ECONSTOR
Make Your Publications Visible.

A Service of

ZBW Leibniz-Informationszentrum Wirtschaft
Leibniz Information Centre for Economics

Prishchepov, Alexander; Ponkina, Elena; Sun, Zhanli; Müller, Daniel

Article — Published Version

Выявление детерминант урожайности пшеницы в Западной Сибири с использованием байесовских сетей

Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics

Provided in Cooperation with:
Leibniz Institute of Agricultural Development in Transition Economies (IAMO), Halle (Saale)

Suggested Citation: Prishchepov, Alexander; Ponkina, Elena; Sun, Zhanli; Müller, Daniel (2019) : Выявление детерминант урожайности пшеницы в Западной Сибири с использованием байесовских сетей, Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics, ISSN 2587-5957, Economic Research Institute, Far Eastern Branch, Russian Academy of Sciences, Chabarovsk, Vol. 15, Iss. 1, pp. 39-83,
https://doi.org/10.14530/se.2019.1.039-083

This Version is available at:
https://hdl.handle.net/10419/196134

Standard-Nutzungsbedingungen:

Die Dokumente auf EconStor dürfen zu eigenen wissenschaftlichen Zwecken und zum Privatgebrauch gespeichert und kopiert werden.

Sie dürfen die Dokumente nicht für öffentliche oder kommerzielle Zwecke vervielfältigen, öffentlich ausstellen, öffentlich zugänglich machen, vertreiben oder anderweitig nutzen.

Sofern die Verfasser die Dokumente unter Open-Content-Lizenzen (insbesondere CC-Lizenzen) zur Verfügung gestellt haben sollten, gelten abweichend von diesen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Terms of use:

Documents in EconStor may be saved and copied for your personal and scholarly purposes.

You are not to copy documents for public or commercial purposes, to exhibit the documents publicly, to make them publicly available on the internet, or to distribute or otherwise use the documents in public.

If the documents have been made available under an Open Content Licence (especially Creative Commons Licences), you may exercise further usage rights as specified in the indicated licence.

https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/

WWW.ECONSTOR.EU

Mitglied der Leibniz-Gemeinschaft

Пространственная Экономика
2019. Том 15. № 1. С. 39—83

JEL: C12, Q12, Q18
УДК 519.1+631.1+332.1 DOI: 10.14530/se.2019.1.039-083

Выявление детерминант урожайности пшеницы в Западной Сибири с использованием байесовских сетей

А.В. Прищепов, Е.В. Понькина, Ж. Сун, Д. Мюллер

Прищепов Александр Владимирович
PhD, ассоциированный профессор
Университет Копенгагена, Департамент наук о Земле и рационального землепользования, Øster Voldgade 10, 1350 København K, Denmark
Институт степи УрО РАН, ул. Пионерская, 11, Оренбург, Россия, 460000
Институт экологии и природопользования, Казанский федеральный университет, ул. Товарищеская, 5, Казань, Россия, 420097
E-mail: alpr@ign.ku.dk, prialign@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2375-1651

Понькина Елена Владимировна
кандидат технических наук, доцент
Алтайский государственный университет, факультет математики и информационных технологий, кафедра теоретической кибернетики и прикладной математики, пр-т Ленина, 61, Барнаул, Россия, 656049
E-mail: ponkinaelena77@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7604-6337

Сун Жанли
PhD, старший научный сотрудник
Институт аграрного развития в странах с переходной экономикой (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, 06120 Halle (Saale), Germany
E-mail: sun@iamo.de
ORCID: 0000-0001-6204-4533

Мюллер Даниель
PhD, старший научный сотрудник
Институт аграрного развития в странах с переходной экономикой (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, 06120 Halle (Saale), Germany; Департамент географии, Университет Гумбольдта

© Прищепов А.В., Понькина Е.В., Сун Ж., Мюллер Д., 2019
© Прищепов А.В., Понькина Е.В., перевод с английского языка, 2019

Prishchepov A.V., Ponkina E.V., Sun Z., Müller D. Revealing the determinants of wheat yields in the Siberian breadbasket of Russia with Bayesian networks. *Land Use Policy*, 2019, 80, 21–31. DOI: 10.1016/j.landusepol.2018.09.038.

Перевод статьи на русский язык и размещение его в журнале «Пространственная экономика» осуществлены с согласия авторов и в соответствии с лицензией издательства ELSEVIER № 501466890 от 28 февраля 2019 г.

в Берлине, Unter den Linden 6, 10099, Berlin, Germany; Интегративный исследовательский институт по трансформации систем взаимодействия человека с окружающей средой (IRI THESys), Университет Гумбольдта в Берлине, Unter den Linden 6, 10099, Berlin, Germany
E-mail: mueller@iamo.de

Аннотация. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур играет решающую роль в удовлетворении растущего спроса на продовольствие в мире. Россия обладает значительным потенциалом увеличения сельскохозяйственного производства, не использованным в полной мере, поскольку текущая урожайность зерновых культур значительно ниже потенциально достижимой урожайности. Регион Западной Сибири – одна из важнейших житниц России, где урожайность пшеницы особенно отстает от своего биофизического и технологического потенциала. Цель исследования заключалась в оценке детерминант пространственной вариабильности урожайности пшеницы, основываясь на данных реальной практики земледелия сельскохозяйственных производителей Алтайского края в Западной Сибири. Было проведено 67 структурированных интервью о потенциальных детерминантах урожайности пшеницы с управленческим звеном сельскохозяйственных предприятий различных форм собственности, включая крестьянско-фермерские хозяйства. Интервью были дополнены 149 наблюдениями, полученными на основе данных систематического мониторинга сельскохозяйственного производства в Алтайском крае. В работе использованы байесовские сети (БС) для представления взаимосвязей между объясняющими переменными и урожайностью пшеницы и изучения ожидаемых реакций продуктивности культуры в различных сценарных условиях. Результаты показали, что более высокая урожайность чаще достигается более крупными производителями, чем средними и малыми. Результаты подтвердили наблюдения, свидетельствующие о том, что применение удобрений и средств защиты растений, как и внедрение нового оборудования (технологий), оказывает положительное влияние на среднюю урожайность пшеницы, которая является базовой в регионе. Сценарий возрастания производственных издержек и снижения сумм осадков ожидаемо приведет к снижению урожайности в среднем с 7,6 до 5,3 ц/га. В целом исследование показало, что политика, направленная на увеличение урожайности сельскохозяйственных культур, должна учитывать развитие образовательной среды менеджеров и специалистов сельскохозяйственных предприятий и стимулировать меры по внесению удобрений и соблюдение рекомендаций агрономической науки. Особенный фокус государственной аграрной политики должен быть ориентирован на развитие малых форм хозяйствования. Кроме того, аграрная политика должна быть направлена на перспективное решение смежных проблем, одной из которых является нивелирование происходящего усиления засушливости климата посредством внедрения адаптированных к засушливым условиям технологий возделывания культур.

Ключевые слова: байесовские сети, продовольственная безопасность, интенсивность землепользования, сценарный анализ, урожайность пшеницы, потенциал наращивания урожайности, технологии возделывания, Россия

Благодарности. Исследование было финансово поддержано Федеральным министерством Германии по образованию и исследованиям (BMBF, номер гранта 01LL0905J) в рамках программы финансирования ‘Sustainable Land Management’, проект КУЛУНДА www.kulunda.eu. Работа также выполнена в соответствии с финансированием Российской государственной программы по повышению конкурентоспособности Казанского федерального университета.

Для цитирования: Прищепов А.В., Понькина Е.В., Сун Ж., Мюллер Д. Выявление детерминант урожайности пшеницы в Западной Сибири с использованием байесовских сетей // Пространственная экономика. 2019. Т. 15. № 1. С. 39–83. DOI: 10.14530/se.2019.1.039-083.

Revealing the Determinants of Wheat Yields in the Siberian Breadbasket of Russia with Bayesian Networks

A.V. Prishchepov, E.V. Ponkina, Z. Sun, D. Müller

Alexander V. Prishchepov
PhD, Associate Professor
Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen, Øster Voldgade 10, København K, 1350, Denmark
Institute of Steppe of the UB RAS, 11 Pionerskaya Street, Orenburg, Russia, 460000
Institute of Environmental Sciences, Kazan Federal University, 5 Tovarisheskaya Street, Kazan, Russia, 420097
E-mail: alpr@ign.ku.dk, prialign@gmail.com
ORCID: 0000-0003-2375-1651

Elena V. Ponkina
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
Faculty of Mathematics and Information Technology, Altai State University, Lenin Avenue, 61, Barnaul, Russia, 656049
E-mail: ponkinaelena77@mail.ru
ORCID: 0000-0001-7604-6337

Zhanli Sun
PhD, Senior Research Fellow
Leibniz Institute of Agricultural Development in Transition Economies (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, Halle (Saale), 06120, Germany E-mail: sun@iamo.de
ORCID: 0000-0001-6204-4533

Daniel Müller
PhD, Senior Research Fellow
Transition Economies (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, Halle (Saale), 06120, Germany; Geography Department, Humboldt Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, Berlin, 10099, Germany; Integrative Research Institute on Transformations of Human-Environment Systems (IRI THESys), Humboldt Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, Berlin, 10099, Germany
E-mail: mueller@iamo.de

Abstract. Higher crop yields are critical to satisfy the rising global food demand. Russia holds untapped potential for increasing agricultural production because current grain yields are often far below the potentially attainable yields. Western Siberia is an important breadbasket in Russia, where wheat yields fall particularly short of their potential. Our goal was to assess the determinants of yield variations among farmers in the province of Altai Krai in Western Siberia. We conducted 67 structured in-person interviews with corporate farm managers and individual farmers about the potential determinants of wheat yields and complemented these data with 149 additional observations obtained from the provincial agricultural extension service. We used Bayesian networks (BNs) to represent the relationships between the explanatory parameters and contemporary wheat yields and to examine qualitative future scenarios of future yields. The results revealed higher yields on larger farms than on medium and small farms. Our results corroborated that the application of fertilizers and herbicides and the implementation of new equipment had large positive impacts on the yields. The scenario of higher future production costs and lower precipitation resulted in a yield reduction from 7.6 dt/ha to 5.3. Overall, our results

suggest that policies aimed at increasing wheat yields should concentrate on the education of farmers and encourage higher input applications, particularly for small-scale farms. Additionally, policies should address concurrent challenges, such as a higher drought frequency, through the application of new equipment, seed material and tillage practices.

Keywords: Bayesian belief network, food security, land-use intensity, scenario analysis, wheat production, yield gap, Russia

Acknowledgement. This research was funded by the German Federal Ministry of Education and Research (BMBF, grant No. 01LL0905J) within the funding measure 'Sustainable Land Management', KULUNDA project. The work is performed according to the Russian Government Program of Competitive Growth of Kazan Federal University.

For citation: Prishchepov A.V., Ponkina E.V., Sun Z., Müller D. Revealing the Determinants of Wheat Yields in the Siberian Breadbasket of Russia with Bayesian Networks. *Prostranstvennaya Ekonomika = Spatial Economics*, 2019, vol. 15, no. 1, pp. 39–83. DOI: 10.14530/se.2019.1.039-083. (In Russian).

1. ВВЕДЕНИЕ

Растущий глобальный спрос на сельскохозяйственную продукцию уже привел к расширению сельскохозяйственных земель и интенсификации сельскохозяйственного производства. Такой спрос, вероятнее всего, продолжит увеличиваться в будущем (Foley, 2005; Lambin, Meyfroidt, 2011). Это означает, что для удовлетворения растущих потребностей в продовольствии важную роль будет играть наращивание урожайности сельскохозяйственных культур на уже используемых сельскохозяйственных землях. Это возможно за счет сокращения разрыва между текущей и биологически и технологически – потенциальной урожайностью культур. Возможность повышения урожайности частично зависит от агроэкологических условий на определенной территории, таких как качество почвы, температурный режим и режим осадков в течение вегетационного периода (Economics, 2004; Mendelsohn et al., 1994). Помимо факторов местоположения земельного участка (следуя теории Дэвида Рикардо) урожайность сельскохозяйственных культур зависит от множества других факторов, в частности, от качества семенного материала, решений в области использования техники и технологии возделывания (например, практики внесения удобрений, их дозировки, качества удобрений и сроков внесения) (Gooding, Davies, 1997; Licker et al., 2010; Lobell et al., 2009). Различия в урожайности между хозяйствующими субъектами можно объяснить различиями в природных условиях, навыках и образовании агентов землепользования (сельскохозяйственных производителей), решениями о внесении удобрений, а также других элементов используемой технологии в растениеводстве и менеджмента (Garrett et al., 2013; Kherad et al., 2013; Lobell et al., 2009). В целом понимание детерминант, определяющих и объясняющих различие в урожай-

ности сельскохозяйственных культур между различными хозяйствующими субъектами, может помочь выработать меры поддержки сельскохозяйственных производителей, осознать объективную необходимость консультативных услуг, направленных на повышение урожайности в регионе.

Россия особенно интересна в этом отношении, поскольку еще в период Российской империи и в советское время страна стала одним из крупнейших мировых производителей зерновых и пшеницы, в первую очередь, за счет использования больших площадей с плодородной почвой, таких как черноземы (Dronin, Bellinger, 2005; Prishchepov et al., 2020). Однако после распада Советского Союза Россия на короткое время стала импортером пшеницы из-за резкого снижения производительности в середине 1990-х гг. (Ennew, 1987; Liefert, Liefert, 2012). Тем не менее уже к 2008 г. Россия экспортировала 20 млн тонн пшеницы, что составило 13% от общего мирового экспорта (Götz et al., 2013; Trueblood, Arnade, 2001). Однако рост производства зерна был лишь частично связан с повышением эффективности производства и увеличением использования удобрений (Liefert, Liefert, 2017, 2012; Lioubimtseva, Henebry, 2012). Несмотря на постепенный рост, урожайность зерновых в странах бывшего Советского Союза и Российской Федерации до сих пор остается достаточно низкой и составляет лишь половину биофизического потенциала (Fischer et al., 2008; Mueller et al., 2012; Имитационная…, 2001; Schierhorn et al., 2014).

