

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.623-635>

УДК 631.5:631.6:911.2

**Оценка пригодности заброшенных земель к возделыванию овса на основе прогнозирования его урожайности по данным долговременного мониторинга (на примере конкретного хозяйства)**© 2023. Д. А. Иванов[✉], Д. А. Соловьев, М. В. Рублюк, О. В. Карасева, Н. А. Хархардинов

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

В работе приведены результаты прогнозирования урожайности овса для условий заброшенных земель бывшего опытно-производственного хозяйства (ОПХ) Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель, находящегося в центре Тверской области. Для этого использовали данные долговременного (1997-2020 гг.) мониторинга урожайности этой культуры в чистых и покровных (с подсевом трав) посевах на агроэкологической трансекте агроэкополигона «Губино», расположенного в пределах ОПХ. С помощью статистико-математического моделирования выявлены закономерности формирования урожайности овса в пределах трансекты. На основе этих формул рассчитывали прогнозные урожайности овса для всей территории заброшенных земель, а также создавали карты ее изменчивости в условиях ОПХ и мероприятий по интенсификации производства зерна. Установлено, что овес в чистых посевах сильнее всего реагирует на содержание в почвах обменного калия, их водообеспеченность и гумусированность, тогда как в покровных посевах его урожай во многом зависит от содержания подвижного фосфора в почве, степени освещенности и заболоченности территории. Более 92 % площади ОПХ потенциально способны обеспечить урожайность овса в чистых посевах от 2,7 до 3,1 т/га, а повышенная (3,0-3,3 т/га) урожайность овса в покровных посевах может быть получена только на ≈ 44 % площади хозяйства. Основными приемами повышения урожайности овса в чистых посевах являются внесение калийных и органических удобрений, а также сохранение влаги в почвах, тогда как расширение площади покровных посевов предполагает использование сортов овса, слабо реагирующих на избыток фосфора в почве. Интенсификация производства овса в чистых посевах возможна на площади 6026 га, а в покровных – только на 790 га, так как на остальной территории хозяйства его продуктивность ограничивается недостаточной освещенностью и заболоченностью почв.

Ключевые слова: чистые посева, покровные посева, математико-статистическое моделирование, заброшенные земли

Благодарности: Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (тема №0439-2022-0017).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванов Д. А., 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>

Поступила: 03.02.2023

Принята к публикации: 28.07.2023

Опубликована онлайн: 30.08.2023

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)© 2023. Dmitry A. Ivanov[✉], Dmitry A. Solovyov, Maria V. Rublyuk, Olga V. Karaseva, Nikita A. Kharhardinov

Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

The paper presents the results of predicting the yield of oats in the conditions of abandoned lands of the former pilot production farm (PPF) of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands, located in the center of the Tver region. There were used the data of long-term monitoring (1997-2020) of the yield of this crop in clean and cover crops (with undersowing of grasses) on the agroecological transect of the Gubino agroecopolygon located within the PPF. With the help of statistical and mathematical modeling, regularities in the formation of oat yields within the transect were revealed. On the basis

of these formulas, predicted oat yields were calculated for the entire territory of abandoned lands, and maps of its variability under the conditions of the protected area and measures for intensifying grain production were also created. It has been established that oats in pure crops react most strongly to the content of exchangeable potassium in soils, to water supply and humus content, while in cover crops the yield largely depends on mobile phosphorus in the soil and the degree of illumination and swampiness of the territory. More than 92 % of the PPF area is potentially capable of providing oat yield in clean crops from 2.7 to 3.1 centners/ha, and an increased oat yield (3.0-3.3 centners/ha) in cover crops can be obtained only on ≈ 44 % of the farm area. The main methods for increasing the yield of oats in pure crops are the application of potash and organic fertilizers, as well as the preservation of moisture in the soil, while expanding the area of cover crops involves the use of oat varieties that react poorly to excess phosphorus in the soil. Intensification of oat production in clean crops is possible on the area of 6026 ha, and in cover crops only 790 ha, since in the rest of the territory its productivity is limited by insufficient illumination and waterlogged soils.

Keywords: clean crops, cover crops, mathematical and statistical modeling, abandoned lands

Acknowledgments: the work was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Centre V.V. Dokuchaev Soil Science Institute (theme No. 0439-2022-0017).

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

Conflict of interest: the authors declared no conflict of interest.

For citation: 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>

Received: 03.02.2023

Accepted for publication: 28.07.2023

Published online: 30.08.2023

В России насчитывается около 15-17 млн га заброшенных сельскохозяйственных угодий, которые являются значительным резервом повышения продуктивности земледелия. Земли, в настоящее время не используемые в сельском хозяйстве, имеют различный производственный потенциал как в технологическом и конъюнктурном, так и агроэкологическом отношениях. На основе оценки этого потенциала возможно выделение категорий заброшенных земель по перспективности и очередности введения их в сельскохозяйственный оборот – можно сформировать фонды земель по группам: устойчиво эффективных, неустойчиво эффективных и неэффективных и разработать для них рекомендации по дальнейшему использованию [1].

Оценка агроэкологического потенциала земель основана на определении пригодности их к выращиванию конкретных культур, агро-технологического потенциала – по интенсивности и затратности технологий по оптимизации производственного процесса, конъюнктурного – по степени востребованности данной продукции на рынке. Одной из причин, затрудняющих оценку состояния заброшенных земель, является высокая стоимость экспедиционных работ, состоящих не только из анализа данных дистанционного зондирования Земли, но и полевых исследований.

Оценки агроэкологического и технологического потенциалов земель могут быть осуществлены на основе анализа мониторинговой информации, полученной на агроэкологических полигонах. В ходе статистической обработки

данных многолетнего мониторинга урожайности культуры можно выявить основные факторы, влияющие на ее производственный процесс в различных ландшафтных условиях, и создать математические модели, описывающие ее адаптивные реакции на изменчивость природной среды. На основе этих моделей и ГИС-технологий можно попытаться спрогнозировать «поведение» культуры (ее урожайность) в пределах заброшенного участка, расположенного в аналогичных с агроэкологическим полигоном ландшафтных условиях на базе имеющихся на него архивных данных. Анализ карт прогнозной урожайности выявит места с различными агроэкологическими и технологическими потенциалами, что позволит решить вопрос о перспективах их освоения. При адресном размещении угодий и севооборотов в режиме адаптивно-ландшафтного земледелия можно добиться одновременного снижения себестоимости единицы продукции, а также уменьшения затрат на последующую рекультивацию ландшафта [2].

Данная работа авторов направлена на прогнозирование урожайности овса и выявление основных факторов, влияющих на производственный процесс культуры в условиях заброшенных земель конкретного хозяйства.

Овес – культура, занимающая пятое место в производстве зерна. Культура уникальна тем, что может произрастать практически в любых почвенно-климатических условиях РФ. Овес светолюбивое растение – условия короткого дня способствуют удлинению стебля и метелки,

увеличению числа зерен и общей массы растений, однако зерно не успевает вызреть и формируется щуплым (снижается зерновая активность). По данным З. И. Усановой, в условиях Верхневолжья урожай зерна овса наиболее сильно коррелирует с показателем фотосинтетической продуктивности посева ($r = 0,931$) [3].

Во все периоды роста и развития овес нуждается в оптимальной влагообеспеченности. Исследования Т. В. Долговой с соавт. показали, что продуктивность овса как в одно-видовых, так и совместных посевах в значительной степени зависела от влагообеспеченности почв [4]. Овес относительно устойчив к низким температурам, способен переносить кратковременные заморозки, особенно в начале вегетации. Условия года существенно влияют на характеристики содержания белка в зерне и другие его свойства, что определяется степенью экологической пластичности сортов овса [5, 6].

Однако, по данным Ю. М. Анкудовича, урожайность овса лишь на 38 % определяется тепло- и влагообеспеченностью периода вегетации и в значительной степени зависит от минерального питания [7]. Овес менее требователен, в отличие от пшеницы и ячменя, к почвенным условиям. Культура может произрастать на супесчаных, суглинистых, глинистых и торфяных почвах. Так, Ф. Цаналес с соавт. (F. Canales et al.) отмечает, что посевная площадь овса в Средиземноморье неуклонно увеличивается в течение последних 20 лет из-за его хорошей адаптации к широкому спектру почв [8, 9]. Широкий спектр ландшафтных условий, благоприятных для выращивания овса, позволяет культивировать его на огромных площадях Центра и Евро-Северо-Востока Нечерноземья [10].

Качество зерна и урожайность овса напрямую зависят от своевременного внесения органических удобрений под предшественник. Исследованиями А. И. Иванова с соавт. установлено, что почвенно-агрохимическая обстановка и стабильный почвенный водный режим имеют решающее значение в эффективности удобрений в агроландшафте. Уровень прироста урожайности от дифференцированного применения торфяно-навозного компоста (однократно в чистый пар) и минеральных удобрений, по отношению к равномерному внесению, для овса составил 3-8 %. Урожайность культуры снижалась по мере минерализации вносимых органических удобрений [11]. При выращивании на семена овес лучше располагать

по хорошим предшественникам и в начале севооборота [12, 13].

Овес широко используется в севооборотах в виде сложных посевов – под его покровом могут успешно развиваться различные кормовые культуры. В работе М. В. Рачкова с соавт. показано, что высокую и устойчивую продуктивность обеспечивает размещение покровных посевов овса на легкосуглинистых почвах зандрового ландшафта, где максимальный эффект имеет возделывание смесей с высокой долей вики. На связных почвах моренного ландшафта преимущественно обладают посевами с высокой долей злакового компонента [14]. В ходе наших исследований также выявлено, что на урожайность овса наибольшее влияние оказывает фактор подсева многолетних трав. Сила влияния особенностей ландшафтной обстановки на урожайность агроценозов овса значительно ниже, однако их также необходимо учитывать при адаптивном размещении посевов в пределах хозяйства [15]. Покровные посевы овса более устойчивы к действию вредной энтомофауны. По данным Хуан Жао с соавт. (Huan Zhao et al.), в сложных посевах наблюдается значительно более высокое отношение хищных насекомых к вредителям [16].

Прогнозирование урожайности посевов является важной задачей при освоении целинных и залежных земель. В нашей стране этому вопросу уделялось большое внимание в работах И. И. Карманова [17], Д. И. Шашко [18], М. К. Каюмова [19]. Они, как правило, опирались на экспериментальные данные, описывающие влияние отдельных факторов на продуктивность растений. Попытки моделирования продукционного процесса культур на основе комплексной экспериментальной и мониторинговой информации в настоящее время предпринимаются как за рубежом [20], так и в России [21, 22, 23].

Цель исследований – оценка пригодности заброшенных земель конкретного хозяйства для выращивания овса посевного в чистых и покровных посевах на основе анализа данных многолетнего мониторинга его урожайности на агроэкологическом полигоне.

Научная новизна – попытка обосновать возможности прогнозирования урожайности культур в пределах давно заброшенного хозяйства на основе только сохранившихся архивных данных (агрохимических картограмм, карты почв и рельефа) без привлечения средств на дополнительное обследование его территории.

В работе проведено выявление с помощью математического моделирования основных факторов, влияющих на продуктивность овса, выращиваемого в чистых и покровных посевах, в пределах агроландшафта конечно-моренной гряды; созданы с использованием ГИС-технологий и результатов математического моделирования прогнозные карты урожайности чистых и покровных посевов овса в пределах заброшенных земель бывшего опытно-производственного хозяйства (ОПХ) ВНИИМЗ; выполнена на основе ГИС-технологий разработка карт мероприятий по оптимизации продукционного процесса овса в чистых и покровных посевах на территории ОПХ.

Материал и методы. Для достижения поставленной цели использовались данные многолетнего (1997-2020 гг.) мониторинга урожайности овса сорта Аргмак в чистых и покровных посевах на агрополигоне «Губино». Агрополигон расположен в 4 км к востоку от г. Тверь, на конечно-моренном холме с относительной высотой 15 м, состоящем из плоской слабодренлируемой вершины, северного пологого склона (крутизной 2-3°), южного склона (3-5°) и межхолмных депрессий (северной и южной). Различия в экспозиции склонов определяют не только разницу в прогреве территории, но и неоднородность гранулометрического состава почв, что во многом обусловлено генезисом конечно-моренных образований. Почвенный покров агрополигона представлен вариацией-мозаикой дерново-подзолистых глееватых и глеевых почв, образованных на двучленных отложениях – песчано-супесчаная толща в пределах почвенного профиля на разной глубине подстилается легко- и среднесуглинистой закамененной мореной. В южной части полигона мощность кроющего наноса местами превышает 1,5 м – почвы здесь преимущественно песчаные. На вершине и северном склоне холма пахотные горизонты сложены супесью и иногда легким суглинком, мощность кроющего наноса здесь колеблется около 1 м, а в межхолмной депрессии морена местами выходит на поверхность [24].

Исследования проводили на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – узком массиве, пересекающем все микроландшафтные позиции (подурочища) конечно-моренного холма: транзитно-аккумулятивные межхолмных депрессий, в почвах которых происходит аккумуляция элементов питания растений из намывных и грунтовых вод; транзитные центральных частей склонов,

в которых господствует латеральный ток влаги; элювиально-транзитные верхних частей склонов, где совместно с латеральным током влаги интенсивно протекает и вертикальное промывание почв; элювиально-аккумулятивное плоской вершины, в пределах которого на фоне вертикального промывания почвенного профиля спорадически в микропонижениях расположены места с аккумуляцией элементов питания растений.

Трансекта, в пределах которой развернута два пятипольных зернотравяных севооборота, состоит из десяти параллельных полос-полей, каждая из которых занята определенной культурой. По всей полосе антропогенное воздействие однотипно – проводится одновременная и одинаковая обработка почвы, соблюдаются единые нормы высева, даты и способы посева и проведения прочих мероприятий. Это позволяет изучать влияние ландшафтных условий на посевы культур в наименее искаженном виде.

Поля, на которых проводились наблюдения, имеют ширину 7,2 м, длину – 1300 м. Урожайность овса учитывали в 30 точках опробования, регулярно расположенных вдоль трансекты на расстоянии 40 м друг от друга в 4-кратной повторности методом прямого комбайнирования. Площадь учетной площадки – 20 м².

Чистые посевы овса выращивали на трансекте с 1997 по 2006 год в рамках следующего чередования культур: 1. Ячмень с подсевом трав. 2. Клеверотимофеечная травосмесь 1 г. п. 3. Клеверотимофеечная травосмесь 2 г. п. 4. Яровая пшеница. 5. Овес.

С 2007 по 2020 год на агрополигоне культивировались покровные посевы овса с многолетними травами (клевер красный ВИК 7, тимopheевка полевая ВИК 9), которые являлись начальной культурой зернотравяного севооборота: 1. Овес с подсевом трав. 2. Клеверотимофеечная травосмесь 1 г. п. 3. Клеверотимофеечная травосмесь 2 г. п. 4. Озимая рожь. 5. Яровая пшеница.

Под овес, при любом способе его выращивания, удобрения не вносили (экстенсивная технология), кроме подкормки в фазу «кущение» аммиачной селитрой в дозе 1 ц/га (N₃₀ д. в./га).

Для исключения влияния агроклиматического фактора на результаты исследований, из временного ряда наблюдений были выбраны года с активной температурой (выше 10°) ≈ 1900°, суммой осадков за вегетационный период ≈ 300 мм, гидротермическим коэффициентом по Селянинову ≈ 1,3-1,5. Для чистых посевов овса этими условиями характеризовались

годы – 1998, 2000, 2001, 2005 и 2006, для покровных посевов – 2012, 2015, 2016, 2017 и 2019.

Для построения математических моделей продуктивности овса использовали усредненные по годам и переведенные в балльную форму (1 балл – минимум, 30 баллов – максимум) данные по урожайности овса и другим параметрам почв и рельефа по каждому способу посева. Процедура перевода значений показателей в баллы обеспечивала более корректное сравнение урожайных данных по разным способам посева, а также стандартизацию переменных (выравнивание дисперсий), что увеличивало чувствительность метода. Однако в работе использовали и реальные значения параметров.

В работе исследовали влияние факторов рельефа (абсолютной высоты, крутизны и кривизны поверхности, интенсивности солнечной радиации), а также агрохимических свойств почв (гумус по Тюрину, $pH_{\text{сол}}$, подвижный фосфор по Кирсанову, обменный калий по Пейве) на продуктивность овса, т. к. только эти параметры известны для территории прогнозного хозяйства (ОПХ «Заветы Ленина» Калининского района Тверской области).

Прогнозное хозяйство, в пределах которого размещен агрополигон «Губино», в основном прекратило хозяйственную деятельность в конце 90-х годов и было юридически ликвидировано в 2006 году. Общая площадь хозяйства составляла 6312 га, сельхозугодий – 4923 га, из них пашни – 3394 га. На территории ОПХ расположены два генетически различных ландшафта:

1. Долинный, расположенный в северной части хозяйства, образованный древними и современными русловыми процессами, занимающий 29,2 % площади хозяйства. Рельеф его плоский, осложненный внутрипойменными останцами гравистых зандров, занятых сосновым бором. Почвообразующие породы – аллювиальные отложения различного возраста и гранулометрического состава. Доминантной местностью в нем является современная долина р. Волги, состоящая из сложного урочища первой надпойменной террасы и простых урочищ долин впадающих в нее мелких водотоков. Сложное урочище надпойменной террасы состоит в основном из элювиально-аккумулятивных и аккумулятивных геосистем. Элювиально-аккумулятивные ландшафты занимают прирусловую возвышенную часть террасы. В её пределах доминируют песчаные дерново-глееватые почвы. Она частично занята разнотравной растительностью, частично была

распахана. Аккумулятивные геоконплексы расположены у тылового шва террасы в местах выклинивания грунтовых вод. Они характеризуются широким распространением дерново-глеевых и торфянисто-глеевых легко- и средне-суглинистых почв, развивающихся на старичном аллювии. Субдоминантной местностью долинного ландшафта является древнеаллювиальная (зандровая) плоская равнина, сложенная слоистыми песками различной крупности, на разной глубине подстилаемыми карбонатной мореной. Она целиком образована одним сложным урочищем плоской равнины, доминантными подурочищами которой являются транзитно-аккумулятивные ландшафты, занимающие слабонаклонные поверхности. Для них характерны почвенные пятнистости, состоящие из дерново-подзолистых глеевых и глееватых песчаных и супесчаных почв. Аккумулятивные геоконплексы, располагающиеся в микропонижениях с дерново-глеевыми и торфянисто-глеевыми почвами, заняты заболоченными лугами.

2. Ландшафт моренно-ледниковой равнины, занимающий центральные и южные части хозяйства, образован флювиогляциальными процессами, происходившими при отступании Московского ледника. Он занимает 70,8 % площади ОПХ. Рельеф его волнисто-увалистый, с перепадами высот, достигающими 30 м. Почвообразующие породы – двучленные отложения различной мощности, образованные флювиогляциальными песками и супесями, подстилаемыми карбонатной мореной. Ландшафт образован одной местностью волнисто-увалистой равнины, которая, в свою очередь, состоит из сложных урочищ отдельных моренных холмов. Доминантными подурочищами данного ландшафта являются транзитные геоконплексы, занимающие около половины территории хозяйства, субдоминантными – транзитно-аккумулятивные микроконплексы, занимающие значительно меньшие площади. Элювиальные и элювиально-аккумулятивные подурочища в сумме занимают менее 8 % территории ОПХ.

На основании архивных материалов ОПХ и института (материалы обследования Гипрозема и Гипроводхоза, агрохимической службы Тверской области, данных по опытным участкам ВНИИМЗ) 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, переведенные в баллы (1...60).

Статистическая и графическая обработка данных мониторинга и прогноза проведена с помощью пакетов программ Stratigraphic+, Excel и геоинформационной системы ArcGIS 10. Степень влияния ландшафтных факторов на урожайность овса вычисляли на основе метода Н. А. Плохинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую¹.

Результаты и их обсуждения. Исследования реальных значений урожайности показало, что в условиях одной агроклиматической обстановки овес с подсевом трав достоверно продуктивнее чистых посевов овса. Так, усредненная по годам и точкам опробования урожайность чистого овса составила 26,2 ц/га, в покровных посевах нами получено 30,7 ц/га ($НСР_{0,05} = 1,15$ ц/га). Это можно объяснить оптимизацией водно-воздушного режима почв под овсом с подсевом трав. Пространственная вариабельность урожайности в покровных посевах несколько меньше ($V = 6,9\%$), чем в чистых ($V = 9,0\%$), что можно объяснить меньшими градиентами увлажнения почвы под покровной культурой.

Среднее, минимальное и максимальное значения агрохимических показателей по точкам опробования за годы наблюдений в пределах трансекты составило: $pH_{\text{сол}} - 5,52$ 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: $pH_{\text{сол}} - 5,48$ (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.

Несмотря на различие технологических схем и трансформацию агрохимических свойств почв, характер пространственной вариабельности урожаев имеет общие черты – коэффициент корреляции как между их реальными, так и балльными (в скобках) значениями достоверен и равен 0,51 (0,51) (при степени свободы 28 достоверны коэффициенты корреляции $\geq 0,32$). Это объясняется тем, что пространственная вариабельность агрохимических параметров за годы исследований изменилась незначительно. Так, коэффициенты корреляции между агрохимическими показателями почв, занятых чистыми и покровными посевами, составили: по pH 0,91 (0,92), фосфору 0,97 (0,90), калию 0,79 (0,75), гумусу 0,86 (0,89). Можно предположить, что трансформация агрофона ликвидированного хозяйства также не привела к существенным изменениям его пространственных характеристик. Это обстоятельство позволяет нам достаточно уверенно сравнивать регрессионные уравнения, описывающие характер продукционного процесса овса при разных способах посева.

Уравнения регрессии, описывающие влияние факторов природной среды на урожайность овса (Y) в различных посевах, выглядят следующим образом:

В чистых посевах –

$$Y = 8,52353 - 0,363735 * \text{Фосфор} + 0,853115 * \\ * \text{Калий} + 0,269358 * \text{Гумус} - 0,308643 * \\ * \text{Крутизна склона} \\ (R^2 = 67,7\%, p = 0,001). \quad (1)$$

В покровных посевах –

$$Y = 10,146 - 0,648522 * \text{Фосфор} + 0,576195 * \\ * \text{Высота местоположения} \\ (R^2 = 73,7\%, p = 0,001). \quad (2)$$

Анализ уравнений (1 и 2) показывает, что в зависимости от способа посева адаптивные реакции растений на природные условия существенно различаются. Овес в чистых посевах активно откликается на гумусированность почв и внесение калийных удобрений, а также наиболее продуктивен на плоских переувлажненных поверхностях. В покровных посевах овес лучше развивается на верхних хорошо освещённых гипсометрических отметках поверхности геокмплекса, где господствуют элювиальные процессы (удовлетворительная аэрация почв), однако, может быть угнетен на зафосфаченных почвах, что подтверждается и другими исследователями [25].

¹Плохинский Н. А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с. URL: <https://bookree.org/reader?file=580114&pg=3>

На основе уравнений (1 и 2) в среде Excel были составлены формулы, по которым рассчитывали прогнозную урожайность овса в баллах для условий каждой опорной точки на территории ОПХ (рис. 1). Для интерпретации данных моделирования применялся метод интерполяции – сделано допущение, что амплитуда урожайности в пределах ОПХ не превышает таковую на трансекте, то есть цена балла на трансекте в два раза больше, чем на территории ОПХ.

На картах, созданных с помощью ArcGIS 10, видно, что большая часть площади ОПХ (79,3 %, 5005 га) пригодна для выращивания овса в чистых посевах с урожайностью от 20 до 40 бал-

лов (25-27 ц/га), на 13 % площади хозяйства (821 га) можно получать урожаи от 27 до 31 ц/га. Ареал со средней урожайностью составляет фон карты, по которому достаточно равномерно рассыпаны пятна с потенциально высокой продуктивностью овса (рис. 1А). В случае возделывания овса в покровных посевах достаточно благоприятный прогноз (20-40 баллов, или 30-32 ц/га) по его урожайности был получен для 42,4 % (2676 га) площади хозяйства. На небольших участках (1,3 %, 82 га) можно получать урожаи до 33,6 ц/га. Более половины площади хозяйства не годятся для получения высоких урожаев этой культуры.

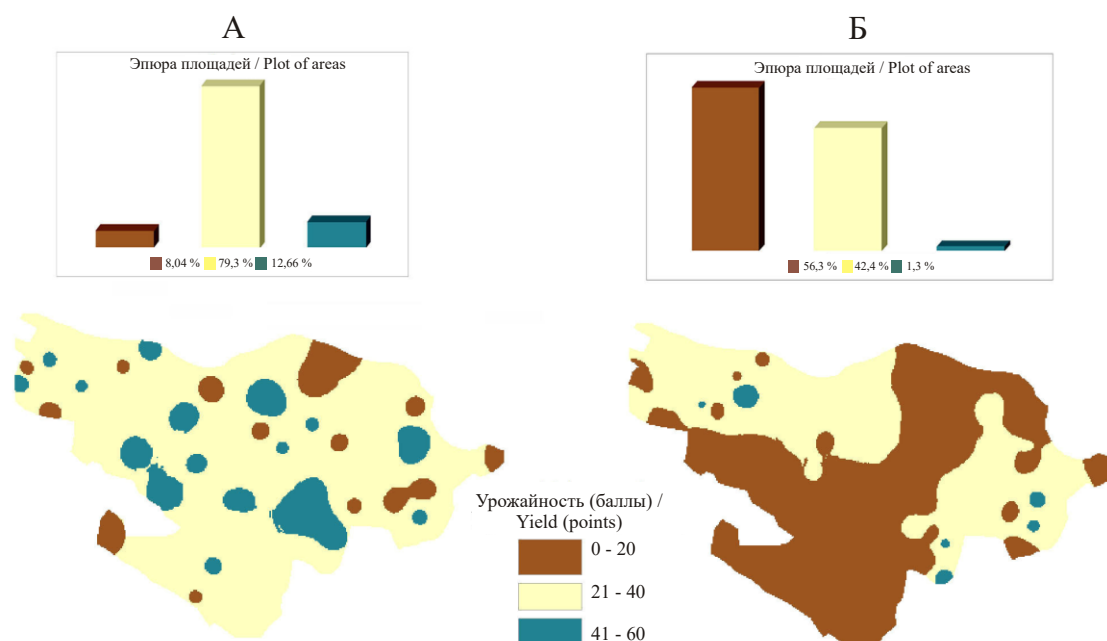


Рис. 1. Прогнозная урожайность овса в чистых (А) и покровных (Б) посевах в пределах ОПХ «Заветы Ленина» /

Fig. 1. Forecast yield of oats in clean (A) and cover (B) crops within the limits of the PPF «Zavety Lenina»

Использование в работе номинальных площадей (рассчитывающихся от общей площади хозяйства) объясняется отсутствием карты землеустройства (что объяснимо в данных обстоятельствах), а также необходимостью создания новой системы землеустройства на современных основах при проектировании адаптивно-ландшафтной системы земледелия нового хозяйства. Номинальные площади дают представление о потенциальных возможностях выращивания данной культуры, реальные площади будут определены при вычитании из номинальных площадей доли селитебных, инфраструктурных и прочих несельскохозяйственных объектов.

В отличие от чистых посевов, карта урожайности овса с подсевом трав в некоторой степени ландшафтообусловлена – ареалы с повышенной урожайностью тяготеют к зонам взаимодействия долинного и крупнохолмистого ландшафтов, характеризующихся относительно большой абсолютной высотой и оптимальным содержанием фосфора в почвах. Пространства на севере, в центре или на юге хозяйства не обладают оптимальным для этой культуры набором природных свойств – в их пределах либо проявляется недостаток освещенности и заболоченность почв (центр и север хозяйства), либо наблюдается избыток фосфора в почвах вследствие близкого залегания карбонатной морены, обогащенной фосфором [26] (южные части хозяйства) (рис. 2А).

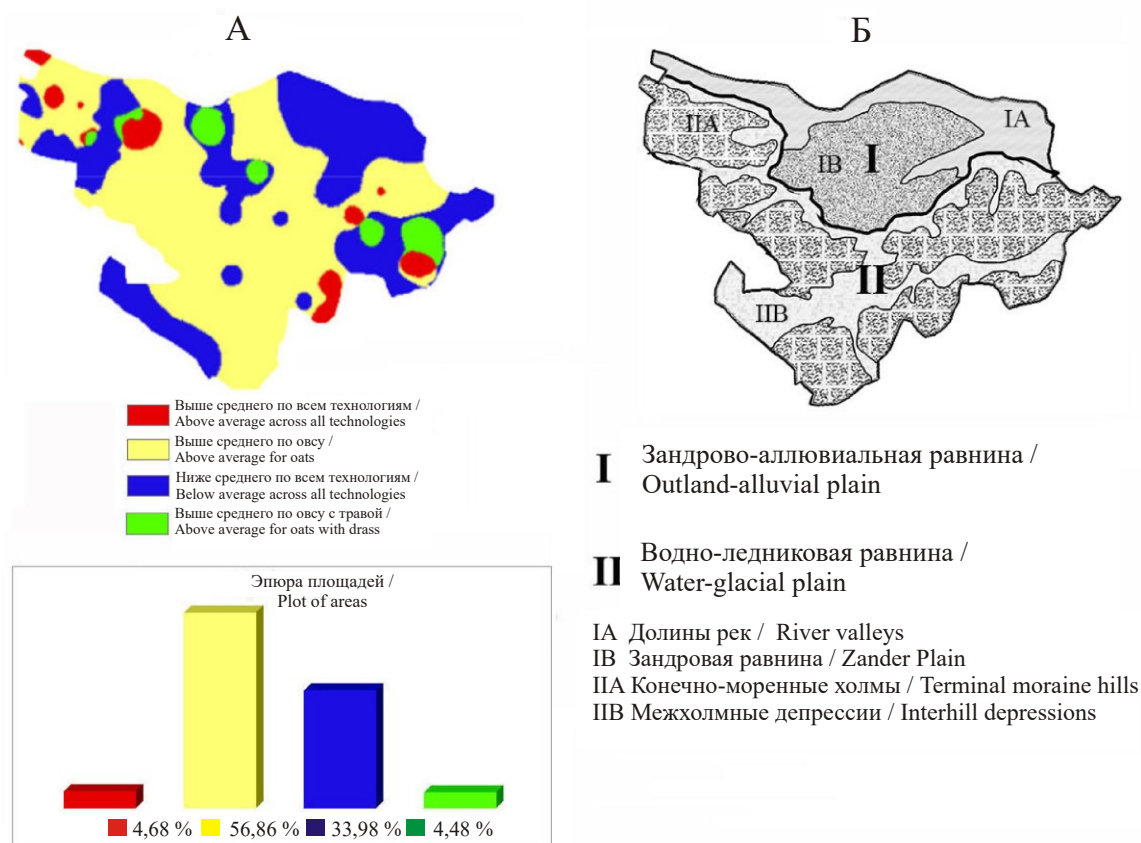


Рис. 2. Ареалы применимости способов выращивания овса в пределах хозяйства (А) и общий вид ландшафтного устройства ОПХ «Заветы Ленина» (Б) /

Fig. 2. Areas of applicability of ways for growing oats within the farm (A) and a general view of the landscape structure of the Pilot Production Farm «Zavety Lenina» (B)

Процедура наложения карт позволила получить схему ареалов применимости разных способов возделывания овса в пределах ОПХ (рис. 2А). Высокие урожаи овса (>30 баллов), независимо от способа его возделывания, можно получить в нескольких пятнах с суммарной площадью около 295 га. На площади 2145 га выращивание овса нецелесообразно, вследствие его пониженной продуктивности по всем способам возделывания (<30 баллов). На площади 3589 га предпочтение следует отдать чистым посевам овса, в то время как площадь земель, где лучше развиваются его покровные посевы, составляет 283 га.

На основании анализа рисунка 2Б, можно сказать, что ареалы максимальной урожайности по всем способам, а также с преимуществом покровных посевов привязаны к экотонной полосе перехода водно-ледниковой равнины в зандрово-аллювиальную. Пространства с минимальными урожаями по всем способам возделывания в основном тяготеют к долинным геокомплексам либо к межхолмным депрессиям

крупнохолмистого ландшафта. Фоновый ареал, благоприятный для выращивания чистых посевов овса, равномерно расположен по всей территории хозяйства.

Дисперсионный анализ результатов регрессии (ANOVA Table) показал, что максимальное воздействие на урожайность овса в чистых посевах (54 %) оказывает содержания калия в почвах, заметно влияют на нее влагообеспеченность посевов, выраженная через крутизну склонов (9 %) и гумусированность почв (4 %), в то время как содержание фосфора в почве не имеет существенного значения. Исходя из этого, были рассчитаны нелинейные уравнения парной регрессии, позволяющие определить оптимальные значения этих параметров, а с помощью ГИС-системы были выделены ареалы их расположения на карте. Наложение нескольких карт оптимальных значений параметров позволяет выявить пространственное расположение мероприятий по интенсификации-оптимизации производственного процесса культуры. Так, для увеличения производства

зерна в чистых посевах овса необходимо на площади 3205 га, расположенной в основном в пределах крупнохолмистого ландшафта, вносить органические удобрения. В пределах долинного ландшафта на площади 2301 га положительное воздействие окажет совместное внесение органики и калийных удобрений.

Суммарная площадь пятен, нуждающаяся в противоэрозионных (влагонакопительных) мероприятиях и внесении органики равна 258 га. Также следует сказать, что на территории площадью 286 га применение мероприятий по оптимизации продукционного процесса чистых посевов овса нецелесообразно (рис. 3А).

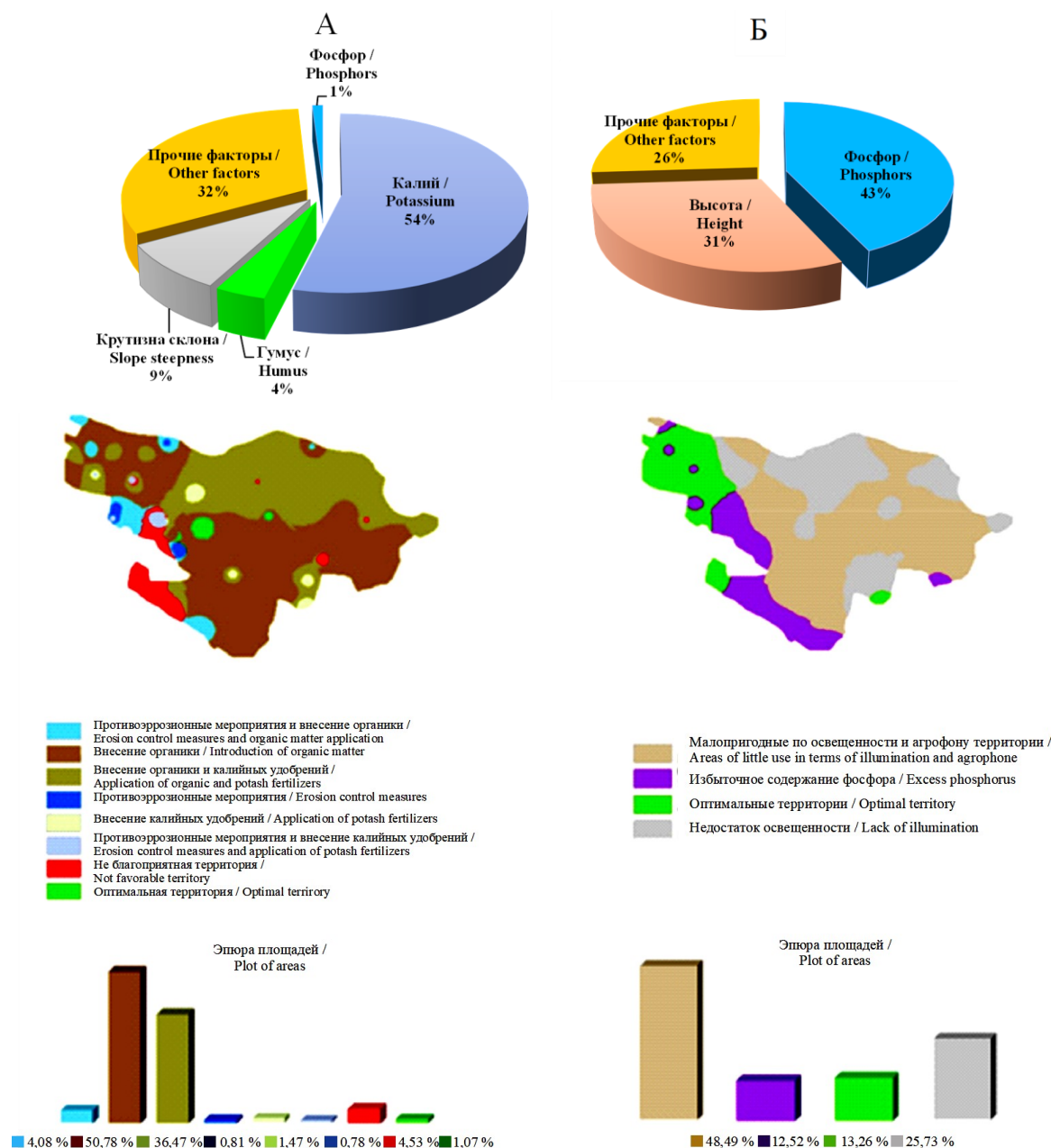


Рис. 3. Ареалы мероприятий по оптимизации продукционного процесса чистых (А) и покровных (Б) посевов овса в пределах прогнозного хозяйства /

Fig. 3. Areas of measures to optimize the production process of clean (A) and cover (B) oat crops within the forecast farm

В отличие от чистых посевов, на урожайность покровного овса в наибольшей степени влияет содержание фосфора в почве (43 %), избыточное содержание которого угнетает

посевы. В значительной степени (31 %) на него влияет степень освещенности и заболоченности почв, выраженная через абсолютную высоту. Более четверти территории хозяйства имеет

благоприятные условия для выращивания покровных посевов овса, однако на площади 790 га для значительного увеличения урожайности необходимо культивировать сорта овса, устойчивые к зафосфаченности почв (рис. 3Б).

Следует отметить, что ареалы на картах, изображенных на рисунках 1-3 не всегда совпадают. Это объясняется двумя причинами: во-первых, ареалы карт (рис. 3) создавались на основе парных уравнений, а не полиномов, которые учитывают характер взаимодействия факторов, а во-вторых, условия хозяйства далеки от оптимальных для этой культуры. Как правило, на территории хозяйства преобладают места, где возможно значительное повышение урожаев, однако есть локусы с высокой урожайностью, которую лимитируют малорегулируемые факторы (слабая освещенность и избыток влаги).

Заключение. Анализ данных многолетнего мониторинга является инструментом определения характера адаптивных реакций растений на ландшафтные условия в различных агротехнологических режимах. Значительный временной диапазон мониторинговых наблюдений на полигоне позволяет выбрать массивы лет, однотипных в агроклиматическом отношении и проводить сравнения между ними, тем самым получая информацию, на которую не влияют погодные условия.

Исследования показали, что адаптивные реакции овса на изменчивость ландшафтно-почвенных условий в значительной степени зависят от способа его выращивания. Овес в чистых посевах сильнее всего реагирует на содержание в почвах обменного калия, их водообеспеченность и гумусированность, тогда как в покровных посевах его урожай выше и во многом зависит от содержания фосфора в почве, степени освещенности посевов и заболоченности почв. Различия адаптивных реакций культуры при разных способах выращивания обуславливают особенности пространственного размещения их посевов. На основе математико-статистического анализа отобранной информации и глубокой обработки ее в ГИС-средах

можно зонировать территорию заброшенных земель по характеру их пригодности к выращиванию культур и способам оптимизации их продукционного процесса.

Разработанные модели показали, что практически на всей территории прогнозного хозяйства возможно получение урожаев овса в экстенсивном режиме около 20 ц/га независимо от способа посева, однако, более 92 % номинальной (без учета селитебной, лесной и инфраструктурной территорий) площади ОПХ потенциально способны обеспечить урожайность овса в чистых посевах от 27 до 31 ц/га, а повышенная (30-33 ц/га) урожайность овса в покровных посевах может быть получена только на ≈ 44 % площади хозяйства.

Основными приемами повышения урожайности овса в чистых посевах являются внесение калийных и органических удобрений, а также сохранение влаги в почвах, тогда как расширение площади покровных посевов предполагает использование сортов овса, слабо реагирующих на избыток фосфора в почвах. Интенсификация производства овса в чистых посевах потенциально возможна на площади 6026 га, а в покровных посевах только 790 га, на остальной территории его продуктивность ограничивается недостаточной освещенностью и заболоченностью почв. Следовательно, несмотря на то что урожайность покровного овса выше, возможность оптимизации его продукционного процесса при культивации чистых посевов больше.

Применение прогнозной информации, полученной на основе данных мониторинга, позволит землепользователю, используя архивные данные, описывающие состояние агроландшафтов заброшенных земель на момент прекращения их эксплуатации, получить прогнозные данные по урожайности культур и способам ее увеличения, что даст ему возможность более осознанно определять схему использования земли в режиме адаптивно-ландшафтного земледелия.

Список литературы

1. Щерба В. Н., Долматова О. Н. Оценка состояния и перспективы развития системы землепользования южной лесостепи Омской области. Московский экономический журнал. 2022;7(5):107-122. Режим доступа: <https://qje.su/wp-content/uploads/2022/06/SHHerba-Dolmatova.pdf> EDN: DRDGAD
2. Иванов Д. А., Ковалев Н. Г. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия (прикладная агрогеография): монография. Тверь: Кондратьев А. Н., 2017. 310 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009621352>
3. Усанова З. И., Васильев А. С. Теория и практика создания высокопродуктивных посевов овса посевного в условиях Центрального Нечерноземья. Тверь: Тверская ГСХА, 2014. 325 с.

4. Долгова Т. В., Надежина Н. В., Чухнин Ю. А. Влияние ландшафтных условий на эффективность возделывания гороха полевого и овса. Плодородие. 2012;(1(64)):21-22.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17416464> EDN: ORDFZZ
5. Trifuntova I. B. Ecological variability of the quality of oats varieties depending on vegetation conditions. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2020:547(1):012041.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/547/1/012041>
6. Сорокина А. В., Комарова Г. Н. Влияние климатических факторов на развитие и формирование хозяйственно ценных признаков овса. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014;(6):55-61.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22805010> EDN: TFBCFR
7. Анкудович Ю. Н. Влияние климатических и агрохимических факторов на урожайность овса в условиях севера Томской области. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2015;(5):40-47.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24790821> EDN: UWMYDD
8. Canales F. J., Montilla-Bascón G., Gallego-Sánchez L. M., Flores F., Risipail N., Prats E. Deciphering Main Climate and Edaphic Components Driving Oat Adaptation to Mediterranean Environments. Frontiers in Plant Science. 2021;12:780562. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.780562>
9. Canales F. J., Montilla-Bascón G., Bekele W. A., Howarth C., Langdon T., Risipail N., Tinker N. A., Prats E. Population genomics of mediterranean oat (*A. sativa*) reveals high genetic diversity and three loci for heading date. Theoretical and Applied Genetics. 2021;134:2063-2077. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03805-2>
10. Иванов Д. А., Рубцова Н. Е. Адаптивные реакции сельскохозяйственных растений на ландшафтные условия Нечерноземья. Киров: ГНУ Зональный научно-исследовательский институт сельского хозяйства Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, 2007. 356 с.
11. Ivanov A., Ivanova Z. Efficiency of Precision Fertilization System in Grain-Grass Crop Rotation. Agriculture. 2022;12(9):1381. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12091381>
12. Мансапова А. И., Пыко Т. Ю., Берендеева Л. О. Возделывание новых сортов овса в условиях подтайги Омской области. Омск: Изд-во ИП Макшеевой Е. А., 2020. 24 с.
13. Мансапова А. И., Берендеева Л. О. Продуктивность полевых севооборотов в условиях равнинных ландшафтов подтайги Западной Сибири. Земледелие. 2018;(1):16-19.
14. Рачков М. В., Надежина Н. В., Чухнин Ю. А. Совместное возделывание вики и овса на зернофураж в различных ландшафтах. Плодородие. 2010;(3(54)):20-21.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14866461> EDN: MNIKBP
15. Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В. Влияние компонентов ландшафта на продуктивность культур. Плодородие. 2021;(4(121)):39-43. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.12> EDN: IYVWDT
16. Zhao H., Li J., Guo L., Wang K. Crop Diversity at the Landscape Level Affects the Composition and Structure of the Vegetation-Dwelling Arthropod Communities in Naked Oat (*Avena Chinensis*) Fields. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2021;18(1):30. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18010030>
17. Карманов И. И., Булгаков Д. С. Методика почвенно-агроклиматической оценки пахотных земель для кадастра. М.: ГНУ Почвенный ин-т им В. В. Докучаева Россельхозакадемии, 2012. 119 с.
18. Шашко Д. И. Агроклиматическое районирование СССР. М.: Колос, 1967. 336 с.
19. Каюмов М. К. Программирование урожая сельскохозяйственных культур. М.: Агропромиздат, 1989. 317 с.
20. Coleman K., Muhammed S. E., Milne A. E., Todman L. C., Dailey A. G., Glendinning M. J., Whitmore A. P. The landscape model: A model for exploring trade-offs between agricultural production and the environment. Science of the Total Environment. 2017;609:1483-1499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.193>
21. Иванов Д. А. Мониторинг как научная основа современного кормопроизводства. Биосфера. 2022;14(3):151-155. DOI: <https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i3.688> EDN: PJBDYA
22. Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В., Анциферова О. Н. Исследование динамики урожайности трав в пределах агроландшафта на основе долговременного мониторинга. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):221-229. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.221-229> EDN: FYQZIJ
23. 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
24. Иванов Д. А., Корнеева Е. М., Салихов Р. А., Петрова Л. И., Пугачева Л. В., Рублюк М. В. Создание ландшафтного полигона нового поколения. Земледелие. 1999;(6):15-16.
25. Бурлакова Л. М., Кудрявцев А. Е., Совриков А. Б. Влияние содержания в почве подвижных элементов питания на урожайность овса в Уймонской долине Республики Алтай. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2003;(2):32-35. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18025629> EDN: PELVIF
26. Юдович Я. Э., Кетрис М. П., Рыбина Н. В. Геохимия фосфора. Сыктывкар: ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2020. 512 с.

References

1. Shcherba V. N., Dolmatova O. N. Assessment of the state and prospects of development of the land use system of the southern forest-steppe of the Omsk region. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal* = Moscow journal. 2022;7(5):107-122. (In Russ.). URL: <https://qje.su/wp-content/uploads/2022/06/SHHerba-Dolmatova.pdf>
2. Ivanov D. A., Kovalev N. G. Landscape-reclamation systems of agriculture (applied agrogeography): monograph. Tver': *Kondrat'ev A. N.*, 2017. 310 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01009621352>
3. Usanova Z. I., Vasilyev A. S. Theory and practice of creating highly productive oat crops in the conditions of the Central Non-Chernozem region. Tver: *Tverskaya GSKhA*, 2014. 325 p.
4. Dolgova T. V., Nadezhina N. V., Chukhnin Yu. A. Effect of landscape conditions on the cultivation efficiency of field pea and oat. *Plodorodie*. 2012;(1(64)):21-22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17416464>
5. Trifuntova I. B. Ecological variability of the quality of oats varieties depending on vegetation conditions. IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2020:547(1):012041. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/547/1/012041>
6. Sorokina A. V., Komarova G. N. Effect of climatic factors on development and formation of economic characters in oats. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2014;(6):55-61. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22805010>
7. Ankudovich Yu. N. Effect of climatic and agrochemical factors on oats productivity under conditions of the north of Omsk region. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2015;(5):40-47. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24790821>
8. Canales F. J., Montilla-Bascón G., Gallego-Sánchez L. M., Flores F., Rispail N., Prats E. Deciphering Main Climate and Edaphic Components Driving Oat Adaptation to Mediterranean Environments. *Frontiers in Plant Science*. 2021;12:780562. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.780562>
9. Canales F. J., Montilla-Bascón G., Bekele W. A., Howarth C., Langdon T., Rispail N., Tinker N. A., Prats E. Population genomics of mediterranean oat (*A. sativa*) reveals high genetic diversity and three loci for heading date. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134:2063-2077. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03805-2>
10. Ivanov D. A., Rubtsova N. E. Adaptive reactions of agricultural plants to landscape conditions of the Non-Chernozem region. Kirov: *GNU Zonal'nyy nauchno-issledovatel'skiy institut sel'skogo khozyaystva Severo-Vostoka imeni N. V. Rudnitskogo*, 2007. 356 p.
11. Ivanov A., Ivanova Z. Efficiency of Precision Fertilization System in Grain-Grass Crop Rotation. *Agriculture*. 2022;12(9):1381. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12091381>
12. Mansapova A. I., Pyko T. Yu., Berendeeva L. O. Cultivation of new varieties of oats in the conditions of the subtaiga of the Omsk region. Omsk: *Izd-vo IP Maksheevoy E. A.*, 2020. 24 p.
13. Mansapova A. I., Berendeeva L. O. Productivity of field crop rotations under conditions of plain landscapes of the sub-taiga of Western Siberia. *Zemledelie*. 2018;(1):16-19. (In Russ.).
14. Rachkov M. V., Nadezhina N. V., Chukhnin Yu. A. Combined growing of vetch and oat for fodder grain in different landscapes. *Plodorodie*. 2010;(3(54)):20-21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14866461>
15. Ivanov D. A., Karaseva O. V., Rublyuk M. V. To the question of the influence of landscape components on the productivity of crops. *Plodorodie*. 2021;(4(121)):39-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.121.12>
16. Zhao H., Li J., Guo L., Wang K. Crop Diversity at the Landscape Level Affects the Composition and Structure of the Vegetation-Dwelling Arthropod Communities in Naked Oat (*Avena Chinensis*) Fields. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(1):30. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph18010030>
17. Karmanov I. I., Bulgakov D. S. Methodology of soil-agroclimatic assessment of arable land for land register. Moscow: *GNU Pochvennyy in-t im V. V. Dokuchaeva Rossel'khozakademii*, 2012. 119 p.
18. Shashko D. I. Agro-climatic zoning of the USSR. Moscow: *Kolos*, 1967. 336 p.
19. Kayumov M. K. Programming of crop yields. Moscow: *Agropromizdat*, 1989. 317 p.
20. Coleman K., Muhammed S. E., Milne A. E., Todman L. C., Dailey A. G., Glendining M. J., Whitmore A. P. The landscape model: A model for exploring trade-offs between agricultural production and the environment. *Science of the Total Environment*. 2017;609:1483-1499. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.193>
21. Ivanov D. A. Monitoring as a scientific basis for modern fodder production. *Biosfera*. 2022;14(3):151-155. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24855/biosfera.v14i3.688>
22. Ivanov D. A., Karaseva O. V., Rublyuk M. V., Antsiferova O. N. Study of the dynamics of grass yield within the agricultural landscape based on long-term monitoring. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):221-229. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.221-229>
23. 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>
24. Ivanov D. A., Korneeva E. M., Salikhov R. A., Petrova L. I., Pugacheva L. V., Rublyuk M. V. Creation of a new generation landscape polygon. *Zemledelie*. 1999;(6):15-16. (In Russ.).

25. Burlakova L. M., Kudryavtsev A. E., Sovrikov A. B. The effect of the content of mobile nutrients in the soil on the yield of oats in the Uymon valley of the Altai Republic. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2003;(2):32-35. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18025629>

26. Yudovich Ya. E., Ketris M. P., Rybina N. V. Geochemistry of phosphorus. Syktyvkar: *IG Komi NTs UrO RAN*, 2020. 512 p.

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>

Соловьев Дмитрий Андреевич, кандидат с.-х. наук, директор Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель – филиала 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

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: <http://orcid.org/0000-0001-5319-2614>

Карасева Ольга Васильевна, 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: <http://orcid.org/0000-0002-8377-6386>

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, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4084-4991>

Information about authors

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

Dmitry A. Solovyov, PhD in Agricultural Science, Director of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (VNIIMZ), 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

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 (VNIIMZ), 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5319-2614>

Olga V. Karaseva, 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 (VNIIMZ), 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8377-6386>

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

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4084-4991>

✉ – Для контактов / Corresponding author