agrocoenosis of Karelia during post-anthropogenic development. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii* = Russian Journal of Applied Ecology. 2016;(3):23–27. (In Russ.). URL: https://elibrary.ru/item.asp?id=27345326

21. Frank P. Propagation of Error and the Reliability of Global Air Temperature Projections. Frontiers in Earth Science. 2019;7:223. DOI: https://doi.org/10.3389/feart.2019.00223

Сведения об авторах

✉ **Иванов Дмитрий Анатольевич,** доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2588-272X**

Рублюк Мария Владимировна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5319-2614

Хархардинов Никита Александрович, младший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д.27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Information about the authors

✉ **Dmitriy A. Ivanov,** DSc in Agricultural Science, professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, **ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2588-272X**

Maria V. Rublyuk, PhD in Agricultural Science, senior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5319-2614

Nikita A. Kharkhardinov, junior researcher, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author