На сегодняшний день непосредственные причины низкой урожайности пшеницы в регионах России исследованы недостаточно. В некоторых исследованиях использовались модели роста сельскохозяйственных культур на основе учета биофизических процессов, но часто не в полной мере учитывающих непосредственные агрономические решения по возделыванию культур (Boogaard et al., 2013; Pavlova et al., 2014; Имитационная…, 2001; Schierhorn et al., 2014). Кроме того, применение эконометрических подходов часто опирается на данные официальной статистики, агрегированной на уровне районов и субъектов РФ. При таком подходе игнорируется пространственная изменчивость биофизических условий, а также различия в специфике управлении земельными ресурсами, характерные для субъектов РФ (Bokusheva et al., 2012; Bokusheva, Hockmann, 2006; Osborne, Trueblood, 2006). Детерминанты урожайности пшеницы исследовались в разных регионах мира (Ali, 1996; Banerjee et al., 2014; Mann, Warner, 2017; Tittonell et al., 2005). Однако научные работы, которые бы включали данные как на уровне хозяйствующего субъекта о принятии агрономических решений, так и данные о биофизических условиях определенной территории, практически отсутствуют для стран бывшего Советского Союза, включая РФ. Недостаточное понимание детерминант низкой урожайности сельскохозяйственных культур в РФ препятствует выработке управленческих решений и элемен-

тов аграрной политики, которые могли бы стимулировать рост урожайности пшеницы в перспективе.

Одна из территорий России, где наблюдается существенный «разрыв» между наблюдаемой и потенциальной урожайностью культур – Западная Сибирь, в частности Алтайский край (*рис. 1*). Алтайский край – зерновая житница Сибири, основной зернопроизводящий регион России за Уралом, с плодородными почвами (черноземы), которые хорошо подходят для возделывания пшеницы. С 2008 по 2012 г. Алтайский край лидировал среди других регионов России по площади земель сельскохозяйственного назначения и площади посева пшеницы в частности. При этом регион занимает лишь 67-е место по средней урожайности пшеницы (12 ц/га) (Боговиз и др., 2011; Регионы…, 2013). К сожалению, сельскохозяйственное производство в Алтайском крае «унаследовало» результаты экологически нерациональной сельскохозяйственной деятельности в прошлом. Так, почвы земель сельхозназначения в значительной степени деградированы, что является следствием масштабного расширения пахотных земель во время целинной кампании (1954–1963 гг.), запоздалой разработки и внедрения противоэрозионных мероприятий и технологий (Bischoff et al., 2016; Josephson et al., 2013; Climate…, 2007; McCauley, 1977), а также экономических потрясений после распада Советского Союза.

Следует отметить, что основная цель коммерчески ориентированных сельскохозяйственных производителей состоит в том, чтобы максимизировать прибыль от сельскохозяйственного производства, в частности, достичь максимально возможной отдачи при минимальных издержках производства (The Oxford…, 2014). С одной стороны, урожайность сельскохозяйственных культур и производительность в животноводстве оказывают значительное влияние на доходы фермеров. Однако увеличение урожайности и продуктивности животных, как правило, сопровождается и увеличением издержек. Так, существенную долю в структуре затрат предприятия занимают затраты на приобретение и внесение удобрений, средств защиты растений, топливо и энергию. Поэтому интенсификация производства необязательно может привести к увеличению конечных доходов предприятия. Таким образом, увеличение урожайности, будучи важным индикатором эффективности сельскохозяйственного производства, не является «синонимом» улучшения производительности, экономической устойчивости и конкурентоспособности сельскохозяйственного предприятия. В качестве меры конкурентоспособности и устойчивости сельскохозяйственных предприятий могут использоваться и другие индикаторы, как из перечня экономических показателей, так и субъективные оценки, отражающие личное удовлетворение сельскохозяйственного производителя результатами производственной дея-

тельности. Управление сельскохозяйственным производством, в частности ориентация на повышение урожайности культур и воспроизводство почвенного плодородия, зачастую конкурирует с задачами достижения большей прибыли, сокращения или экономии производственных затрат. Реализация производственных задач зависит от фактического финансового и технологического положения предприятия, сложившейся практики земледелия. Такие данные можно получить только в ходе интервью или опроса руководителей и менеджеров сельскохозяйственных предприятий, и эти данные не публикуются на уровне хозяйств в России.

В то же время анализ потенциальной урожайности зерновых и их разнородных детерминант является важной компонентой исследований о том, как уменьшить текущий «разрыв» между потенциальной и фактически получаемой урожайностью, обеспечить ее повышение в перспективе (Lobell et al., 2009; Van Ittersum et al., 2013). Анализ потенциальных потерь продуктивности культур в результате негативного влияния экзогенных (например, засуха) и эндогенных факторов (например, деградация почвы) может теоретически повлиять на решение менеджера предприятия о распределении затрат. При этом строгое соблюдение рекомендаций агрономической науки относительно технологии выращивания пшеницы, в частности соблюдение сроков сева, применение средств защиты растений (СЗР) и внесение удобрений, может снизить потери урожая в критические периоды и тем самым увеличить среднюю урожайность культуры (Lobell et al., 2009). Выявление детерминант урожайности культур могло бы позволить обнаружить препятствия ее повышения. Внедрение соответствующих элементов государственной аграрной политики будет способствовать увеличению сельскохозяйственного производства в целом в основных зернопроизводящих регионах России.

Основная цель работы – исследовать детерминанты урожайности пшеницы в Кулундинской степной зоне Алтайского края как одного из базовых зернопроизводящих регионов Западной Сибири. Методологически работа базируется на применении методов интеллектуального анализа данных, в частности байесовских сетей (БС), используемых для исследования взаимосвязей между переменными, которые определяют урожайность пшеницы. Сбор данных был выполнен посредством опроса и анкетирования сельскохозяйственных производителей, менеджеров и специалистов сельскохозяйственных предприятий в Алтайском крае. Анкета включала вопросы относительно масштабов деятельности предприятия, структуры земельного фонда, структуры посевных площадей, используемых сортов культур, севооборота, практики использования удобрений, средств защиты растений и практикуемые мероприятия по сохранению почвенного плодородия и накоплению влагозапаса. Также запрашивались данные о наличии основной

сельскохозяйственной техники (тракторы, комбайны) и посевных агрегатов. Оценка доступности рынков сбыта осуществлялась посредством оценки расстояний до ближайшего элеватора, районных центров и Барнаула, оценке подлежало и качество дорог на территории муниципального образования. Для оценки специфики менеджмента, практикуемого на предприятии, респонденту было предложено оценить субъективно приоритетность целей в развитии предприятия (максимизация прибыли, поддержание почвенного плодородия, создание рабочих мест и т. д.), исполнительность рабочих, востребованность краткосрочных кредитных средств для посевной и т. д. Контрольные вопросы в анализе включали данные о возрасте, образовании, опыте работы менеджера предприятия. На основе обзора литературы и результатов дискуссий, проводимых с сельскохозяйственными производителями и региональными экспертами, были установлены взаимосвязи между объясняющими переменными и урожайностью пшеницы. Применение технологии моделирования системы взаимосвязей в виде БС позволило разработать системную модель урожайности пшеницы. С привлечением экспертов разработаны сценарии альтернативных путей развития растениеводства в регионе и с помощью байесовской сети оценено ожидаемое изменение урожайности пшеницы в разработанных сценарных условиях.

2. ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

2.1. Территория исследования

Кулундинская степная зона (далее – Кулунда) расположена в юго-восточной части Западной Сибири и простирается от центра до юга Алтайского края (*рис. 1*). Климат в Кулунде континентальный, многолетняя средняя температура –18 °C в самый холодный месяц (январь) и +19 °C в самый теплый месяц (июль) (Interactive..., 2008). Число дней с температурой выше +5 °C колеблется от 153 в северной части до 173 в южной части Кулунды (*рис. 1*).

Климатические условия благоприятствуют выращиванию именно яровых культур (включая сорта яровой пшеницы), а не озимых, которые имеют в целом более низкую урожайность по сравнению с озимыми культурами (Дронин, 2014). Так, в 2012 г. около двух третей посевной площади Кулундинской степной зоны было засеяно яровой пшеницей (Боговиз и др., 2011; Регионы…, 2013). Частые засухи в Алтайском крае значительно снижают урожайность сельскохозяйственных культур и существенно повышают климатические риски для сельскохозяйственных производителей (Dronin, Bellinger, 2005; Kogan, Guo, 2014). В целом в Кулундинской степной зоне можно выделить три агроэкологические подзоны: 1) лесостепь, в которой средняя урожайность пшеницы с 1996 по 2011 г. составила 15 ц/га, 2) типич-

ная степь – с урожайностью 11 ц/га и 3) сухая степь с самой низкой средней урожайностью пшеницы – 8 ц/га (Понькина и др., 2014) (см. *рис. 1*).

В 2011 г. в Кулундинской степной зоне функционировало 576 сельскохозяйственных организаций, 1325 крестьянско-фермерских хозяйств (КФХ) и индивидуальных предпринимателей (ИП), основным товарным производством которых являлось производство пшеницы. На территории насчитывалось 228 тыс. личных подсобных хозяйств (ЛПХ), вносящих незначительный вклад в обработку сельхозземель и производство пшеницы (Ponkina et al., 2012). Примерно 34% сельскохозяйственных организаций и крестьянско-фермерских хозяйств выращивали пшеницу на менее чем 2000 га, 28% – на 2000–6000 га площади пашни и 38% – на более чем 6000 га, в среднем на одно предприятие. Официальная статистика показала, что численность комбайнов в хозяйствах края снизилась на 24% с 2008 по 2011 г. в Кулундинской степной зоне, а в некоторых Кулундинских районах сокращение комбайнов достигло 40% (Понькина и др., 2014). В результате в 2012 г. на 1000 га убранной площади было использовано лишь в среднем 1,6 комбайна (Понькина и др., 2014). Это значение существенно ниже среднего по России (2,6 комбайна / 1000 га), а также по сравнению с другими странами, где распространено производство пшеницы, например, 6,2 комбайна / 1000 га по данным статистического управления Канады (Agriculture…, 2011).

С 1990 по 2010 г. в Алтайском крае в большей части сельских районов наблюдалось снижение численности населения, в том числе в трудоспособном возрасте, а также молодежи; наблюдался отток квалифицированных кадров (Bednaříková et al., 2016). Сельское население распределено на территории региона неравномерно. В 2008 г. его плотность варьировалась от 19 до 3,3 жителя/км^2 (Ерёмин, Быков, 2011). В целом в Алтайском крае наблюдается тенденция сокращения числа сельских поселений и концентрации населения в крупных населенных пунктах. К 2009 г. примерно две трети сельского населения проживали в крупных населенных пунктах с численностью более 1000 человек. Распределение плотности населения полностью отражало агроклиматический градиент с менее густонаселенными районами, расположенными на менее подходящих землях для ведения сельского хозяйства (например, Угловский район, юго-западная часть Кулундинской степной зоны Алтайского края, на границе с Казахстаном).

2.2. Разработка анкеты и сбор данных

На основе обзора научных публикаций, исследующих потенциальные детерминанты урожайности пшеницы, были отобраны общие потенциальные показатели, в частности – агроэкологические параметры, общие социально-

экономические показатели сельхозтоваропроизводителей, характеристики управленческого звена сельскохозяйственных предприятий, структурные и масштабные характеристики предприятий, а также технологические и агрономические параметры технологии возделывания пшеницы (Gooding, Davies, 1997). В ходе выборочного посещения сельскохозяйственных предприятий был проведен предварительный тест анкеты, чтобы оценить правильное понимание вопросов и осуществить необходимую коррекцию. Важным являлось получение надежных и достоверных ответов на вопросы, в частности измерений по порядковым шкалам (в некоторых вопросах использовалась шкала Лайкерта), для последующего правильного включения переменных в модель. Для получения достоверных ответов и полноты заполнения анкет интервью и заполнение анкет проводилось интервьюерами в режиме «лицом к лицу – face-to-face» с менеджерами и специалистами сельхозпредприятий (респондентами). Во время специальных семинаров и полевых претестов были обучены интервьюеры, в основном аспиранты и студенты аграрных и социально-экономических специальностей из университетов Алтайского края.

Формирование выборки сельскохозяйственных предприятий выполнено рандомизированным методом. Этот список использовался в дальнейшем для адресации интервьюверов для сбора данных. Выбор предприятий выполнен с учетом их распределения по трем агроэкологическим подзонам Кулунды. Если потенциальный респондент отказывался от участия в опросе, выбирался следующий респондент из рандомизированного списка. Процент отказа от участия в анкетировании составил 40%. В среднем каждое интервью (с учетом заполнения анкеты) длилось 2–2,5 часа. Респонденты в основном руководители и менеджеры сельскохозяйственных предприятий. По результатам беседы каждый интервьюер заполнял оценочную форму, характеризующую общую эффективность интервью и надежность ответов респондента. В последующем анкеты с большим количеством недостающих данных и ненадежными ответами были исключены из выборки. В общей сложности было качественно заполнено 67 анкет, которые были включены в базу данных для последующего анализа.

На основе анализа данных собранных анкет были выделены наиболее важные вопросы, определяющие вариацию урожайности пшеницы, что позволило значительно сократить анкету. Анализ данных регулярного мониторинга, осуществляемого Главным управлением сельского хозяйства (ГУСХ) Алтайского края, позволил выявить совпадающие показатели с укороченной формой анкеты и дополнить базу данных еще 149 наблюдениями по данным за 2012 г. К сожалению, регулярный мониторинг ГУСХ не учитывает множество латентных факторов урожайности пшеницы, касающихся не

только стратегии принятия решений (цели в сельхозпроизводстве, оценки исполнительности рабочих, перспективные планы развития предприятия), но и множество факторов, обуславливающих выбор элементов технологии (субъективная оценка плодородия земли, проблем сохранения почвенного плодородия и т. д.). В связи с этим отсутствующие вопросы, представляющие большой интерес для формирования практики и стратегии развития регионального зернового подкомплекса, не были учтены в итоговой выборке.

Объем итоговой выборки составил 216 предприятий. В общей сложности обследованные предприятия составляли 11,4% от общей численности сельскохозяйственных предприятий в Кулундинской степной зоне и составили почти 30% (1,9 млн га) общей площади земель сельхозназначения в Кулунде (6,7 млн га). Средняя урожайность яровой пшеницы по результатам опроса составила 7,6 ц/га на 2012 г., что согласуется с официально опубликованной величиной по региону по данным Росстата – 7,7 ц/га.

2.3. Введение в байесовские сети доверия

Байесовская сеть, или байесовская сеть доверия (БС), представляет собой совместное распределение вероятностей множества случайных величин, причинные связи между которыми представлены в виде направленного ациклического графа (Direct Acyclic Graph – DAG) (Jensen, Nielsen, 2007; Pearl, 2009). DAG представляет собой графическую связанную структуру БС, содержит связи между случайными величинами (узлами сети) в виде направленных стрелок – дуг. Различают родительские и дочерние узлы. Дуги в виде стрелок обычно фиксируют связь вида «причина à следствие», но могут описывать связь или простое соотношение в терминах корреляции (Aguilera et al., 2011). Каждая случайная переменная обозначает атрибут объекта, функцию (действие) или гипотезу о случайном событии. Каждая случайная переменная имеет, как правило, дискретный набор состояний (state), образующих полную группу случайных событий. Так, случайная переменная, описывающая особенности технологии возделывания пшеницы – «Использование в процессе производства средств защиты растений – СЗР», имеет два дискретных исхода: «не использовалось» (нет – 0), «использовалось» (да – 1).

БС позволяет анализировать условные доверительные вероятности в каждом узле, отраженные в таблице условных вероятностей (Conditional Probability Table – CPT). CPT количественно определяет влияние причинных переменных (родительских узлов) на условные вероятности случайных событий в дочерних узлах.

Таким образом, БС состоит из качественной части сетевой структурной модели (DAG), представленной в графической форме, и количественной ча-

сти (CPT), отражающей реакции в дочерних узлах на изменение в причинных узлах сети. Математически БС описывает зависимости между условными вероятностями множества случайных переменных, которые рассчитываются в соответствии теоремой Байеса (Heckerman et al., 1995b; Pearl, 2009). В целом БС описывает совместное распределение вероятностей множества случайных величин, но для ее обучения достаточно вычислить лишь условные вероятности между родительскими и дочерними узлами, основываясь на теории вероятностей. Это значительно упрощает подготовку входящих данных для использования в БС (Pearl, 2009). БС могут использоваться для прогнозирования и диагностики состояния системы, оценки прямых и непрямых причинных эффектов (Uusitalo, 2007). Представление структуры БС модели в графическом виде облегчает процесс анализа и помогает вовлечь заинтересованные стороны в процесс обучения сети (региональных экспертов, специалистов и руководителей предприятий) (Sun, Müller, 2013). Результаты сравнительного анализа структурных причинных моделей (СПМ), реализованных в виде БС, с другими подходами моделирования (нейронные сети, логистические регрессий и т. д.) показали, что БС могут достигать высокой прогностической точности, избегая при этом переобучения модели (*overfit*), что порой свойственно методам машинного обучения (Heckerman et al., 1995a, Uusitalo, 2007). При этом БС могут эффективно использоваться и при небольших выборках и, что особенно важно, выборках с неполными наблюдениями (Hamilton et al., 2015). Наличие «пробелов» в наблюдениях приводит к значительному сокращению выборки или необходимости интерполирования данных при применении регрессионных моделей. Нейронная сеть требует большого набора данных, и, кроме того, интерпретация результатов моделирования, а именно связей между переменными, затруднена. В связи с этим БС представляются наиболее подходящий технологией анализа детерминант урожайности пшеницы в рамках данного исследования.

2.4. Обучение байесовской сети

На первом этапе на основе данных выборки формируется множество узлов сети и разрабатывается структура сети в виде DAG. Одним из методов является контролируемое структурное обучение, которое доступно в программном пакете Hugin (Madsen et al., 2005), где реализованы различные методы автоматического и полуавтоматического обучения структуры сети. Контролируемый подход обучения структуры сети объединяет методы интеллектуального анализа данных, учитывающих статистические отношения между переменными, и интуитивные методы, основанные на привлечении экспертов для оценки реалистичности и логичности обнаруженных статистически значимых связей.

Первый вариант БС был получен посредством методов автоматического обучения структуры, которая включала исключительно статистически значимые связи. Узлы сети связываются в зависимости от порогового значения вероятности того, что связь статистически незначима. В качестве такого порога использовалось p-value = 0,05. Первоначальная структура сети не отражала направленного влияния. Анализ и экспертиза полученной структуры подтверждают или опровергают гипотезы о найденных отношениях между переменными и их влиянии на моделируемый признак. По результатам экспертизы, структура сети была изменена вручную, выявлены и сформулированы дополнительные правила наличия / отсутствия связей между узлами. Кроме того, были добавлены новые причинно-следственные связи, даже когда статистическая связь оказалось слабой. Далее шаг структурного обучения повторяется с учетом новых правил. Полученная промежуточная структура сети была представлена региональным экспертам и заинтересованным лицам для очередного раунда экспертизы. Таким образом, процесс обучения структуры является итеративным и интерактивным. В итоге процесса мы получили окончательную версию структуры БС. При разработке структуры БС мы объединили преимущества машинного обучения с экспертными знаниями и качественной информацией, собранной во время интервью с фокус-группой региональных экспертов и сельскохозяйственных производителей.

Вторым этапом обучения БС является обучение таблицы условных вероятностей (CPT) для каждого узла, что было выполнено на основе EM-алгоритма (Expectation-Maximization, EM) в программном пакете Netica (Netica…, 2015). CPT являются результатом вероятностной классификации объектов на основе оценки условных вероятностей между дочерним узлом и его родительскими узлами. В целом в модели были задействованы переменные, увеличивающие точность классификации предприятий по рангам урожайности. После нескольких итераций обучения итоговая БС содержала меньше переменных, чем первоначальный вариант.

Пакеты Hugin и Netica функционально хорошо дополняют друг друга. Так, Hugin предлагает более гибкие и мощные возможности структурного обучения по сравнению с Netica, а Netica имеет более гибкий интерфейс и более удобную визуализацию модели.

2.5. Выбор переменных и их дискретизация

Полученная БС описывает вариацию урожайности пшеницы в 2012 г. в Алтайском крае на основе данных опроса, а также ряда переменных, описывающих агроэкологические условия производства в месте расположения предприятия (рассчитаны в ArcGIS). В качестве целевого узла выступила

урожайность пшеницы (ц/га) в 2012 г. Переменные, которые вошли в итоговую модель, включают:

- параметры агроэкологических условий производства (степень деградации почв, сумма осадков, степень засушливости климата);
- возраст и образование менеджера сельскохозяйственного предприятия;
- структурные характеристики предприятий (специализация производства, посевная площадь, доля пшеницы в структуре посевов);
- элементы агротехнологии (внесение удобрений, применение средств защиты растений, следование севообороту, доля паров от общей площади пашни);
- технические возможности предприятия (наличие новых комбайнов, тракторов и посевных агрегатов);
- параметры экономического состояния хозяйства (потребность в привлечении кредитных средств для проведения сезонных работ).

Полный перечень параметров и результат их дискретизации приведены в таблицах 1, 2.

2012 г. явился засушливым, со значительным падением урожайности всех культур. Большая часть фермеров получила компенсации из федерального и регионального бюджетов, а также страховые выплаты по программам страхования урожайности. Исследование распределения урожайности пшеницы в засушливый период более четко проявляет «проблемные моменты» в агротехнологии и возможности местных фермеров справиться с такой ситуацией, черты практик хозяйствования, дающих позитивный результат даже в таких критических условиях.

Одним из аспектов разработки БС является возможность дискретизации переменных, т. е. преобразования переменных, измеренных по метрической шкале, в категориальные, в свою очередь, измеренных по порядковой шкале. Дискретизация предполагает выбор количества категорий и их пороговых (граничных) значений. Существует множество методов дискретизации переменных (например, метод равных интервалов, квантилей, метод естественных интервалов и т. д.). Понимание свойств переменной должно давать возможность качественной экспертной дискретизации, особенно выбора пороговых значений. Поскольку единого оптимального метода дискретизации нет, мы использовали смешанный подход, основанный на анализе результатов дескриптивной статистики, привлечении экспертных оценок и результатов уже проведенных научных исследований (см. *табл. 2*).

Так, переменная, отражающая образование респондента, оказывающее влияние на решения в области структуры использования земельных ресурсов и агрономических решений, была преобразована в бинарную перемен-

Таблица 1

Описание переменных – узлов БС

Наименование переменной	Группа	Описание	Шкала	Источник
Урожайность пшеницы (2012 г.)	Исследуемая переменная	Урожайность пшеницы в 2012 г., ц/га	0–5; 5–10; > 10	Результаты опроса
Средняя урожайность пшеницы	Агроэкологические характеристики	Средняя урожайность пшеницы за период 2008–2011 гг., ц/га	0–5; 5–10; >10	Результаты опроса
Степень засушливости климата	Агроэкологические характеристики	Степень засушливости климата, оценка на основе гидротермического коэффициента увлажнения Селянинова (ГТК)	1 – высокая; 2 – средняя; 3 – низкая; 4 – не засушливый климат	Interactive…, 2008
Сумма осадков (2012 г.)	Агроэкологические характеристики	Сумма выпавших осадков (январь – декабрь) в 2012 г., мм	170–210; 210–300; 300–405	Menne et al., 2012
Деградация почв	Агроэкологические характеристики	Оценка степени деградации почв	Высокая / значительная; средняя; низкая / незначительная	Парамонов, Ишутин, 2003
Аграрное образование	Персональные характеристики	Имеет ли специальное аграрное образование менеджер хозяйства?	Да; нет	Результаты опроса
Возраст управляющего	Персональные характеристики	Возраст руководителя предприятия, лет	20–50; 50–60; > 60	Результаты опроса
Доля пшеницы	Структурные характеристики	Доля пшеницы в структуре посевных площадей	< 0,36; 0,36–0,49; > 0,49	Результаты опроса
Площадь посева (2012 г.)	Структурные характеристики	Общая посевная площадь в 2012 г., га	< 3000; 3000–9000; > 9000	Результаты опроса
Специализация производства	Структурные характеристики	Доля выручки от реализации продукции растениеводства в общем объеме	< 0,5 – преобладает животноводческая специализация > = 0,5 – преобладает растениеводческая специализация	Результаты опроса
Новый посевной агрегат	Технология производства	Использует ли хозяйство новые (не старше 5 лет) посевные агрегаты или посевные комплексы в технологии возделывания пшеницы?	Да; нет	Результаты опроса
Новый комбайн	Технология производства	Использует ли хозяйство новые (не старше 5 лет) зерноуборочные комбайны в технологии возделывания пшеницы?	Да; нет	Результаты опроса

Наименование переменной	Группа	Описание	Шкала	Источник
Новый трактор	Технология производства	Использует ли хозяйство новые (не старше 5 лет) тракторы в технологии возделывания пшеницы?	Да; нет	Результаты опроса
Севооборот	Технология производства	Практикуется ли чередование культур или следование некоторому севообороту в земледелии?	Да; нет	Результаты опроса
Доля паров	Технология производства	Доля пашни, занятая парами	< 0,12; > = 0,12	Результаты опроса, Система…, 1981
Удобрения (2012 г.)	Технология производства	Вносились ли удобрения (органические или минеральные) в 2012 г. в технологии возделывания пшеницы?	Да; нет	Результаты опроса
СЗР (2012 г.)	Технология производства	Применялись ли СЗР в технологии возделывания пшеницы в 2012 г.?	Да; нет	Результаты опроса
Потребность в кредитах	Экономическая устойчивость предприятия	Оцените, какова потребность предприятия в привлечении краткосрочных кредитных средств для проведения сезонных полевых работ	Отсутствует; низкая; высокая	Результаты опроса

Источник: разработка авторов.

ную (наличие специального сельскохозяйственного образования, включая высшее профессиональное образование, среднее специальное образование (колледж, техникум) с вариантами «да» и «нет»).

Таблица 2

Описательная статистика для выбранных переменных БС

Переменная (узел)	Шкала	Априорные вероятности	Среднее	Стандартное отклонение	Метод дискретизации
Урожайность пшеницы (2012 г.)	Низкая (< 5 ц/га)	37,9	7,6	5,4	Экспертная оценка
	Средняя (5–10 ц/га)	37,4			
	Высокая (> 10 ц/га)	24,7			
Средняя урожайность пшеницы	Низкая (< 5 ц/га)	22,3	10,5	6,8	Экспертная оценка
	Средняя (5–10 ц/га)	43			
	Высокая (> 10 ц/га)	34,7			
Степень засушливости климата	Высокая	25,8			Экспертная оценка
	Средняя	41,3	2,2	0,97	
	Низкая	19,9			
	Засушливость не наблюдается	13			
Сумма осадков (2012 г.)	Ниже среднего (170–210 мм)	30,6	260	65	Экспертная оценка
	Среднее (210–300 мм)	44			
	Выше среднего (300–405 мм)	25,4			
Деградация почв	Высокая	13,7	2,1	0,58	Экспертная оценка
	Средняя	65,7			
	Низкая	20,6			
Аграрное образование	Да	65	0,65	0,48	Экспертная оценка
	Нет	35			
Возраст управляющего	20–50 лет – постсоветское поколение	30,4	51,8	11	Экспертная оценка
	50–60 лет – подготовленные еще в советский период	48,1			
	> 60 лет – пенсионер	21,5			
Специализация производства	< 0,5 – преимущественно животноводство	46,2	0,52	0,29	Экспертная оценка
	0,5–1 – преимущественно растениеводство	53,8			
Площадь посева (2012 г.)	< 3000 га – малые хозяйства	30,4	6390	4300	Экспертная оценка
	3000–9000 га – средние	40,4			
	> 9000 га – крупные	29,3			

Переменная (узел)	Шкала	Априорные вероятности	Среднее	Стандартное отклонение	Метод дискретизации
Доля пшеницы	< 0,36 – незначительная роль пшеницы в товарном производстве	31,8	0,46	0,25	Экспертная оценка
	0,36–0,49 – средняя роль пшеницы	34,0			
	0,49–1 – значительная роль пшеницы, склонность к монокультуре	34,2			
Новый посевной агрегат	Да	55,2	0,552	0,5	Логический
	Нет	44,8			
Новый комбайн	Да	55,6	0,556	0,5	Логический
	Нет	44,4			
Новый трактор	Да	57,5	0,575	0,5	Логический
	Нет	42,5			
Севооборот	Да	60,4	0,604	0,5	Логический
	Нет	39,6			
Доля паров	< 0,12 – ниже среднего	51,7	0,302	0,3	Экспертная оценка
	0,12 – 1 – выше среднего и высокая	48,3			
Удобрения (2012 г.)	Да	32,2	0,322	0,47	Логический
	Нет	67,8			
СЗР (2012 г.)	Да	66,5	0,665	0,47	Логический
	Нет	33,5			
Потребность в кредитах	Отсутствует	25,4	1,09	0,77	Экспертная оценка
	Есть, но незначительная	40,5			
	Высокая зависимость	34,1			

Источник: расчеты авторов.

В ходе дискретизации переменная «Возраст управляющего (лет)» была разбита на три возрастные группы: 1) постсоветское поколение (20–50 лет), 2) поколение советской эпохи (50–60 лет) и 3) пенсионеры (> 60 лет). Анализ связей показал, что образование менеджеров сельскохозяйственных предприятий связано с возрастной группой и в целом может влиять опосредованно на решения относительно технологии производства пшеницы и землепользование. Анализ данных показал, что большинство руководителей сельхозпредприятий получили образование еще в советское время, они имеют богатый опыт возделывания пшеницы в Алтайском крае, как правило, хорошо знают условия и факторы производства. Такая категория менеджеров старается строго следовать технологии (соблюдать сроки сева,

вносить удобрения и применять СЗР, соблюдать севооборот), по сравнению с сельскохозяйственными производителями других возрастных категорий и не имеющими аграрного образования. Однако руководители хозяйства, достигшие пенсионного возраста часто менее склонны к внедрению новых технологий и инноваций. Сельскохозяйственные производители, получившие образование накануне распада СССР или чуть позже, более склонны к внедрению новейших технологий в связи с большей предприимчивостью и склонностью риску. Однако следует отметить, что молодые сельскохозяйственные производители чаще не имеют аграрного образования вообще.

Масштаб хозяйства играет важную роль в практике землепользования и возможностях развития производства. Так, крупные предприятия, обладающие большими площадями земель сельхозназначения, имеют больше возможностей в привлечении инвестиций на приобретение новой сельскохозяйственной техники и оборудования. Анализ собранных данных явно выявляет дифференциацию технической обеспеченности предприятий по масштабному фактору. Сравнивая вероятности обнаружения нового трактора, комбайна или посевного агрегата в малом хозяйстве, что, в свою очередь, может способствовать повышению урожайности пшеницы в целом, обнаруживаются значительные различия с уровнем обеспеченности техникой крупных предприятий. В связи с этим предприятия были разделены на три группы по величине посевных площадей: 1) малые хозяйства (менее 3000 га), 2) средние (3000–9000 га) и 3) крупные (более 9000 га). Эти три группы агентов землепользования могут придерживаться различных производственных стратегий и иметь различный доступ к производственным факторам, таким как земля, капитал и трудовые ресурсы. Крупные предприятия могут представлять региональные агрохолдинги, которые часто имеют вертикально интегрированные цепочки поставок и переработки сельскохозяйственной продукции, поставок удобрений, ГСМ и сельскохозяйственной техники и могут привлекать инвестиции от банков и акционеров (Nefedova, 2016; Visser et al., 2012).

Важным фактором урожайности пшеницы является специализация производства, которая косвенно характеризуется долей выручки от продажи продукции растениеводства в общем объеме (более 50% – основная специализация «растениеводство», менее или равно 50% – другая). В ходе работы проверялось предположение о том, что если растениеводство является основной специализацией, то сельскохозяйственные производители с большей вероятностью стремятся увеличить урожайность пшеницы, а предприятия животноводческой специализации имеют меньшую мотивацию для повышения урожайности пшеницы, особенно когда пшеница идет на фураж – корм скоту. Поэтому мы дискретизовали переменную «Доля пшеницы» на

три категории: 1) незначительная роль пшеницы в производстве (< 36%), 2) высокая роль пшеницы и сочетания других культур (36–49%) и 3) основная специализация в производстве пшеницы (> 49%). Последняя группа чаще всего характерна для предприятий, практикующих производство монокультур.

Агроэкологические факторы в значительной степени определяют среднюю урожайность пшеницы за пять лет и определяют возможность достижения более высоких урожаев. Эти факторы включают оценку деградации почв (Парамонов, Ишутин, 2003) и степени засушливости (аридности) климата, представленной гидротермическим коэффициентом Сельянинова (ГТК) (Interactive…, 2008) и суммой осадков (Menne et al., 2012), классифицированной на три группы. Анализ показал, что в районах с неблагоприятными агроклиматическими и почвенными условиями сельскохозяйственные производители в меньшей степени склонны к применению удобрений и средств защиты растений.

2.6. Валидация модели и оценка чувствительности

Оценка качества БС была выполнена с привлечением экспертов, включала визуальную ревизию структуры DAG. Также была проведена количественная оценка точности классификации объектов по выделенным классам урожайности пшеницы с использованием кроссвалидации. Набор данных был разбит на обучающую и тестовую подвыборки. Результаты кроссвалидации позволили построить матрицу ошибок и вычислить среднюю ошибку классификации.

Тестирование на отсутствие статистических связей позволило оценить силу связей между узлами. Поскольку каждый узел описан набором дискретных состояний, мы выполнили попарное тестирование гипотез о независимости переменных (альфа = 0,05) в пакете HuginTM, используя модуль *Feature Selection Analyzer* (*табл. 3*)[1]. Также был выполнен тест чувствительности целевого узла (урожайности пшеницы в 2012 г.) к изменению состояний всех других переменных в модели.

2.7. Оценка урожайности пшеницы в различных сценарных условиях

Анализ изменений ожидаемой величины урожайности пшеницы выполнен для различных сценариев, отображающих граничные состояния

[1] В ходе проверки гипотезы об условной независимости случайных переменных используется критерий Хи-квадрат. Полученное p-value характеризует вероятность условной независимости двух дискретных случайных величин. Значение p-value меньше, чем доверительная вероятность a = 0,1; 0,05 или 0,01, указывает на зависимость (коллинеарность) пары переменных. Таким образом, наиболее тесная связь между случайными переменными характеризуется более близким значением p-value к нулю.

Таблица 3

Оценки p-value (вероятности) условной независимости случайных переменных БС. Результаты попарной оценки статистической значимости связей между выбранными переменными (узлами) БС (p-value=0,05)

Переменная		x1	x2	x3	x4	x5	x6	x7	x8	x9	x10	x11	x12	x13	x14	x15	x16	x17	x18
Урожайность пшеницы (2012 г.)	x1	–																	
Средняя урожайность пшеницы	x2	**0,00**	–																
Удобрения (2012 г.)	x3	**0,04**	**0,00**	–															
Площадь посева (2012 г.)	x4	0,10	0,41	0,10	–														
Специализация производства	x5	**0,00**	0,13	0,70	**0,00**	–													
Сумма осадков (2012 г.)	x6	**0,00**	**0,00**	0,10	0,39	0,88	–												
СЗР (2012 г.)	x7	**0,00**	**0,00**	0,13	**0,02**	0,35	**0,02**	–											
Степень засушливости климата	x8	0,32	**0,02**	0,27	0,09	0,07	**0,00**	0,19	–										
Доля паров	x9	**0,00**	**0,01**	0,13	**0,01**	**0,00**	**0,01**	0,93	0,23	–									
Потребность в кредитах	x10	0,93	0,16	0,14	**0,00**	0,62	0,92	0,46	0,17	0,48	–								
Новый комбайн	x11	0,28	0,10	**0,00**	**0,00**	0,27	0,62	**0,01**	0,73	0,20	0,08	–							
Новый трактор	x12	0,21	**0,00**	0,05	**0,01**	0,55	0,60	**0,03**	0,73	**0,00**	0,30	**0,00**	–						
Новый посевной агрегат	x13	0,14	**0,02**	0,10	**0,00**	0,75	0,84	**0,04**	**0,01**	0,06	**0,01**	**0,00**	**0,00**	–					
Доля пшеницы	x14	0,16	0,48	0,07	**0,00**	**0,00**	0,07	0,05	**0,00**	0,79	0,05	0,14	0,54	0,26	–				
Деградация почвы	x15	0,15	**0,02**	0,19	0,05	0,76	**0,00**	0,08	**0,00**	0,34	0,56	0,28	0,30	**0,02**	0,62	–			
Севооборот	x16	0,30	0,26	0,66	0,60	0,05	0,60	0,06	0,07	0,93	0,97	0,22	0,54	0,08	0,37	0,24	–		
Аграрное образование	x17	0,26	0,07	0,18	**0,00**	0,77	0,24	0,05	0,29	0,87	0,94	**0,03**	**0,02**	0,53	**0,03**	0,07	0,31	–	
Возраст управляющего	x18	0,98	0,63	0,36	0,57	0,35	0,43	0,43	0,09	0,49	0,50	0,99	0,16	0,69	0,65	0,93	0,41	**0,00**	–

Примечание. В таблице А2 приводятся результаты вычисления p-value между парами дискретных переменных, отобранных для построения БС. Следует отметить, что подобный анализ не дает возможность установить, являются такие взаимосвязи между переменными положительными или отрицательными. Однако результат дает информацию о том, какие взаимосвязи стоит включить в БС. Идентификация статистически значимых отношений между дискредитированными переменными позволяет построить предварительную структуру БС, которая в дальнейшем подвергается экспертизе. Использование FSA зачастую позволяет выявлять новые, ранее неисследованные связи.

Жирным шрифтом выделены значения, удовлетворяющие p-value<0,05 и описывающие статистически значимые взаимосвязи в БС.

Источник: расчеты авторов.

внешней среды (Alcamo, 2001). Разработка сценариев заключалась в выборе из множества качественных «сюжетных линий» вариантов, полезных для описания потенциальных изменений в неопределенных и непредсказуемых ситуациях, в частности, экономические условия или изменение климата (Peterson et al., 2003). Разработка сценариев является ценным подходом анализа неопределенности, связанной с развитием событий в будущем (Carpenter et al., 2006; Special…, 2000; Mallampalli et al., 2016).

В случае Кулундинской степной зоны в анализе использованы четыре сценария: «Экономически неблагоприятные условия», «Экономически благоприятные условия», «Меньше осадков» и «Больше осадков» (*табл. 4*). Сюжетные линии, связанные с каждым сценарием, были получены в ходе однодневного рабочего семинара в 2013 г. с участием лиц, принимающих решения, ученых, а также во время отдельного однодневного семинара с сельскохозяйственными производителями. В рамках семинаров обсуждались ожидаемые последствия в области сельского хозяйства и производства пшеницы в случае следования тем или иным сюжетным линиям.

Сценарий № 1 – «Экономически неблагоприятные условия» – предполагает увеличение стоимости и, соответственно, расходов на приобретение новой сельскохозяйственной техники, цен на удобрения и средства защиты растений. В частности, экономическая ситуация, наблюдавшаяся в 2014–2016 гг., девальвация российского рубля, сопровождавшаяся увеличением процентных ставок по кредитам и повышением стоимости инвестиций, схожа с кризисным сценарием. Повышение цен на ресурсы и сельхозтехнику и их долгосрочное удержание без сопровождения роста цен на товарную продукцию ожидаемо приведет к сокращению использования удобрений и средств защиты растений, отказу от приобретения нового оборудования и сельхозтехники. Таким образом, общий экономический климат, дефицит бюджетных средств ожидаемо подтолкнул бы правительство к сокращению субсидий сельскому хозяйству в целом и растениеводству в частности. Очевидно, что сельскохозяйственное производство в таких условиях развивалось бы по экстенсивному типу и, соответственно, урожайность бы не росла.

Сценарий № 2 – «Экономически благоприятные условия» – предполагает благоприятную экономическую среду развития сельского хозяйства, сопровождающуюся увеличением прибыли, доступностью инвестиций и, соответственно, более интенсивным освоением инвестиций, приобретением техники и оборудования, доступностью основных ресурсов в производстве (удобрения и гербициды). Общий благоприятный экономический климат может стимулировать правительство к увеличению расходов на развитие сельхозпроизводства и его субсидирование.

Сценарий № 3 – «Меньше осадков» – включает уменьшение суммы годовых осадков на 25% (с 256 мм до 190 мм для Кулунды) в соответствии с прогнозами Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды России (Second…, 2014), что также соответствует сценариям Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИ, IPCC).

Сценарий № 4 – «Больше осадков» – предполагает положительные тенденции изменения климата с 35%-ным увеличением осадков (с 256 до 320 мм для Кулунды), что соответствует верхней границе сценариев МГЭИК.

Таблица 4

Сценарии

Параметр	Сценарий № 1 – «Экономически неблагоприятные условия»	Сценарий № 2 – «Экономически благоприятные условия»	Сценарий № 3 – «Меньше осадков»			Сценарий № 4 – «Больше осадков»		
			Базовый № 3	3.1	3.2	Базовый № 4	4.1	4.2
Экономическая ситуация	Кризис	Подъем	Бизнес как обычно	Кризис	Подъем	Бизнес как обычно	Кризис	Подъем
Климатические изменения	Бизнес как обычно	Бизнес как обычно	Негативное	Негативное	Негативное	Позитивное	Позитивное	Позитивное

Источник: разработка авторов.

Очевидно, что сюжетные линии сценариев могут иметь пересечение, поэтому были разработаны варианты сценариев благоприятного и неблагоприятного изменений климата (№ 3 и № 4) для различных вариантов экономических условий: сценарии № 1 и № 2. Пересечение сценариев описывается вариантами № 3.1, 4.1 и № 3.2, 4.2. Дополнительные сценарии позволили получить нижние и верхние оценки урожайности пшеницы. Для перевода качественных сценариев в количественные оценки мы использовали обученные БС (Mallampalli et al., 2016). Моделирование сценарных условий осуществлялось посредством выбора соответствующих сценарию параметров в модели и оценки ожидаемых последствий по величине урожайности пшеницы другим параметрам (*табл. 4*).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

3.1. Байесовская сеть

Конечная сеть содержит 17 переменных и целевую переменную «Урожайность пшеницы (2012 г.)» (*рис. 2*). Анализ связей показал, что уро-

жайность пшеницы в 2012 г. напрямую зависит от средней четырехлетней урожайности культуры в предшествующий период. Множество переменных, имеющих прямую связь с целевым узлом, включает (2012 г.): «Сумма осадков» (мм), «Площадь посева» (га), «Доля пшеницы в посевной площади», «Специализация производства» (растениеводство / другое), «Удобрения» – внесение (да / нет) и «Средства защиты растений» – применение (да / нет).

Средняя четырехлетняя урожайность пшеницы зависит в БС от долгосрочных агрономических решений (следование севообороту (да / нет), доля паров (%), специализация производства), масштабов деятельности и параметров естественной пригодности территории (степень засушливости климата и степень деградации почвы). При этом средняя урожайность явилась определяющим фактором применения СЗР и удобрений.

Переменные возраст и образование менеджера сельскохозяйственного предприятия определяют вариацию в узлах «Доля пшеницы» и фактов применения средств защиты растений в 2012 г. Например, четко прослеживаются связи:

Возраст управляющего → Аграрное образование → Доля пшеницы →
→ Урожайность пшеницы (2012 г.)
Возраст управляющего → Аграрное образование → СЗР (2012 г.) →
→ Урожайность пшеницы (2012 г.)

Наличие новой современной техники и оборудования оказывает положительное влияние на ожидаемую урожайность пшеницы в 2012 г., определяя в значительной степени обрабатываемые площади земли (*рис. 2*).

На рисунке 2 показана БС с начальными, априорными вероятностями случайных событий отобранных переменных, основные из них:

- только 24,7% сельскохозяйственных предприятий имели урожайность более 10 ц/га в 2012 г., а 38% хозяйств получили урожайность менее 5 ц/га;
- 67% обследованных предприятий ведет производство в условиях средней и высокой засушливости климата;
- 79% предприятий располагаются на территориях со средней и высокой степенью деградации сельхозугодий;
- 40% хозяйств представляют средние по масштабам деятельности предприятия (3000–9000 га);
- более 42% опрошенных сельхозтоваропроизводителей не имели в распоряжении на момент опроса новые тракторы, комбайны и посевные агрегаты (возрастом не старше пяти лет), часто полагались исключительно на старую сельскохозяйственную технику, еще советского периода;

- 60% опрошенных соблюдали севооборот;
- 66,5% применяли средства защиты растений в ходе сезона 2012 г.;
- только 32,2% опрошенных вносили удобрения в 2012 г.;
- 34,2% всех опрошенных в структуре посевных площадей имели долю пшеницы, превышающую рекомендуемые нормы, соответствующие уровню восстановления плодородия почв в Кулундинской степной зоне (Система…, 1981);
- 74% сельскохозяйственных предприятий испытывали потребность в привлечении кредитных средств для проведения посевной кампании в 2012 г., и около половины из них испытывали острую необходимость в кредитах.

Около 35% руководителей сельскохозяйственных предприятий не имели специального аграрного образования.

3.2. Валидация модели и анализ чувствительности

В ходе оценки адекватности модели была выполнена десятикратная перекрестная проверка финальной версии байесовской модели. Сохранив 80% данных для обучения CPT, оставшиеся 20% наблюдений (контрольная выборка) использовались для оценки точности классификации. При этом основным узлом в тестировании является «Урожайность пшеницы (2012 г.)». Полученная матрица ошибок показала, что средняя ошибка классификации составляет 14,4%. Средняя ошибка классификации объектов в узле «Средняя урожайность пшеницы» значительно ниже и составила 8%.

Анализ чувствительности вариации ожидаемого значения в целевом узле к изменению состояний в других связанных узлах показал вклад каждой переменной (значимость фактора) в объяснении дисперсии урожайности пшеницы в 2012 г. На рисунке 3 показаны результаты анализа чувствительности по узлам сети, отсортированные в порядке убывания их значимости. Сочетание агроэкологических факторов, технологических и структурных характеристик хозяйства в большей степени объясняет вариацию урожайности пшеницы в 2012 г. Переменная «Средняя урожайность пшеницы» за 2008–2011 гг. объясняет 41% общей вариации урожайности пшеницы в 2012 г. Вторым по значимости фактором выступил факт внесения удобрений (минеральных или органических). Это демонстрирует то, что даже в условиях засухи 2012 г. питание растений ввиду деградации почвенных ресурсов и недостаточного воспроизводства почвенного плодородия играет решающую роль в повышении продуктивности культуры. Третий и четвертый по значимости факторы – посевная площадь, характеризующая масштаб хозяйства, и косвенно возможности интенсивного развития и специализация предприятия. Сумма осадков в 2012 г. является важным фактором, но далеко не первым в приоритете (*рис. 3*).

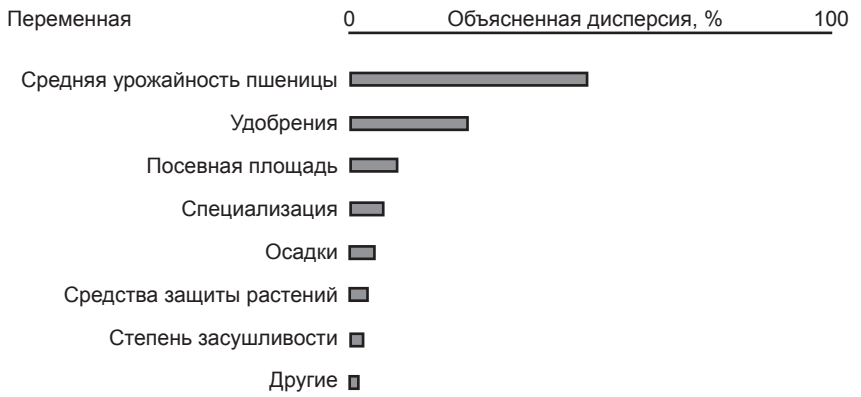

Рис. 3. Тест на чувствительность модели
Источник: вычисления авторов.

3.3. Оценка урожайности пшеницы при различных сценариях

Оценки последствий реализации сценария № 1 – «Экономически неблагоприятные условия» – показали, что ожидаемая средняя посевная площадь в расчете на одно хозяйство уменьшится с 6390 до 2500 га (*рис. 4*), т. е. произойдет сокращение размеров предприятий. В целом урожайность пшеницы ввиду экстенсивности технологий снизится с 7,6±5,3 (базовая урожайность, без учета сценарных условий) до 6,4±5,3 ц / га. Доля сельскохозяйственных предприятий, которые будут привлекать кредиты для формирования оборотного капитала, снизится с 74,6 до 56% ввиду удорожания их стоимости (см. *рис. 4*). В масштабах региона реализация сценария приведет к банкротству экономически неэффективных предприятий и частичному забрасыванию сельскохозяйственных земель.

В соответствии со сценарием № 2 – «Экономически благоприятные условия» – средняя посевная площадь в хозяйствах увеличится с 6390 до 9200 га, что, возможно, повлечет в масштабах региона вовлечение в оборот ранее заброшенных земель за счет укрупнения предприятий. Сельскохозяйственные предприятия будут использовать кредиты более активно, практиковать более интенсивное производство. Ожидаемо улучшение технического обеспечения, внесение удобрений и применение средств защиты растений, что приведет к более технологичному сельскому хозяйству, увеличивая урожайность даже в засушливых условиях 2012 г. до 8,4±5,5ц/га.

Реализация сценария № 3 – «Меньше осадков» – в виде сокращения суммы осадков негативно отразится на урожайности, снизив ее с 7,6±5,3 до 7,1±5,4 ц/га. Сочетание сценария № 3 со сценарием экономического кризиса приведет к еще более глубокому снижению урожайности – до 5,3±4,9 ц/га

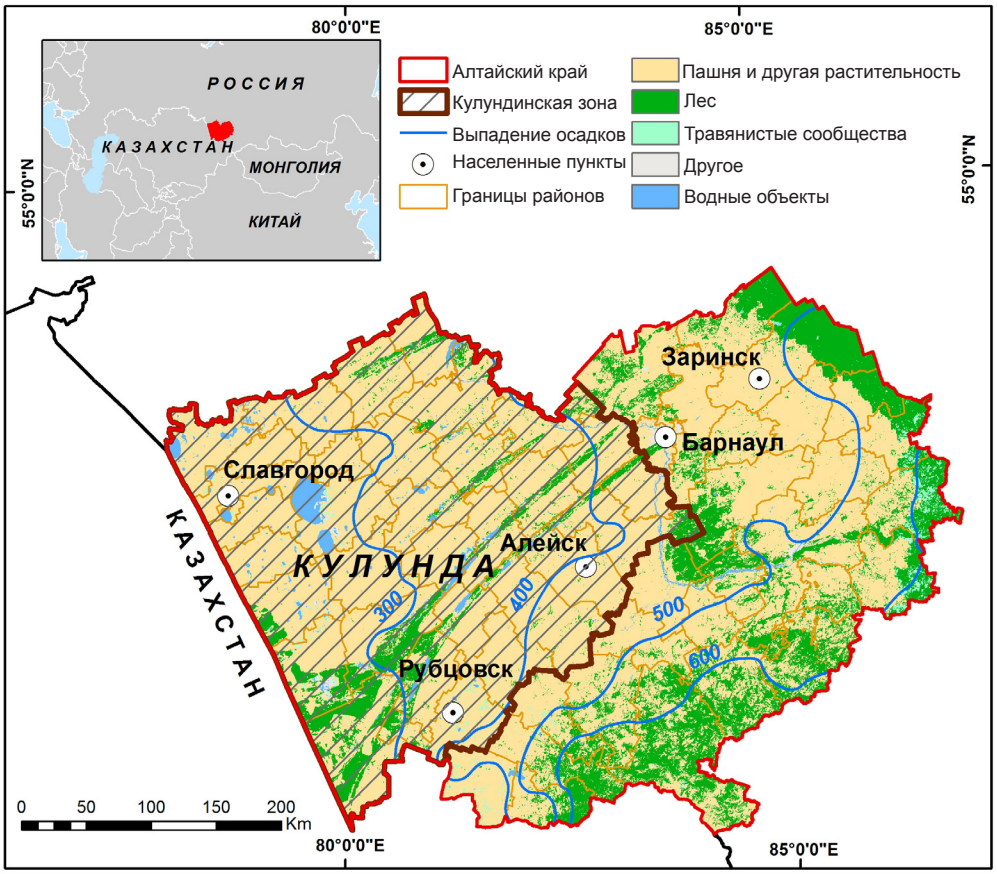

Рис. 1. Территория исследования, Алтайский край, Западная Сибирь, Россия

Источники: Земной покров Globcover 2009 product v.2.3 (Globcover, 2011), выпадение осадков (Interactive..., 2008).

Сценарии

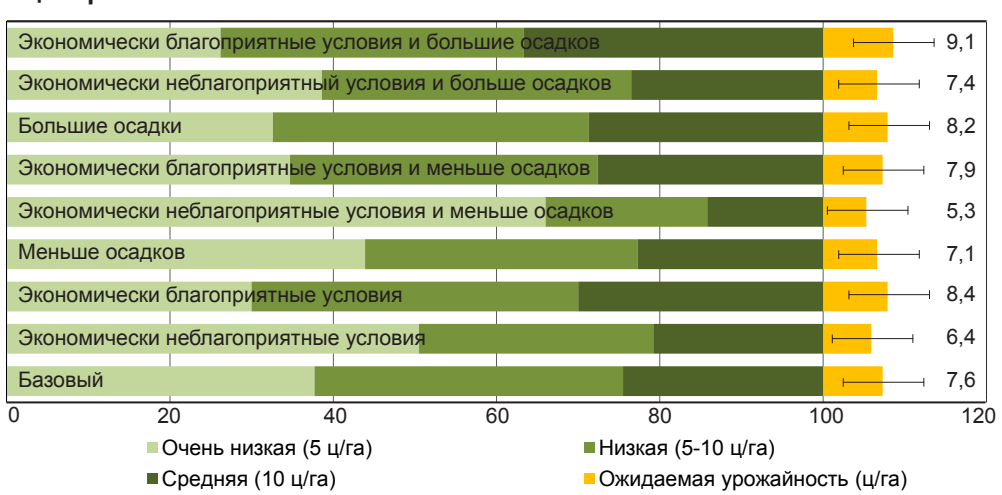

Рис. 4. Оценки ожидаемой урожайности пшеницы в различных сценарных условиях, зона Кулундинской равнины, Алтайский край, Россия

Источник: вычисления авторов.

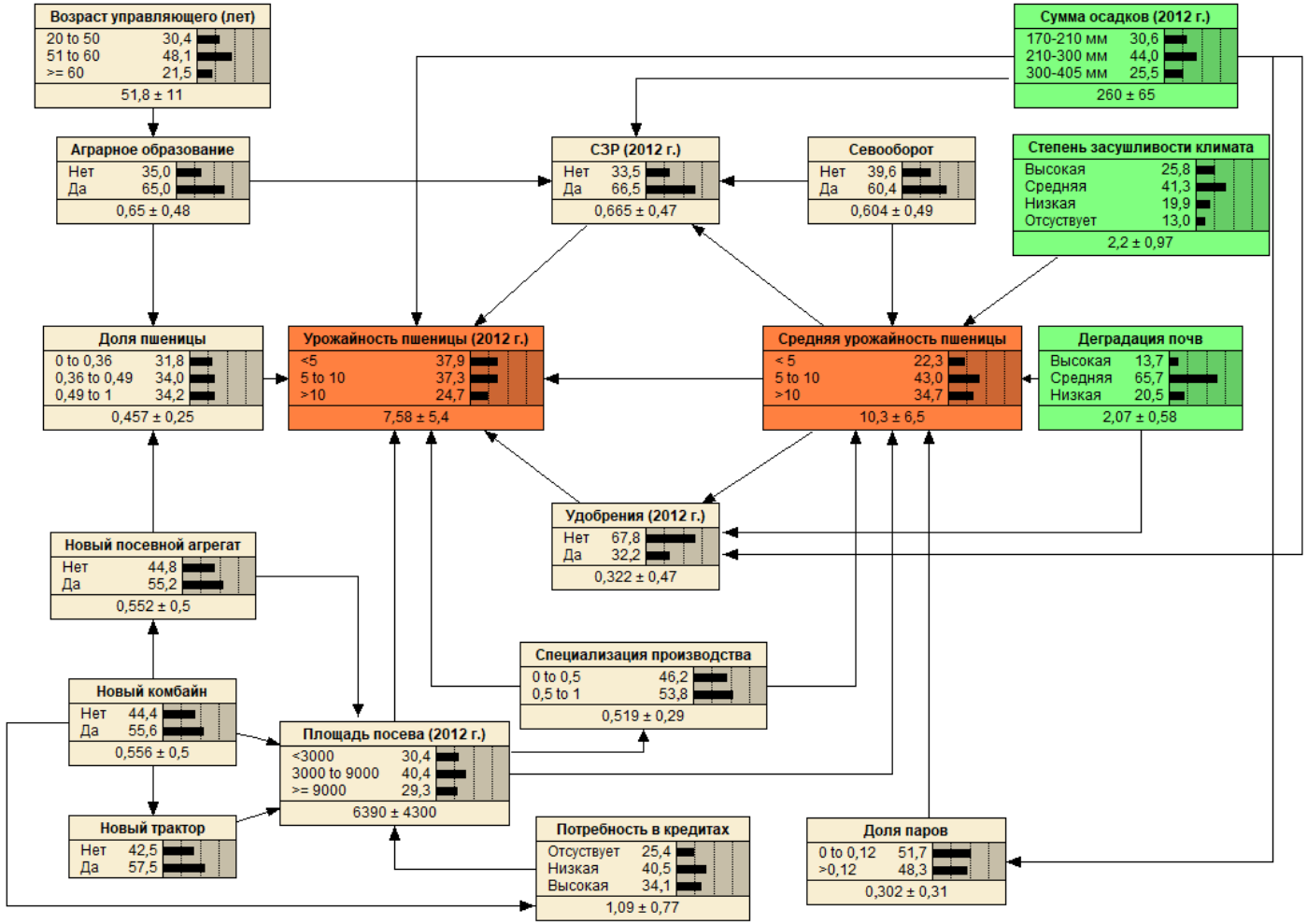

Рис. 2. Байесовская сеть детерминант урожайности пшеницы, зона Кулундинской равнины, Алтайский край, Россия

(сценарий № 3.1), в то время как изменение климата с положительным экономическим развитием приведет к увеличению урожайности до 7,9± 5,5 ц/га (сценарий № 3.2) по сравнению со средней базовой урожайностью 7,6±5,3 ц/га.

Сценарий № 4 – «Больше осадков» – ожидаемо приведет к увеличению урожайности с 7,6±5,3 до 8,2±5,5 ц/га. Нижняя и верхняя границы сценария № 4 с отрицательными и положительными экономическими сценариями соответствуют снижению урожайности до 7,4±5,3 ц/га (сценарий № 4.1) и увеличению урожайности до 9,1±5,7 ц/га (сценарий № 4.2 «Экономически благоприятные условия и больше осадков») по сравнению с базовой урожайностью 7,6±5,3 ц/га.

4. ДИСКУССИЯ

4.1. Байесовская сеть

БС позволила установить связь между выбранными переменными и урожайностью пшеницы. Прикладной анализ факторов урожайности культуры на основе структурной сетевой модели позволил выявить высокую значимость внесения удобрений и соблюдения рекомендаций агрономической науки как базовых элементов достижения высокой продуктивности культур. Этот факт отчасти согласуется с другими результатами, полученными для других территорий. В частности, важность внесения удобрений для повышения урожайности пшеницы выявлена в Непале (Adhikari et al., 1999), Пакистане (Hassan et al., 2010) и Австралии (Bryan et al., 2014) и урожайности риса в Сенегале (Blanc и др., 2014). Перекрестная проверка чувствительности узлов БС для объяснения средней урожайности пшеницы и урожайности пшеницы в 2012 г. показала, что применение удобрений и средств защиты растений объясняет 59% вариации средней урожайности пшеницы, полученной в предшествующие годы.

Средняя четырехлетняя урожайность культуры является одной из детерминант урожайности в 2012 г., поскольку она частично отражает агроэкологическую пригодность территории и успешность хозяйственных практик возделывания пшеницы. Территории с низкой пригодностью условий для выращивания пшеницы имели более низкую урожайность в целевом 2012 г. Интересно, что БС показала положительную взаимосвязь между посевной площадью предприятий и достигнутой урожайностью пшеницы. Крупные сельскохозяйственные предприятия (29% от выборки, с площадью более чем 9000 га) имели урожайность выше 10 ц/га в 2012 г. Такие предприятия обычно имеют более выраженную рыночную ориентацию растениеводства, чем средние и малые сельскохозяйственные предприятия. Средние хозяй-

ства преимущественно являются преемниками бывших совхозов и колхозов и зачастую развиваются недостаточно интенсивно (Yastrebova, 2005).

Исследование показало, что малые хозяйства (в т. ч. КФХ) получают более низкую урожайность пшеницы, чем крупные и средние сельскохозяйственные предприятия, несмотря на общее убеждение, что более высокая концентрация рабочей силы и высокий стимул в индивидуальном сельском хозяйстве должны приводить к повышению урожайности (Bloch et al., 2000). Недостаток капитала и трудности с доступом к рынкам капитала, вероятно, ограничивают инвестиции, которые могли бы стимулировать увеличение производительности средних и малых сельскохозяйственных производителей. В частности, существующая программа погектарных субсидий в Алтайском крае косвенно благоприятствует крупным сельхозпредприятиям, т. к. транзакционные издержки, связанные с оформлением документов, согласованием параметров, командировками и расходами на консалтинговые услуги, могут быть сопоставимы с получаемыми субсидиями для малых предприятий (в 2016 г. платежи составили 300–325 руб., или 5–6 долл. США на один гектар) (Об утверждении…, 2014). Кроме того, крупные и средние сельскохозяйственные предприятия имеют лучшие возможности для привлечения кредитов и инвестиций, необходимых для развития и расширения производства, чем небольшие хозяйства. Региональные агрохолдинги часто являются частью интегрированных цепочек поставок и сбыта продукции, удобрений и комплектующих и имеют лучшие возможности для привлечения необходимых инвестиций от банков и акционеров (Nefedova, 2016; Visser et al., 2012). Однако следует отметить, что высокая урожайность, наблюдаемая среди крупных сельскохозяйственных предприятий в нашем исследовании, не обязательно сочетается с более эффективным производством. Низкая урожайность пшеницы среди средних и малых сельскохозяйственных предприятий может быть результатом эффективного распределения ресурсов (Rylko, Jolly, 2005; Visser et al., 2014). Вопросы эффективности сельскохозяйственного производства лежат вне сферы нашей работы, но определенно заслуживают особого внимания и дополнительных исследований. Поэтому политика в области землепользования и институциональной среды функционирования предприятий различной формы собственности должна учитывать решающие факторы повышения конкурентоспособности малых предприятий, «выравнивания» условий хозяйствования для всех категорий предприятий. В частности, важным является вопрос облегчения доступа к рынкам капитала, совершенствование схем субсидированного кредитования с учетом особенностей малого сельскохозяйственного бизнеса.

Применение структурированного моделирования с использованием БС позволило изучить сложные связи между выбранными факторами и уро-

жайностью, которые обычные модели регрессии не позволяют исследовать. Так, была обнаружена связь между возрастом руководителя предприятия и наличием специального аграрного образования. Что демонстрирует «запоздалость» развития образовательной среды в регионе, возможно, связанное с недостаточным финансированием. Факторы образования и возраста имеют связь с внедрением новых технологий, использованием нового оборудования и строгим выполнением рекомендаций в области агрономии, что является предпосылкой для достижения более высокой урожайности пшеницы (Bavorova et al., 2017). Большая часть руководителей хозяйств представляют постсоветское поколение (возрастная группа 20–50 лет), часто не имеют специального аграрного образования, по сравнению с респондентами пред- и пенсионного возраста (возрастная группа старше 50 лет). К сожалению, большая часть молодежи, получающая специальное аграрное образование, как правило, не стремится возвращаться в сельские районы для проживания и работы в сельском хозяйстве, тем самым усугубляя нехватку квалифицированных кадров в сельских территориях (Bednaříková et al., 2016). Современная сельскохозяйственная политика в России и Алтайском крае в частности не в полной мере нацелена на решение вопроса о привлечении молодых специалистов в сельские районы. Отсутствие квалифицированной рабочей силы оказывает влияние на инновационную активность и внедрение новых практик земледелия, в частности Mini-Till и No-Till – технологий, которые могут способствовать повышению урожайности пшеницы (Bavorova et al., 2017). Между тем доказано, что улучшение образования руководителей сельскохозяйственных предприятий может способствовать повышению достигаемой продуктивности культур, а также раскрытию сельскохозяйственного потенциала в исследуемом регионе (Russian…, 2009).

Байесовская сеть выявила, что сельскохозяйственные предприятия, которые инвестировали в новую современную технику в предыдущие годы, имели более высокую урожайность пшеницы в засушливом 2012 г. При этом опрос показал, что 42% опрошенных сельскохозяйственных предприятий не приобретали новую технику в последние пять лет, 40% опрошенных не практиковали севооборот, 68% и 34% сельскохозяйственных предприятий не использовали удобрения и средства защиты растений соответственно. В результате урожайность пшеницы в исследуемом регионе остается достаточно низкой и значительно ниже биологически потенциального уровня (Swinnen et al., 2017). Если российское правительство ставит своей целью стимулировать рост урожайности пшеницы в Западной Сибири, необходимо укрепить финансовые стимулы для обновления сельскохозяйственной техники и использования удобрений и других входящих ресурсов для выращивания пшеницы.

Исследование показало практически полное отсутствие сотрудничества или кооперации между сельскохозяйственными производителями, а также практически полное отсутствие сервисных услуг, помогающих распространению знаний и инноваций в Алтайском крае. Сотрудничество между предприятиями и развитые консалтинговые услуги обеспечивают снижение издержек производства и стимулируют к внедрению более эффективных производственных технологий (Russian…, 2009). Атмосфера недоверия и коммуникативные барьеры препятствуют сотрудничеству между сельскохозяйственными производителями. Более того, некоторые руководители не заинтересованы в увеличении производственных расходов, в частности на внесение удобрений, даже если бы это привело к увеличению урожайности. Такая ситуация возникает в связи с ожиданием более высоких производственных издержек, как следствие, более высоких производственных рисков, особенно при ситуации экономической стагнации и спада в последние годы. Тем не менее следование агрономическим рекомендациям, таким как соблюдение сроков сева, следование севообороту и уход от монокультуры, применение СЗР и внесение удобрений, должно способствовать увеличению урожайности. Аналогичные рекомендации дают специалисты Главного управления сельского хозяйства Алтайского края. В целом для повышения урожайности культур следует повысить культуру земледелия, особенно следует акцентировать внимание на группе малых хозяйств, в которых в большей массе и наблюдаются нарушения рекомендаций агрономической науки.

4.2. Урожайность пшеницы при различных сценариях

Огромным преимуществом БС является возможность ее использования для оценки ожидаемых изменений урожайности культуры при различных сценариях. Вероятностный характер БС делает этот метод привлекательным для прогностических выводов. В нашем случае урожайность пшеницы при выбранных четырех сценариях показала правдоподобные вариации. В ходе проведенного в 2013 г. опроса и в процессе разработки сценариев в 2013 г. Россия еще не была в фазе экономической стагнации. Однако сценарий «Экономически неблагоприятные условия», в отношении которого мы предположили сокращение приобретения новой сельскохозяйственной техники, применения удобрений, СЗР и снижение доступности кредитов (*рис. 2*), в полной мере отражает развитие ситуации в аграрном секторе России. В то же время симуляция приобретения новой сельскохозяйственной техники и более интенсивного использования удобрений ясно показала положительное влияние на достигаемую урожайность (сценарий «Экономически благоприятные условия»).

В 2016 г. в Алтайском крае наблюдались благоприятные погодные условия для ведения сельского хозяйства, что позволило достичь хорошей урожайности пшеницы в исследуемом регионе (11,9 ц/га). В тот же момент достигнутая урожайность была одной из самых низких среди российских регионов (в среднем 15,7 ц/га) (Центральная…, 2016). Урожайность пшеницы в 2012 г. была низкой из-за засухи, которые стали чаще в последние годы (Kogan, Guo, 2014). Поэтому в анализе было смоделировано снижение осадков на 25% (сценарий № 3) путем изменения состояния в соответствующем узле БС «Сумма осадков (2012 г.)» (*рис. 2*). Это симулированное изменение осадков привело к существенному снижению достигнутой урожайности пшеницы. Прогнозируемое увеличение частоты засух и других экстремальных явлений в исследуемом регионе (Second…, 2014) делает необходимым принятие мер по противодействию неблагоприятным климатическим условиям. К сожалению, нынешняя аграрная политика не способствует адаптации сельхозпроизводителей к происходящим климатическим изменениям. Несмотря на прогнозируемое увеличение засушливости климата в районе исследования, ученые также ожидают увеличение распространения вредителей и болезней пшеницы, что еще раз подчеркивает важность совершенствования технологий растениеводства и применения средств защиты растений для достижения более высокой продуктивности культур (Second..., 2014).

Реализация политики, направленной на адаптацию аграрной сферы к ожидаемым климатическим изменениям, могло бы способствовать снижению экономических потерь предприятий всех категорий и обеспечить их устойчивое функционирование. Одной из таких практик является внедрение технологий «климатически умного» сельского хозяйства. Правительство РФ разработало доктрину, одной из задач которой является адаптация экономики к неблагоприятным изменениям климата (Climate…, 2009). Однако наблюдается несоответствие между целями доктрины и существующей законодательной и институциональной средой, которая не в полной мере позволяет развить возможности и пути адаптации к неблагоприятным климатическим изменениям сельхозтоваропроизводителей (Theesfeld, Jelinek, 2017). Например, государственная программа развития сельского хозяйства до 2020 г. (Государственная…, 2013) не учитывает уже существующие технологические и производственные «разрывы» между малыми, средними и крупными хозяйствами. Следует также отметить, что сценарий «Экономически неблагоприятные условия» показывает более негативные последствия в изменении урожайности пшеницы по сравнению со сценарием «Увеличение степени засушливости климата», что подтверждает первоочередную важность создания и поддержания благоприятных экономических условий для ведения сельского хозяйства.

4.3. Ограничения байесовской модели и проведенного исследования

БС позволила исследовать статистические ассоциации между урожайностью пшеницы и выбранными переменными. Однако установленные причинно-следственные связи следует интерпретировать осторожно из-за построенной модели, представляющей фактически один временной срез. Байесовская сеть была представлена достаточно простой из-за небольшого числа наблюдений (всего 216). По этой причине были выбраны лишь некоторые из многих первоначально отобранных переменных. Некоторые потенциально важные факторы продуктивности, в частности, использование технологии (No-Till, Mini-Till, Strip-Till, элементы технологии по задержанию почвенной влаги и практикуемые противоэрозионные мероприятия), не могли быть учтены в модели. Следует отметить, что лишь несколько сельскохозяйственных предприятий в полученной выборке практиковали No-Till. Построенная модель предполагает, что строгое выполнение уже существующих и широко используемых рекомендаций по технологии выращивания пшеницы может привести к значительно более высокой урожайности. Несмотря на то, что разработанная модель отражала пространственное изменение агроэкологических характеристик в регионе исследования, вариабильность агроэкологических характеристик внутри сельскохозяйственных предприятий и на уровне сельскохозяйственных полей мы учесть не смогли в связи с недоступностью таких данных. Использование расширенных данных до уровня полей позволило бы дополнить информацию о влиянии природных факторов на решения в области технологий и повышение урожайности культуры.

Возможность БС аппроксимировать отсутствующие значения в данных позволила использовать два разных набора данных (результаты опроса и результаты статистического мониторинга ГУСХ Алтайского края), что привело к более высокой точности в объяснении различий в урожайности пшеницы среди сельскохозяйственных предприятий различных категорий в Кулундинской степной зоне. Однако моделирование БС в пакете Netica не может быть выполнено по непрерывным данным. Все непрерывные переменные должны быть дискретизированы, что приводит к потере информации и субъективизму в формировании границ интервалов. Более того, ациклическая структура БС не позволяет отобразить обратные связи между переменными. Тем не менее данное исследование продемонстрировало полезность БС для изучения сложной взаимосвязи между социально-экономическими и агроэкологическими факторами, которые определяют урожайность пшеницы.

Несмотря на то, что сокращение разрывов между текущей и потенциальной урожайностью является важной мерой для увеличения сельскохозяй-

ственного производства, такое сокращение следует увязывать с воздействием на окружающую среду и потенциальными эмиссиями парниковых газов (Fischer, 2013; Kamp, 2014). Увеличение и стабилизация урожайности особенно актуальны в Кулундинской степной зоне в связи с процессами деградации почв и негативными прогнозами климатических изменений. В рамках данной работы мы использовали только одно измерение производительности сельскохозяйственных предприятий, а именно – урожайность. Другие факторы, такие как доход, прибыль и в целом удовлетворение результатами сельскохозяйственного производства, могут использоваться для исследования факторов конкурентоспособности и экономической устойчивости сельскохозяйственных производителей. Такие исследования осложнены недоступностью таких данных на уровне сельскохозяйственных предприятий в России.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследование ориентировано на изучение детерминант урожайности пшеницы в Сибирском федеральном округе РФ, где в среднем за период 2010–2012 гг. было выращено 23% российской пшеницы. Анализ сосредоточен на Алтайском крае, где производится 21% пшеницы в Сибири и азиатской части России. Данное исследование представляет собой первый комплексный анализ детерминант урожайности пшеницы среди постсоветских стран и России путем объединения биофизических и микроэкономических данных на уровне сельскохозяйственных предприятий. Для этого была разработана байесовская сеть, которая оказалась гибким инструментом, что позволило объединить качественную информацию с количественными данными. Комбинация графического интерфейса с эмпирическим анализом позволила включить качественные экспертные знания заинтересованных сторон с количественными данными. Результаты подчеркивают необходимость совершенствования управленческих решений в области ведения сельского хозяйства в регионе, что должно способствовать выработке политики, направленной на повышение урожайности сельскохозяйственных культур. Такие практики могли быть направлены на дополнительные инвестиции в обучение управленческого звена сельскохозяйственных предприятий, строгое соблюдение существующих рекомендаций по технологии выращивания пшеницы, а также в стимулирование развития экологически чистого сельского хозяйства. Следует подчеркнуть, что региональная аграрная политика должна учитывать различия в структурных характеристиках сельскохозяйственных предприятий, в частности, особенно усилить акцент на развитии малых предприятий и восполнить «пробел» в предоставлении услуг по распространению знаний, которые должны способствовать уве-

личению продуктивности культуры. Более того, учитывая негативные прогнозы относительно климатических изменений и их влияния на показатели урожайности культур в Западной Сибири, региональная аграрная политика должна способствовать подготовке сельскохозяйственных производителей и их адаптации к ожидаемым климатическим изменениям, в частности, повышению частоты засух. Проведенный анализ кажется еще более важным с учетом растущего спроса на сельскохозяйственную продукцию в мире, неблагоприятных прогнозов изменения климата, деградации почв и влияния множества экономических, институциональных и природных факторов на ведение сельского хозяйства в регионе.

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы выражаем благодарность Владимиру Беляеву, Андрею Бондаровичу, Юрию Бугай, Ирине Ковалевой, Никите Кожанову и Валентине Кундиус за организацию интервью с сельскохозяйственными производителями и подготовку команд по проведению интервью. Авторы выражают отдельную благодарность Веронике Куиринг за подготовку данных. Мы благодарим наши семьи и друзей за их терпение во время проведения полевых исследований и при подготовке статьи. Мы также благодарим двух анонимных рецензентов за их ценные комментарии, которые позволили улучшить статью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Боговиз А.В., Лобова С.В., Оскорбин Н.М., Понькина Е.В., Маничева А.С. Проблемы повышения рентабельности производства зерна в условиях Алтайского края. Барнаул: Изд-во Алтайского университета, 2011. 275 с.

Государственная программа по развитию сельского хозяйства и регулированию рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия на 2013–2020 годы: утверждена постановлением Правительства РФ от 14 июля 2012 года № 717 / Министерство сельского хозяйства РФ. 2013.

Дронин Н.М. Изменение климата и продовольственная безопасность России: исторический анализ и модельные прогнозы. М.: ГЕОС, 2014. 303 с.

Еремин А.А., Быков Н.И. Демографическая ситуация в Алтайском крае на современном этапе (1990–2010 гг.) / Алтайский государственный университет. Барнаул: Азбука, 2011. 272 с.

Имитационная модель роста сельскохозяйственных растений WOFOST и ее использование для анализа продуктивности земель России / под ред. И.Ю. Савина, В.С. Столбового, К. ван Диепена; Почвенный институт им. В.В. Докучаева. М.: РАСХН, 2001. 216 с.

Об утверждении порядка предоставления из краевого бюджета субсидий на оказание несвязной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей в области растениеводства: постановление администрации Алтайского края от 21 февраля 2014 г. № 70 (изменено 8 июля 2015, постановление № 26). URL:

https://www.altairegion22.ru/upload/iblock/ef3/70_14.pdf (дата обращения: ноябрь 2017)

Парамонов Е.Г., Ишутин Я.Н., Симоненко А.П. Кулундинская степь: проблемы опустынивания / ред. Л.И. Базина. Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета, 2003. 137 с.

Понькина Е., Беляев В., Боварова М., Прищепов А., Майнель Т., Бугай Ю., Ковалева И., Кожанов Н., Казарджян М., Фрюауф М. Экономические, экологические, технологические факторы и результаты деятельности сельскохозяйственных предприятий в условиях Кулундинской степи. Барнаул: Изд-во Алтайского государственного университета, 2014. 140 с.

Регионы России. Социально-экономические показатели. 2013: стат. сб. / ФСГС. 2013. URL: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (дата обращения: ноябрь 2017).

Система земледелия в Алтайском крае / Алтайский НИИСХ. Новосибирск, 1981. 326 с.

Центральная база статистических данных / ФСГС. 2016. URL: http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/dbinet.cgi (дата обращения: ноябрь 2017).

Adhikari C., Adhikary B., Rajbhandari N.P., Hooper M., Upreti H.K., Gyawali B.K., Rajbhandari N.K., Hobbs P.R. Wheat and Rice in the Mid-Hills of Nepal: A Benchmark Report on Farm Resources and Production Practices in Kavre District. Kathmandu: NARC; CIMMYT, 1999. 26 p. URL: https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3937/68337.pdf (дата обращения: ноябрь 2017).

Agriculture. Canada Year Book 2011 / Statistics Canada. 2011. URL: https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-402-x/2011000/chap/ag/ag-eng.htm (дата обращения: ноябрь 2017).

Aguilera P.A., Fernández A., Fernández R., Rumí R., Salmerón A. Bayesian Networks in Environmental Modelling // Environmental Modelling and Software. 2011. Vol. 26. Issue 12. Pp. 1376–1388. DOI: 10.1016/j.envsoft.2011.06.004.

Alcamo J. Scenarios as Tools for International Environmental Assessments / European Environment Agency. Environmental Issue Report No. 24. 2001. 31 p. URL: https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_24/file (дата обращения: ноябрь 2017).

Ali M. Quantifying the Socio-Economic Determinants of Sustainable Crop Production: An Application to Wheat Cultivation in the Tarai of Nepal // Agricultural Economics. 1996. Vol. 14. Issue 1. Pp. 45–60. DOI: 10.1016/0169-5150(95)01161-7.

Banerjee H., Goswami R., Chakraborty S., Dutta S., Majumdar K., Satyanarayana T., Jat M.L., Zingore S. Understanding Biophysical and Socio-Economic Determinants of Maize (Zea mays L.) Yield Variability in Eastern India // Wageningen Journal of Life Sciences. 2014. Vol. 70–71. Pp. 79–93. DOI: 10.1016/j.njas.2014.08.001.

Bavorova M., Imamverdiyev N., Ponkina E. Farm-Level Economics of Innovative Tillage Technologies: The Case of No-Till in the Altai Krai in Russian Siberia // Environmental Science and Pollution Research. 2018. Vol. 25. Issue 2. Pp. 1016–1032. DOI: 10.1007/s11356-017-9268-y.

Bednaříková Z., Bavorová M., Ponkina E.V. Migration Motivation of Agriculturally Educated Rural Youth: The Case of Russian Siberia // Journal of Rural Studies. 2016. Vol. 45. Pp. 99–111. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2016.03.006.

Bischoff N., Mikutta R., Shibistova O., Puzanov A., Reichert E., Silanteva M., Grebennikova A., Schaarschmidt F., Heinicke S., Guggenberger G. Land-Use Change Under Different Climatic Conditions: Consequences for Organic Matter and Microbial Communities in Siberian Steppe Soils // Agriculture Ecosystems & Environment. 2016. Vol. 235. Pp. 253–264. DOI: 10.1016/j.agee.2016.10.022.

Blanc E., Lepine A., Strobl E. Determinants of Crop Yield and Profit of Family Farms: Evidence From the Senegal River Valley / Department of Research, IPAG Business School. Working Papers 2014-596. 2014.

Bloch P., Melmed-Sanjak J., Hanson R. The Debate over Agrarian Structure in Macedonia: Implications for Land Management // Transactions in International Land Management / Edited by R.W. Dixon-Gough, R. Mansberger. London – New York: Routledge. 2000. Pp. 1–26.

Bokusheva R., Hockmann H. Production Risk and Technical Inefficiency in Russian Agriculture // European Review of Agricultural Economics. 2006. Vol. 33. Issue 1. Pp. 93–118. DOI: 10.1093/erae/jbi036.

Bokusheva R., Hockmann H., Kumbhakar S.C. Dynamics of Productivity and Technical Efficiency in Russian Agriculture // European Review of Agricultural Economics. 2012. Vol. 39. Pp. 611–637. DOI: 10.1093/erae/jbr059.

Boogaard H., Wolf J., Supit I., Niemeyer S., van Ittersum M. A Regional Implementation of WOFOST for Calculating Yield Gaps of Autumn-Sown Wheat Across the European Union // Field Crops Research. 2013. Vol. 143. Pp. 130–142. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.11.005.

Bryan B.A., King D., Zhao G. Influence of Management and Environment on Australian Wheat: Information for Sustainable Intensification and Closing Yield Gaps // Environmental Research Letters. 2014. Vol. 9. No. 4. DOI: 10.1088/1748-9326/9/4/044005.

Carpenter S.R., DeFries R., Dietz T., Mooney H.A., Polasky S., Reid W.V., Scholes R.J. Millennium Ecosystem Assessment: Research Needs // Science. 2006. Vol. 314. Issue 5797. Pp. 257–258. DOI: 10.1126/science.1131946.

Climate Change and Terrestrial Carbon Sequestration in Central Asia / Edited by R. Lal, M. Suleimenov, B.A. Stewart, D.O. Hansen, P. Doraiswamy. London: Taylor & Francis Group, 2007. 494 p.

Climate Doctrine of the Russian Federation. 2009, December 17. URL: http://en.kremlin.ru/supplement/4822 (дата обращения: ноябрь 2017).

Dronin N.M., Bellinger E.G. Climate Dependence and Food Problems in Russia, 1900–1990: The Interaction of Climate and Agricultural Policy and Their Effect on Food Problems. Budapest: Central European University Press, 2005. 366 p.

Economics and Land Use Planning / Edited by A.W. Evans. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2004. 224 p.

Ennew C.T. A Model of Import Demand for Grain in the Soviet Union // Food Policy. 1987. Vol. 12. Issue 2. Pp. 106–115. DOI: 10.1016/0306-9192(87)90027-3.

Fischer G., Nachtergaele F.O., Prieler S., Teixeira E., Toth G., van Velthuizen H., Verelst L., Wiberg D. Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v. 3.0) / International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2012. Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.

Fischer J. Land Sparing Versus Land Sharing: New Evidence // Ideas for Sustainability, 2013. URL: http://ideas4sustainability.wordpress.com/2013/04/03/land-sparing-versus-land-sharing-new-evidence/ (дата обращения: ноябрь 2017).

Foley J.A. Global Consequences of Land Use // Science. 2005. Vol. 309. Issue 5734. Pp. 570–574. DOI: 10.1126/science.1111772.

Garrett R.D., Lambin E.F., Naylor R.L. Land Institutions and Supply Chain Configurations as Determinants of Soybean Planted Area and Yields in Brazil // Land Use Policy. 2013. Vol. 31. Pp. 385–396. DOI: 10.1016/j.landusepol.2012.08.002.

Gooding M.J., Davies W.P. Wheat Production and Utilization: Systems, Quality and the Environment. New York: CABI Publishing, 1997. 352 p.

Götz L., Glauben T., Brümmer B. Wheat Export Restrictions and Domestic Market Effects

in Russia and Ukraine During the Food Crisis // Food Policy. 2013. Vol. 38. Pp. 214–226. DOI: 10.1016/j.foodpol.2012.12.001.

Hamilton S.H., Pollino C.A., Jakeman A.J. Habitat Suitability Modelling of Rare Species Using Bayesian Networks: Model Evaluation under Limited Data // Ecological Modelling. 2015. Vol. 299. Pp. 64–78. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.12.004.

Hassan I., Chattha M.B., Chattha T.H., Ali M.A. Factor Affecting Wheat Yield: A Case Study of Mixed Cropping Zone of Punjab // Journal of Agricultural Research. 2010. Vol. 48. Issue 3. Pp. 403–408.

Heckerman D., Geiger D., Chickering D. Learning Bayesian Networks: The Combination of Knowledge and Statistical Data // Machine Learning September. 1995a. Vol. 20. Issue 3. Pp. 197–243. DOI: 10.1007/BF00994016.

Heckerman D., Mamdani A., Wellman M.P. Real-World Applications of Bayesian Networks // Communications of the ACM. 1995b. Vol. 38. Issue 3. Pp. 24–26.

Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries / Edited by A.N. Afonin, S.L. Greene, N.I. Dzyubenko, A.N. Frolov. Economic Plants and Their Diseases, Pests and Weeds. 2008. URL: http://www.agroatlas.ru/ru/index.html (дата обращения: ноябрь 2017).

Special Report on Emissions Scenarios / Intergovenmiental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2000. 608 p. https://www.ipcc.ch/report/emissions-scenarios/ (дата обращения: ноябрь 2017).

Jensen F.V., Nielsen T.D. Bayesian Networks and Decision Graphs. New York: Springer-Verlag, 2007. 448 p. DOI: 10.1007/978-0-387-68282-2.

Josephson P., Dronin N., Mnatsakanian R., Cherp A., Efremenko D., Larin V. An Environmental History of Russia. Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2013. 352 p.

Kamp J. Land Management: Weighing up Reuse of Soviet Croplands // Nature. 2014. Vol. 505. Issue 7484. Pp. 483. DOI: 10.1038/505483d.

Kherad M., Ahani H., Kousari M.R., Beyraghdar Kashkooli A., Karampour M.A. Evaluation of Education and Water Resource Types on Some Wheat Land Features, Using Fars Comprehensive Agricultural Database (Case Study; Pasargad, Iran) // Environment, Development and Sustainability August. 2013. Vol. 15. Issue 4. Pp. 1129–1142. DOI: 10.1007/s10668-012-9428-7.

Kogan F., Guo W. Early Twenty-First-Century Droughts During the Warmest Climate // Geomatics, Natural Hazards and Risk. 2016. Vol. 7. Issue 1. Pp. 127–137. DOI: 10.1080/19475705.2013.878399.

Lambin E.F., Meyfroidt P. Global Land Use Change, Economic Globalization, and the Looming Land Scarcity // Proceedings of the National Academy of Sciences. 2011. Vol. 108. Issue 9. Pp. 3465–3472. DOI: 10.1073/pnas.1100480108.

Licker R., Johnston M., Foley J.A., Barford C., Kucharik C.J., Monfreda C., Ramankutty N. Mind the Gap: How do Climate and Agricultural Management Explain the 'Yield Gap' of Croplands Around the World? // Global Ecology and Biogeography. 2010. Vol. 19. Issue 6. Pp. 769–782. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00563.x.

Liefert W., Liefert O. Changing Crop Area in the Former Soviet Union Region (A Report from the Economic Research Service). FDS17b-01, USDA, Washington, D.C., 2017. URL: https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/82573/fds-17b-01.pdf?v=0 (дата обращения: ноябрь 2017)

Liefert W.M., Liefert O. Russian Agriculture during Transition: Performance, Global Impact, and Outlook // Applied Economic Perspectives and Policy. 2012. Vol. 34. Issue 1. Pp. 37–75. DOI: 10.1093/aepp/ppr046.

Lioubimtseva E., Henebry G.M. Grain Production Trends in Russia, Ukraine and Kazakhstan:

New Opportunities in an Increasingly Unstable World? // Frontiers of Earth Science. 2012. Vol. 6. Issue 2. Pp. 157–166. DOI: 10.1007/s11707-012-0318-y.

Lobell D.B., Cassman K.G., Field C.B. Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes // Annual Review of Environment and Resources. 2009. Vol. 34. Pp. 179–204. DOI: 10.1146/annurev.environ.041008.093740.

Madsen A.L., Jensen F., KjæRulff U.B., Lang M. The HUGIN tool for Probabilistic Graphical Models // International Journal on Artificial Intelligence Tools. 2005. Vol. 14. No. 3. Pp. 507–543. DOI: 10.1142/S0218213005002235.

Mallampalli V.R., Mavrommati G., Thompson J., Duveneck M., Meyer S., Ligmann-Zielinska A., Druschke C.G., Hychka K., Kenney M.A., Kok K., Borsuk M.E. Methods for Translating Narrative Scenarios Into Quantitative Assessments of Land Use Change // Environmental Modelling & Software. 2016. Vol. 82. Pp. 7–20. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.04.011.

Mann M.L., Warner J.M. Ethiopian Wheat Yield and Yield Gap Estimation: A Spatially Explicit Small Area Integrated Data Approach // Field Crops Research. 2017. Vol. 201. Pp. 60–74. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.10.014.

McCauley M. Khrushchev and the Development of Soviet Agriculture: The Virgin Land Programme, 1953–1964. New York: Holmes & Meier Pub., 1977. 232 p.

Mendelsohn R., Nordhaus W.D., Shaw D. The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis // The American Economic Review. 1994. Vol. 84. No. 4. Pp. 753–771.

Menne M.J., Durre I., Korzeniewski B., McNeal S., Thomas K., Yin X., Anthony S., Ray R., Vose R.S., Gleason B.E., Houston T.G. Global Historical Climatology Network-Daily (GHCN-Daily), Version 3 / National Centers for Environmental Information; National Climatic Data Center. 2012. URL: https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00861 (дата обращения: ноябрь 2017).

Mueller N.D., Gerber J.S., Johnston M., Ray D.K., Ramankutty N., Foley J.A. Closing Yield Gaps Through Nutrient and Water Management // Nature. 2012. Vol. 490. Pp. 254–257. DOI: 10.1038/nature11420.

Nefedova T.G. Russian Agricultural Resources and the Geography of Their Use in Import-Substitution Conditions // Regional Research of Russia October. 2016. Vol. 6. Issue 4. Pp. 292–303. DOI: 10.1134/S2079970516040122.

Netica Version 5.18 / Norsys Software Corporation. 2015. URL: https://www.norsys.com/ (дата обращения: ноябрь 2017).

Osborne S., Trueblood M.A. An Examination of Economic Efficiency of Russian Grop Production in the Reform Period // Agricultural Economics. 2006. Vol. 34. Issue 1. Pp. 25–38. DOI: 10.1111/j.1574-0862.2006.00100.x.

Pavlova V.N., Varcheva S.E., Bokusheva R., Calanca P. Modelling the Effects of Climate Variability on Spring Wheat Productivity in the Steppe Zone of Russia and Kazakhstan // Ecological Modelling. 2014. Vol. 277. Pp. 57–67. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.01.014.

Pearl J. Causality: Models, Reasoning, and Inference. Cambridge University Press, 2009. 484 p.

Peterson G.D., Cumming G.S., Carpenter S.R. Scenario Planning: A Tool for Conservation in an Uncertain World // Conservation Biology. 2003. Vol. 17. Issue 2. Pp. 358–366. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2003.01491.x.

Ponkina E., Bavorova M., Prishchepov A.V., Kovaleva I. Positive Quantitative Analysis of Farms Regarding Natural Conditions, Structure, Production Program, Factor Endowment, Productivity, Economic Success and Income. Technical Report. Working Paper. Subproject 8. 2012. 66 p.

Prishchepov A.V., Schierhorn F., Dronin N., Ponkina E., Müller D. 800 Years of Agricultural Land-Use Change in Asian (Eastern) Russia // Edited by M. Frühauf, G. Guggenberger, T. Meinel, I. Theesfeld, S. Lentz. KULUNDA: Climate Smart Agriculture. South Siberian Agro-Steppe as Pioneering Region for Sustainable Land Use. Cham: Springer International Publishing, 2020.

Russian Federation: Analysis of the Agribusiness Sector in Southern Russia. Report Series No. 13 / FAO, FAO Investment Centre; EBRD Cooperation Programme. 2009. 109 p. URL: http://www.fao.org/3/a-aj281e.pdf (дата обращения: ноябрь 2017).

Rylko D., Jolly R.W. Russia's New Agricultural Operators: Their Emergence, Growth and Impact // Comparative Economic Studies. 2005. Vol. 47. Pp. 115–126. DOI: 10.1057/palgrave.ces.8100087.

Schierhorn F., Faramarzi M., Prishchepov A.V., Koch F.J., Müller D. Quantifying Yield Gaps in Wheat Production in Russia // Environmental Research Letters. 2014. Vol. 9. No. 8. 12 p. DOI: 10.1088/1748-9326/9/8/084017.

Second Roshydromet Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in Russian Federation. General Summary / Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Moscow: Roshydromet, 2014. 56 p. URL: http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/pdf/resume_ob_eng.pdf (дата обращения: ноябрь 2017).

Sun Z., Müller D. A Framework for Modeling Payments for Ecosystem Services with Agent-Based Models, Bayesian Belief Networks and Opinion Dynamics Models // Environmental Modelling and Software. 2013. Vol. 45. Pp. 15–28. DOI: 10.1016/j.envsoft.2012.06.007.

Swinnen J., Burkitbayeva S., Schierhorn F., Prishchepov A.V., Müller D. Production Potential in the 'Bread Baskets' of Eastern Europe and Central Asia // Global Food Security. 2017. Vol. 14. Pp. 38–53. DOI: 10.1016/j.gfs.2017.03.005.

The Oxford Handbook of Land Economics, Oxford Handbooks in Economics / Edited by J.M. Duke, J.J. Wu. Oxford University Press, 2014. 768 p.

Theesfeld I., Jelinek L. A Misfit in Policy to Protect Russia's Black Soil Region. An Institutional Analytical Lens Applied to the ban on Burning of Crop Residues // Land Use Policy. 2017. Vol. 67. Pp. 517–526. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.06.018.

Tittonell P., Vanlauwe B., Leffelaar P.A., Rowe E.C., Giller K.E. Exploring Diversity in Soil Fertility Management of Smallholder Farms in Western Kenya // Agriculture, Ecosystems and Environment Agric. 2005. Vol. 110. Pp. 149–165. DOI: 10.1016/j.agee.2005.04.001.

Trueblood M.A., Arnade C. Crop Yield Convergence: How Russia's Yield Performance Has Compared to Global Yield Leaders // Comparative Economic Studies. 2001. Vol. 43. Issue 2. Pp. 59–81. DOI: 10.1057/ces.2001.8.

Uusitalo L. Advantages and Challenges of Bayesian Networks in Environmental Modelling // Ecological Modelling. 2007. Vol. 203. Pp. 312–318. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2006.11.033.

Van Ittersum M.K., Cassman K.G., Grassini P., Wolf J., Tittonell P., Hochman Z. Yield Gap Analysis with Local to Global Relevance: A Review // Field Crops Research. 2013. Vol. 143. Pp. 4–17. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.009.

Visser O., Mamonova N., Spoor M. Oligarchs, Megafarms and Land Reserves: Understanding Land Grabbing in Russia // The Journal of Peasant Studies. 2012. Vol. 39. Issue 3–4. Pp. 899–931. DOI: 10.1080/03066150.2012.675574.

Visser O., Spoor M., Mamonova N. Is Russia the Emerging Global 'Breadbasket'? Re-Cultivation, Agroholdings and Grain Production // Europe-Asia Studies. 2014. Vol. 66. Issue 10. Pp. 1589–1610. DOI: 10.1080/09668136.2014.967569.

Yastrebova O. Nonpayments, Bankruptcy and Government Support in Russian Agriculture // Comparative Economic Studies. 2005. Vol. 47. Issue 1. Pp. 167–180. DOI: 10.1057/palgrave.ces.8100088.

REFERENCES

Adhikari C., Adhikary B., Rajbhandari N.P., Hooper M., Upreti H.K., Gyawali B.K., Rajbhandari N.K., Hobbs P.R. *Wheat and Rice in the Mid-Hills of Nepal: A Benchmark Report on Farm Resources and Production Practices in Kavre District*. Kathmandu: NARC; CIMMYT, 1999, 26 p. Available at: https://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/3937/68337.pdf (accessed November 2017).

Agriculture. Canada Year Book 2011. Statistics Canada, 2011. Available at: https://www150.statcan.gc.ca/n1/pub/11-402-x/2011000/chap/ag/ag-eng.htm (accessed November 2017).

Aguilera P.A., