

**Земледелие и мелиорация**

УДК 631.5;631.6;911.2

DOI: 10.31857/S2500262723050058, EDN: PKYNZO

**К ВОПРОСУ ОБ АДАПТИВНО-ЛАНДШАФТНОМ ОБУСТРОЙСТВЕ ЗАБРОШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УРОЖАЙНОСТИ ЯЧМЕНЯ****Д. А. Иванов**, член-корреспондент РАН, **М. В. Рублюк**, кандидат сельскохозяйственных наук, **Н. А. Хархардинов**

Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт  
им. В. В. Докучаева»,  
119017, Москва, Пыжевский пер., 7, стр.2  
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

*Исследования проводили с целью оценки пригодности заброшенных земель конкретного хозяйства для выращивания ячменя в чистых и покровных посевах на основе анализа данных многолетнего мониторинга его урожайности на агроэкологическом полигоне. В работе использовали данные многолетнего (1997–2012 гг.) мониторинга урожайности ячменя сорта Гонор в чистых и покровных (позволяющих производить дополнительную продукцию) посевах на агрополигоне «Губино» ВНИИМЗ. Агрополигон расположен в 4 км к востоку от г. Тверь, на холме с относительной высотой 15 м, состоящем из плоской вершины, северного пологого склона крутизной 2...3°, южного склона (3...5°) и межхолмных депрессий (северной и южной). С использованием статистико-математического моделирования выявлены закономерности формирования урожайности ячменя. На основе полученных формул и архивных данных по состоянию заброшенных земель рассчитывали прогнозные поверхности урожайности культуры для всей территории хозяйства. Ячмень в чистых посевах реагирует только на высоту местоположения, тогда как в покровных посевах его урожай зависит от высоты и крутизны поверхности, а также от содержания фосфора в почве. Четверть площади хозяйства (верхние части холмов на западе и юге) потенциально способны обеспечить урожайность ячменя в чистых посевах от 1,4 до 3,3 т/га, повышенная величина этого показателя в покровных посевах (1,1...3,4 т/га) возможна только на 20 % территории, занимающей переходные зоны между моренным и долинным ландшафтами. Использование только архивных данных не всегда оправдано – разные подходы к проектированию систем земледелия должны быть взаимодополняемыми и для уточнения прогноза урожайности необходимо проводить специальные ландшафтно-почвенные исследования.*

**ON THE ISSUE OF ADAPTIVE LANDSCAPE DEVELOPMENT OF USELESS LANDS BASED ON THE RESULTS OF BARLEY YIELD FORECASTING****D. A. Ivanov, M. V. Rublyuk, N. A. Kharkhardinov**

Federal Research Centre Dokuchaev Soil Science Institute,  
119017, Moskva, Pyzhevskii per., 7, str. 2b,  
E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

*The research aimed to assess the suitability of useless lands of a particular farm for growing barley in pure and cover crops based on the analysis of data from long-term monitoring of its yield at an agro-ecological test site. The work used data from long-term (1997–2012) monitoring of the yield of barley variety Gonor in pure and cover (allowing for additional production) crops at the Gubino agricultural site of All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands. The agricultural site is located 4 km east of the city of Tver, on a hill with a relative height of 15 m, consisting of a flat top, a northern gentle slope with a steepness of 2–3°, a southern slope (3–5°) and interhill depressions (northern and southern). Using statistical and mathematical modelling, patterns of barley yield formation were identified. Based on the obtained formulas and archival data on the state of useless lands, forecast crop yield surfaces were calculated for the entire territory of the farm. Barley in pure crops responds only to the height of the location, while in cover crops its yield depends on the height and steepness of the surface, as well as the phosphorus content of the soil. A quarter of the farm's area (the upper parts of the hills in the west and south) is potentially capable of providing barley yields in pure crops from 1.4 to 3.3 t/ha, and an increased yield of this crop in cover crops (1.1–3.4 t/ha) can be obtained only on 20 % of the territory occupying the transition zones between moraine and valley landscapes. Using only archival data is not always justified – different approaches to the design of farming systems must complement each other, and to clarify the yield forecast, it is necessary to conduct special landscape and soil studies.*

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

**Key words:** clean crops; cover crops; mathematical and statistical modelling; useless lands.

По данным Минсельхоза Российской Федерации, общая площадь неиспользуемых сельскохозяйственных земель в стране достигает 44 млн га, в том числе 20 млн га бывшей пашни, из которых в оборот можно вернуть 12 млн га [1, 2, 3]. Сельскохозяйственное использование заброшенных земель необходимо вести на основе адаптивно-ландшафтных подходов, которые обеспечивают экологически обусловленное адресное размещение угодий и посевов сельскохозяйственных культур, способствующее полному раскрытию биологического

потенциала растений и затуханию деградационных процессов [4, 5].

В нашей стране общепризнана методология адаптивно-ландшафтного земледелия, разработанная академиком В. И. Кирюшиным, краеугольным камнем которой выступает определение первичной структурной единицы агроландшафта. В качестве таковой рассматривают элементарный ареал агроландшафта (ЭАА) – участок на элементе мезорельефа, ограниченный элементарной почвенной структурой (ЭПС)

(реже – элементарным почвенным ареалом (ЭПА)) при одинаковых геологических и микроклиматических условиях. Агроэкологическая оценка рельефа, литологии, климата, грунтовых вод, растительности, почвенного покрова представляет собой основной предмет ландшафтного анализа, по результатам которого выделяют конкретные ЭАА на местности и карте. Близкие по условиям возделывания сельскохозяйственных культур ЭАА объединяют в агроэкологические типы земель, то есть участки, однородные по агроэкологическим требованиям культуры и условиям ее возделывания [6]. Такой подход к природообустройству территории можно условно назвать «дискретным», так как в результате его реализации на территории проектируемого хозяйства должна быть выделена совокупность строго ограниченных ландшафтно-обусловленных ареалов, различающихся по урожайности культур (определяемой на основе методов программирования урожая) и набору мероприятий по их возделыванию. Накопленный опыт земледелия подтверждает применимость этого подхода на практике. Так, по данным В. М. Матасова, в течение 250 лет на одном из объектов в пределах Рязанской Мещеры специализацию и территориальную дифференциацию хозяйственного использования на 70 % контролируют ландшафтными и позиционными факторами, что объясняется высокой консервативностью структуры угодий, лимитированной природными условиями – недостаточной трофностью и избыточной влажностью почв [7].

Однако на основе исследований литературных источников и экспериментальных данных исходная посылка методологии «дискретного» подхода – пространственная однородность условий произрастания растений в границах конкретного ЭАА (иначе из них невозможно составить типы земель) – представляется несколько условной, так как предполагает неизменность свойств геокомплекса в его пределах, что противоречит утверждениям классиков ландшафтоведения, биогеоценологии и теории структуры почвенного покрова. Однородность фации нельзя понимать буквально, так как в ее пространстве наблюдается заметная флуктуация (тренд) параметров компонентов ландшафтов – так склоновые фации характеризуются градиентом высоты местоположения и эродированности почв, плакорные – пестротой нанорельефа и др. По И. И. Мамай внутри фаций отчетливо выделяются ядра, переходные полосы (экотоны) и границы. Экотоны по свойствам значительно ближе к ядру своей фации, чем к переходной полосе соседней [8]. Биогеоценозы, часто отождествляемые с фациями (хотя это не всегда верно), обладают ярко выраженной парцеллярной структурой, образованной вследствие мозаичного (по составу, густоте, накапливаемой массе и активной поверхности) размещения растений [9]. Элементарные почвенные ареалы также не всегда характеризуются отсутствием внутренней пестроты свойств. Исходя из определения, данного В. М. Фридландом, ЭПА обладают однородностью только в классификационном смысле, по устройству же внутренней среды они подразделяются на гомогенные, регулярно-циклические и спорадически-пятнистые. Структурно однородными выступают только гомогенные ЭПА, в то время, как спорадически пятнистые характеризуются присутствием пятен предельно-структурных элементов (ПСЭ) – почвенных образований, возникших по биологическим причинам, в пространстве фоновой почвы. Регулярно-циклические ЭПА, свойственные для тундр, характеризуются наличием какой-либо одной почвы, разбитой на сектора вследствие морозобойных процессов [10].

Кроме пространственно-структурной неоднородности, в пределах ЭПА наблюдается факторная пестрота. В. М. Фридланд все ЭПА подразделяет по характеру пространственного изменения свойств почвы на две группы – со сквозным и центральным трендами. Почвенные тела со сквозным трендом какого-либо параметра (например,  $pH_{KCl}$ ) характеризуются его постепенным изменением от одной границы к другой, а с центральным – от границ к центру. ЭПА с центральным трендом образуют внутренние части элементарных почвенных структур, а со сквозным – их внешние, переходные к другим ЭПС, экотонные части [11]. Таким образом, структурно-гомогенные ЭПА (а тем более ЭПС) весьма редки, а факторно-гомогенные практически не встречаются, следовательно, урожайность культуры в пространстве ЭАА должна варьировать.

Для адаптивно-ландшафтного землепользования крайне важен вопрос о границах типов земель, на основе которых по методике В. И. Кирюшина следует проводить рубежи полей и угодий. При выявлении границ природно-территориальных комплексов (ПТК) необходимо исходить из анализа взаимодействия всех компонентов их природы, а не ограничиваться выявлением ведущего фактора обособления геосистем. Это обуславливает наличие переходных полос между соседними геокомплексами, так как свойства разных компонентов ландшафта в пространстве меняются не синхронно. Фациальные границы весьма устойчивы в пространстве и во времени, так как связаны с оролитогенным фундаментом геокомплекса. И. И. Мамай утверждает, что ширина границ фаций на местности не превышает 1...2 м [8]. Рубежи более крупных географических единиц представляют собой достаточно широкие переходные полосы. Границы биогеоценозов, а особенно парцелл, неустойчивы во времени и пространстве, вследствие сезонных, миграционных и сукцессионных изменений биоты. Границы ЭПА весьма условны – их характер во многом зависит от особенностей классификации почв. По утверждению И. Ю. Савина «... при использовании разных классификационных схем можно получить разную сеть контуров, то есть разные почвенные карты» [12], таким образом почвенная карта выступает лишь моделью почвенного покрова территории в рамках определенной классификации почв, что предполагает некоторую условность выделения ЭАА и типов земель.

Следовательно, «дискретный» подход не может быть единственным при определении границ посевов и угодий, так как «... часть свойств почв коррелирует в большей или меньшей степени с классификационно значимыми признаками почв, но существует группа свойств, часто не обнаруживающая подобной корреляции (например, агрохимические свойства почв, влажность и др.)» [12]. Н. Д. Кутузова выяснила, что «... почвенные карты, подготовленные традиционными методами, в большинстве случаев не могут быть напрямую использованы для характеристики почвенно-экологических условий, определяющих параметры урожайности. Распределение многих ... почвенных признаков и агрохимических характеристик, оказывающих непосредственное влияние на биопродуктивность культурных растений, не во всех случаях совпадают с формой почвенных контуров, а также между собой. Это свидетельствует о том, что к оценке влияния почв на урожайность следует подходить дифференцированно, с учетом доли и характера влияния отдельных почвенных свойств и их динамики на урожайность ... культурных растений» [13]. Нашими исследованиями показано, что пространственное изменение урожайности зерновых и многолетних трав весьма слабо коррелирует

с особенностями ландшафтного и почвенного устройства территории, набор факторов природной среды, достоверно влияющих на урожайность различных культур, неодинаков и трансформируется при изменении агроклиматической обстановки, что обуславливает первоочередность изучения вариативности свойств растительного покрова при разработке систем земледелия [14, 15]. Результаты исследований адаптации культур к условиям ландшафта широко используют в современной науке [16, 17, 18]. Крайне интересен и вопрос влияния агроклиматических условий на продуктивность культур [19, 20].

Для более успешного проектирования систем земледелия нового поколения «дискретный» метод необходимо дополнять «континуальным» подходом, который учитывает пространственное варьирование факторов плодородия вне зависимости от картографической модели ландшафта и почвенного покрова. В результате его реализации для территории проектируемого (прогнозного) хозяйства создается изолинейная карта варьирования урожайности культуры, реагирующей на изменение достоверно влияющих на нее факторов ландшафтно-почвенной среды. Каждая культура характеризуется уникальными чертами «топографии посева», которые зависят также и от агроклиматической обстановки. Совмещение карт прогнозной урожайности культуры, полученных для разных климатических обстановок, позволит выявить ареалы, оптимальные для ее произрастания независимо от погодных условий и, напротив, критические – сильно зависящие от агроклимата. Наложение карт прогнозной урожайности разных культур даст возможность выявить места, оптимальные для размещения севооборотов и др. [21].

Итак, основные принципы «континуального» метода – учет адаптивных реакций растений на пространственную и временную изменчивость параметров природной среды агроландшафта и выбор, на основе их анализа, эколого-территориальных ниш с наиболее близкими к оптимальным условиям для произрастания культуры. Проект адаптивно-ландшафтной системы земледелия, по-видимому, должен состоять из двух слоев – «дискретного» и «континуального», синтез которых позволит выявить эколого-территориальные ниши, оптимальные для произрастания конкретных культур, и наиболее корректно определить границы производственных участков. Первоочередной проблемой при проектировании современной системы земледелия выступает наличие информации, характеризующей состояние ландшафта и посевов [22, 23].

«Континуальный» подход осуществляется на основе анализа мониторинговой информации по урожайности культур и динамике факторов природной среды геоконтекста, полученной на агроэкологическом полигоне. В ходе статистической обработки данных многолетнего мониторинга урожайности культуры можно выявить основные факторы, влияющие на продукционный процесс, и создать математические модели, отражающие ее адаптивные реакции на изменчивость природной среды агроландшафта. На основе таких моделей и ГИС-технологий можно попытаться спрогнозировать «поведение» культуры (изменчивость ее урожайности) даже в пределах заброшенного участка, расположенного в аналогичных с агроэкологическим полигоном ландшафтных условиях, на базе имеющихся архивных данных. Анализ карт прогнозной урожайности выявит места с различными агроэкологическим и технологическим потенциалами, что позволит решить вопрос о перспективах их освоения.

В нашей работе выполнено прогнозирование урожайности ячменя, выращиваемого разными способами,

на планируемых к введению в сельскохозяйственный оборот заброшенных землях конкретного хозяйства в Тверской области на основе результатов ее долговременного мониторинга на агрополигоне и использования архивных данных.

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

Научная новизна заключается в определении 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 территории.

**Методика.** Для достижения поставленной цели использовали данные многолетнего (1997–2012 гг.) мониторинга урожайности ячменя сорта Гонор в чистых и покровных (позволяющих получить дополнительную продукцию) посевах на агрополигоне «Губино» ВНИИМЗ [24]. Агрополигон расположен в 4-х км к востоку от г. Тверь, на холме с относительной высотой 15 м, состоящем из плоской вершины, северного пологого склона крутизной 2...3°, южного склона (3...5°) и межхолмных депрессий (северной и южной). Различия в экспозиции склонов определяют разницу в прогреве территории, 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 с мощностью кроющего наноса около 1 м, в межхолмной депрессии морена местами выходит на поверхность.

Исследования проводили на агроэкологической трансекте (физико-географическом профиле) – севооборотном массиве, пересекающем все микроландшафтные позиции (подурочища) конечно-моренного холма: транзитно-аккумулятивные депрессий, почвы которых частично накапливают элементы питания растений из намывных и грунтовых вод; транзитные средних частей склонов, где господствует латеральный ток влаги; элювиально-транзитные верхних частей склонов, в которых, совместно с латеральным перемещением влаги, интенсивно протекает и вертикальное промывание почв; элювиально-аккумулятивные плоской вершины, в пределах которых на фоне вертикального промывания почвенного профиля наблюдается аккумуляция элементов питания растений в микропонижениях.

Трансекта, в пределах которой развернуты два пятипольных зернотравяных севооборота, состоит из десяти параллельных полос-полей, каждая из которых занята определенной культурой. В пределах конкретной полосы антропогенное воздействие однотипно – проводили одновременные и одинаковые обработки почвы, соблюдали единые нормы, даты и способы посева и проведения прочих мероприятий, что позволяет изучать влияние ландшафтных условий на культуры в наименее искаженном виде.

Поля, на которых проводили наблюдения, имеют ширину 7,2 м, длину – 1300 м. Урожайность ячменя

определяли в 30-и точках опробования, равномерно расположенных вдоль трансекты через каждые 40 м в 4-х кратной повторности, методом прямого комбайнирования. Площадь учетной площадки – 20 м<sup>2</sup>.

Покровные посевы ячменя с многолетними травами (клевер красный ВИК 7, тимофеевка полевая ВИК 9) размещали на трансекте в основном с 1997 по 2006 гг. (в 2002 г. на разных полях трансекты ячмень выращивали в чистом и покровном посеве) в рамках следующего чередования культур: ячмень с подсевом трав, клеверо-тимофеечная травосмесь 1 г.п., клеверо-тимофеечная травосмесь 2 г.п., яровая пшеница, овес.

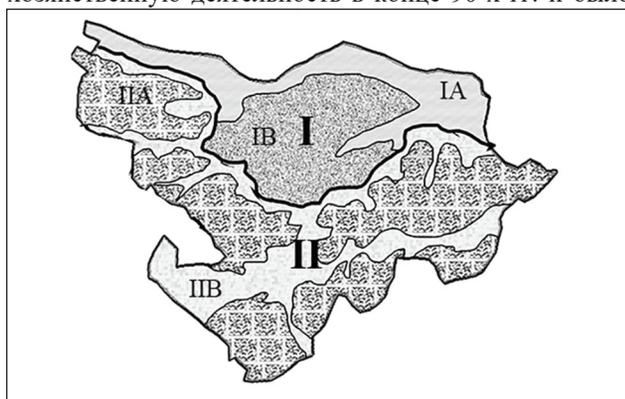
С 2007 по 2012 гг., вследствие смены покровной культуры, на агрополигоне культивировали чистые посевы ячменя, при этом характер севооборота изменился: овес с подсевом трав, клеверо-тимофеечная травосмесь 1 г.п., клеверо-тимофеечная травосмесь 2 г.п., яровая пшеница, ячмень.

Под ячмень, при любом способе выращивания, удобрения не вносили (экстенсивная технология) за исключением подкормки в фазе кущения аммиачной селитрой в дозе 0,1 т/га (N<sub>30</sub>). После 2012 г. ячмень на полигоне не возделывали.

Для исключения влияния агроклиматического фактора на результаты исследований из временного ряда наблюдений были выбраны годы с активной температурой (выше 10°C) ≈ 2100°C, суммой осадков за вегетационный период ≈ 300 мм, гидротермическим коэффициентом по Селянинову ≈ 1,2...1,3. Для покровных посевов такими условиями характеризовались 2000, 2002 и 2005 гг., для чистых – 2002, 2007 и 2012 гг.

Для прогноза урожайности учитывали влияние факторов рельефа (абсолютной высоты, крутизны и кривизны поверхности, интенсивности солнечной радиации) и агрохимических свойств почвы (содержание гумуса (по Тюрину), подвижного фосфора (по Кирсанову), обменного калия (по Масловой), рН<sub>KCl</sub>), определяемых в описанных точках опробования, так как, только эти параметры известны для территории прогнозного хозяйства (ОПХ «Заветы Ленина» Калининского района Тверской области), на продуктивность ячменя. В пределах трансекты для более подробного сравнения адаптивных реакций ячменя, выращенного разными способами, использовали также данные о гидrolитической кислотности почв, содержания в них кальция, магния и легкогидролизуемого азота.

Прогнозное хозяйство, в пределах которого размещен агрополигон «Губино», в основном, прекратило хозяйственную деятельность в конце 90-х гг. и было



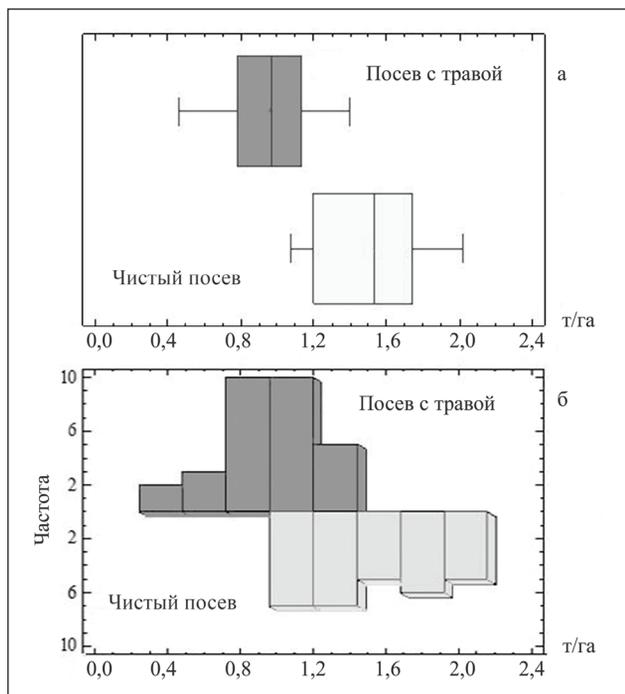
**Рис. 1. Карта-схема ландшафтного устройства ОПХ «Заветы Ленина»: I – зандрово-аллювиальная равнина, II – водно-ледниковая равнина, IA – долины рек, IB – зандровая равнина, IIА – конечно-моренные холмы, IIВ – межхолмны депрессии.**

юридически ликвидировано в 2006 г. Общая площадь предприятия составляла 6312 га, в том числе сельхозгодий – 4923 га, из них пашни – 3394 га. На территории ОПХ расположены два генетически различных ландшафта (рис. 1).

*Долинный ландшафт*, расположенный в северной части хозяйства, образован древними и современными русловыми процессами, занимает 29,2% площади хозяйства. Рельеф его плоский, осложненный внутриводораздельными останцами гривистых зандров, занятых сосновым бором. Почвообразующие породы – аллювиальные отложения различного возраста и гранулометрического состава. Доминантная местность – 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 геоконплексы занимают прирусловую возвышенную часть террасы. В её пределах доминируют песчаные дерново-глееватые почвы. Она частично занята разнотравной растительностью, частично была распашана. Аккумулятивные геоконплексы расположены у тылового шва террасы в местах выклинивания грунтовых вод. Они характеризуются широким распространением дерново- и торфянисто-глеевых легко- и среднесуглинистых почв, развивающихся на старичном аллювии. Субдоминантной местностью долинного ландшафта служит древнеаллювиальная (зандровая) плоская равнина, сложенная слоистыми песками различной крупности, на разной глубине подстилаемыми карбонатной мореной. Она целиком образована одним сложным урочищем плоской равнины, наиболее обширными подурочищами которой выступают транзитно-аккумулятивные геоконплексы, занимающие слабонаклонные поверхности. Для них характерны почвенные пятнистости, состоящие из дерново-подзолистых глеевых и глееватых песчаных и супесчаных почв. Аккумулятивные подурочища, располагающиеся в микропонижениях с дерново- и торфянисто-глеевыми почвами, заняты заболоченными лугами.

*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 этого ландшафта выступают транзитные геоконплексы, на которые приходится 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 ВНИИМЗ (материалы обследования Гипрозема и Гипроводхоза, агрохимической службы Тверской области, данные по опытным участкам института) 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 рассматриваемые параметры.



**Рис. 2. Статистические показатели урожайности ячменя при разных способах посева: а – средние значения, б – гистограммы распределения.**

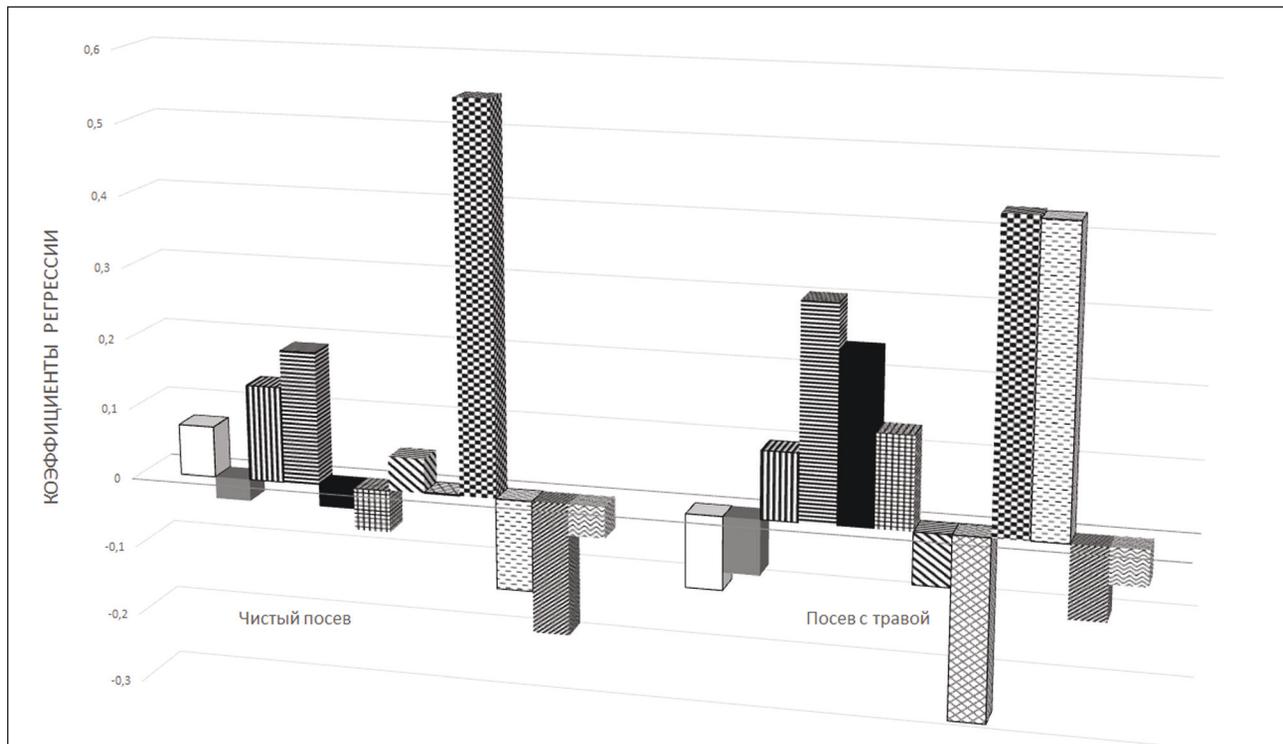
Статистическую (описательная статистика, корреляционный, линейный мультирегрессионный и регрессионный анализ по методу Partial Least Squares (PLS) и графическую обработку данных мониторинга и прогноза осуществляли с использованием пакетов программ

Statgraphic+19, Excel 19 и геоинформационной системы ArcGIS 10. Степень влияния ландшафтных факторов на урожайность ячменя вычисляли на основе метода Н. А. Плохинского путем деления частной факториальной суммы квадратов на общую [25].

**Результаты и обсуждение.** Среднемультилетняя урожайность (рис. 2а) покровного ячменя (0,97 т/га) была достоверно ниже ( $HCP_{0,05} = 0,14$  т/га), чем в чистом посеве (1,52 т/га), что отмечают и другие исследователи [26, 27]. Это может быть обусловлено негативным влиянием трав, которые в некоторых местоположениях к концу вегетации ячменя могут его перерастать. Такой вывод подтверждают результаты анализа гистограмм распределения – в покровных посевах ячменя наиболее вероятна урожайность 0,80...1,20 т/га, в то время как в чистых она ниже 0,90 т/га не встречается (рис. 2б).

Достоверные различия между агрохимическими показателями почв полей при разных способах посева отмечены только по содержанию гумуса – под покровным ячменем оно в среднем было равно 2,79 %, под чистыми посевами – 2,51 % ( $HCP_{0,05} = 0,25$  %), что свидетельствует о тенденции минерализации гумуса со временем под воздействием агротехники и осушительной мелиорации, однако почвы всех полей относятся к разряду сильногумусированных [27].

Установлена также устойчивая корреляция (в нашей работе достоверны коэффициенты корреляции  $\geq 0,32$ ) между полями с разными способами посева по пространственной изменчивости одного и того же показателя: обменной ( $r = 0,80$ ) и гидролитической ( $r = 0,88$ ) кислотности, содержания фосфора ( $r = 0,81$ ), калия ( $r = 0,77$ ), гумуса ( $r = 0,76$ ), кальция ( $r = 0,97$ ) и магния ( $r = 0,87$ ), что свидетельствует о постоянном характере изменения этих факторов плодородия почв в пределах агроландшафта. Это позволяет сравнивать результаты регрессионных мо-



**Рис. 3. Факторы, влияющие на урожайность ячменя на трансекте в различных посевах:**

□ — рН, ■ — Нг, ▨ — фосфор, ▩ — калий, ■ — гумус, ▤ — Са, ▥ — Mg, ▦ — N, ▧ — высота, ▨ — крутизна, ▩ — крутизна, ▪ — радиация.

делей зависимости урожайности ячменя от ландшафтных условий трансекты при разных способах посева (рис. 3).

Результаты регрессионного анализа методом Partial Least Squares (PLS) свидетельствуют, что изменение способа посева ячменя приводит к резкой перестройке набора факторов, влияющих на его урожайность. Из анализа результатов уравнений регрессии видно, что в чистых посевах ячмень наиболее продуктивен на плоских возвышенностях, осложненных микропонижениями (положительное воздействие абсолютной высоты и отрицательное – кривизны поверхности). Это объясняется его экологическими особенностями – хотя злак и хорошо переносит низкие температуры и устойчив к засухе, тем не менее, растению необходимо тепло, свет, регулярное питание и дополнительная влага.

Урожайность покровного ячменя зависит от большего числа факторов. Максимальное влияние на продуктивность культуры оказывают высота местоположения и крутизна склона, при увеличении которых усиливается освещенность посевов и самодренаж территории, что препятствует сильному развитию трав и дает ячменю конкурентные преимущества. В сложных посевах также значительную роль играет конкуренция за элементы питания растений. Увеличение в почве содержания легкогидролизуемого азота приводит к ускоренному развитию трав, что снижает урожайность зерновых.

Мультирегрессионный анализ такого же набора факторов показал зависимость ячменя в чистых посевах только от высоты местоположения, определяющей 41,1 % вариабельности его урожайности, в то время как коэффициент детерминации уравнения регрессии по покровному ячменю достигал 74,5 %, из которых максимальная доля вариабельности (35,3 %) приходится на высоту, 14,3 % – на легкогидролизуемый азот, 13,0 % – на крутизну склонов, 11,9 % – на содержание магния.

Линейный мультирегрессионный анализ для условий ОПХ позволил определить характер адаптивных реакций ячменя на ландшафтные условия при различном посеве:

$$\begin{aligned} & \text{урожай чистого посева ячменя} = -89,1939 + 0,678699 \\ & \times \text{высота местоположения;} \\ & R^2 = 41,1 \%, P = 0,0001; \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & \text{урожай покровного ячменя} = -70,1333 + 0,0294193 \\ & \times \text{фосфор} + 2,26147 \times \text{крутизна склонов} + 0,496278 \times \text{высота} \\ & \text{местоположения;} \\ & R^2 = 58,2 \%, P = 0,0000. \end{aligned} \quad (2)$$

Уравнения 1 и 2 использовали для создания прогнозных карт урожайности культуры в пределах ОПХ (рис. 4). Оказалось, что около четверти всей площади хозяйства (1578 га) имеет благоприятные условия для выращивания чистых посевов ячменя. Лучшие местоположения для этого способа возделывания культуры – запад и юг хозяйства в пределах моренно-ледниковой равнины. Урожайность ячменя здесь может варьировать от 1,40 до 3,30 т/га. Долинный ландшафт, в котором господствуют низменные равнины, малопригоден для чистых посевов этой культуры.

Ареалы с относительно высокой урожайностью (1,10...3,40 т/га) покровного ячменя, на которые приходится около 20 % территории хозяйства (1262 га), расположены в основном в переходной зоне между моренно-ледниковой равниной и долинным ландшафтом, тогда как центральные части таких геосистем характеризуются пониженной урожайностью культуры. Это можно объяснить тем, что только в экотонных частях ландшафтов складывается оптимальное соотношение между параметрами рельефа и плодородия почв рассматриваемого способа возделывания культуры.

Результаты анализа прогнозных поверхностей сви-

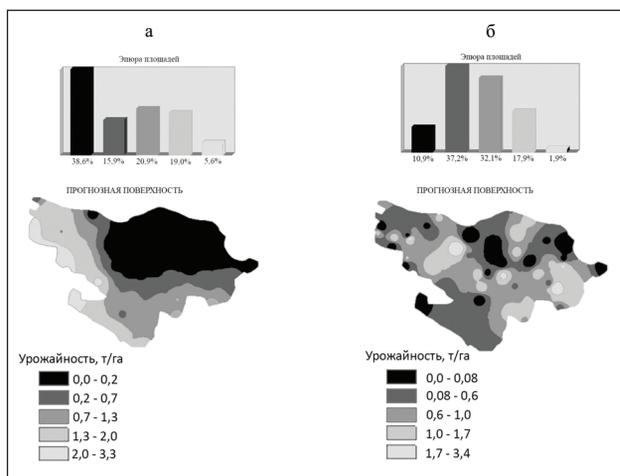


Рис. 4. Прогнозные поверхности и энтюры площадей ареалов урожайности чистых (а) и покровных (б) посевов ячменя в пределах ОПХ.

детельствуют, что ландшафтное устройство территории хозяйства определяет только самые общие черты вариабельности урожайности культуры, которая зависит в основном от способа посева. Можно отметить, что, чем больше факторов влияет на продуктивность растений, тем меньше карта прогнозной урожайности коррелирует с характером ландшафтного устройства территории. Прогнозные поверхности урожайности ячменя (см. рис. 4) вследствие невысокой точности (41,1 % для чистых посевов и 58,2 % для покровных) не отражают полной картины пространственной вариабельности продуктивности культуры, поэтому для адекватного проектирования адаптивно-ландшафтной технологии выращивания ячменя, необходимо проводить дополнительные исследования территории ОПХ в рамках «дискретного» подхода, которые позволят увеличить количество факторов, используемых в регрессионном анализе, что повысит его точность, а также определить характер ландшафтно-почвенных границ, что в синтезе с прогнозными поверхностями урожайности культуры позволит проложить технологически оптимальные рубежи полей и угодий.

**Выводы.** В пространстве геосистем можно выделить относительно однородные в почвенном или ландшафтном отношении участки, разделенные четкими границами. Однако картографические материалы не отражают всего разнообразия почвенно-ландшафтных условий. Растение, находясь под влиянием природной среды, адаптируется ко всему комплексу факторов агроландшафта, поэтому для разработки наиболее адекватного способа использования территории необходимо рассматривать факторный континуум с разных сторон.

Использование двух подходов к определению границ полей и угодий – «дискретного», направленного на выделение в пределах территории хозяйства однородных в производственном отношении «типов земель», и «континуального», предназначенного для создания непрерывных прогнозных поверхностей урожайности культур, в пределах которых выявляются места, оптимальные для их произрастания, создает возможность разработки более гибких схем использования сельскохозяйственной территории.

Результаты исследования на основе «континуального» подхода свидетельствуют, что при экстенсивном использовании земель бывшего ОПХ возможно фор-

мирование урожая ячменя до 3,40 т/га. Однако величина этого показателя в пределах ОПХ, в зависимости от способа посева, реагирует на разные наборы факторов ландшафтно-почвенной среды, что обуславливает разницу в расположении посевов и мероприятиях по его выращиванию в режиме адаптивно-ландшафтного земледелия.

### Литература

1. Михайлова А. Непакханое 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-zaleznyye-zemli/> (дата обращения: 15.05.2023).
2. Детерминанты пространственного распределения заброшенных сельскохозяйственных земель в европейской части России / А. В. Прищепов, Д. Мюллер, М. Ю. Дубинин и др. // *Пространственная экономика*. 2013. № 3. С. 30–62.
3. Шилов П. М., Козлов Д. Н. Почвенно-агроэкологическая оценка пахотнопригодности земель Валдайской возвышенности по материалам генерального межевания // *Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева*. 2019. № 98. С. 5–36. doi: 10.19047/0136-1694-2019-98-5-36.
4. Андриющенко С. А. Тенденции и условия повышения экологической устойчивости АПК Российской Федерации // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023. № 2 (392). С. 143–146. doi: 10.55186/25876740\_2023\_66\_2\_143.
5. Шалов Т. Б., Азубекѳв Л. Х. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия в схеме землеустройства территории сельского поселения // *Земледелие* № 6. 2013. С. 28–29.
6. Кирюшин В. И., Кирюшин С. В. Агротехнологии. СПб.: Лань, 2022. 464 с.
7. Матасов В. М. Внутриландшафтная динамика использования земель Мещерской низменности за последние 250 лет // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*. 2017. № 4 С. 65–74.
8. Мамай И. И., Роганов С. Б. Границы природных территориальных комплексов // *Известия Русского географического общества*. 2004. Т. 136. № 3. С. 37–49.
9. Дылис Н. В. Структура лесного биогеоценоза. М.: Наука, 1969. 57 с.
10. Фридланд В. М. Структура почвенного покрова. М.: Мысль, 1972. 423 с.
11. Фридланд В. М. Структуры почвенного покрова мира. М.: Мысль, 1984. 236 с.
12. Технология составления и обновления почвенных карт / И. Ю. Савин, В. С. Столбовой, А. И. Иванов и др. М.: Издательство «Перо», 2019. 328 с.
13. Effect of the spatial heterogeneity of soil properties on the growth and productivity of soybeans / N. D. Kutuzova, G. S. Kust, S. Y. Rozov, et al. // *Eurasian Soil Science*. 2015. Vol. 48. No. 1. С. 85–94.
14. Иванов Д. А., Карасева О. В., Рублюк М. В. Исследование влияния почвенного покрова и рельефа на продуктивность культур // *Достижения науки и техники АПК*. 2021. № 2. С. 19–26. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10203.
15. Ivanov D. A. Theoretical aspects of agrogeography // *Herald of the Russian academy of sciences*. 2018. Vol. 88. No. 5. P. 379–384. doi: 10.1134/S1019331618040111.
16. Юсова О. А., Николаев П. Н. Адаптивность новых перспективных сортов ярового ячменя омской селекции // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 8. С. 20–24.
17. Лихачева Л. И., Москалев А. В. Экологическая адаптивность сортообразцов гороха посевного в условиях Среднего Урала // *Достижения науки и техники АПК*. 2022. Т. 36. № 4. С. 47–51.
18. Адаптивность сортов ярового ячменя селекции ФАНЦ Северо-Востока / Т. К. Шешигова, И. Н. Щенникова, Л. М. Щеклеина, и др. // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 2. С. 25–29. doi: 10.31857/S2500262722020053.
19. Епифанова И. В. Изучение адаптивных показателей люцерны изменчивой в условиях лесостепи среднего Поволжья // *Кормопроизводство*. 2022. № 1. С. 31–36. doi: 10.25685/KRM.2022.94.80.001.
20. Кинчаров А. И., Дѳмина Е. А. Анализ и краткосрочный прогноз изменения климатических условий в адаптивной селекции яровых зерновых // *Российская сельскохозяйственная наука*. 2022. № 1. С. 23–30. doi: 10.31857/S2500262722010057.
21. Иванов Д. А., Ковалев Н. Г. Ландшафтно-мелиоративные системы земледелия (прикладная агрогеография). Монография. Тверь: Издатель А. Н. Кондратьев, 2017. 310 с.
22. Бугаевская В. В., Вершинин В. В., Мартынова Д. Ю. Цифровизация землеустройства на основе многофункциональной земельно-информационной системы и геоинформационных технологий: результаты инноваций и проблемы // *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2023. № 1 (391). С. 4–7. doi: 10.55186/25876740\_2023\_66\_1\_4.
23. Михайленко И. М., Якушев В. П. Информационно-техническая база интеллектуализации управления агротехнологиями // *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2022. № 2. С. 4–11. doi: 10.30850/vrsn/2022/2/4-11.
24. Монгуш Л. Т. Изучение влияния покровных культур на урожайность и продуктивность многолетних трав в условиях республики Тыва // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 12. С. 19–24. doi: 10.36718/1819-4036-2020-12-19-24.
25. Плохинский Н. А. Биометрия. М.: МГУ, 1970. 367 с.
26. Борисова Е. Е., Сизова Ю. В., Шуварин М. В. Влияние покровных культур на урожайность клевера // *Вестник Мичуринского государственного аграрного университета*. 2020. № 2 (61). С. 56–60.
27. Технология возделывания ячменя в Воронежской области / В. И. Турусов, А. М. Новичихин, И. М. Корнилов и др. Воронеж: Каменная Степь, 2019. 37 с.

Поступила в редакцию 27.07.2023

После доработки 21.08.2023

Принята к публикации 05.09.2023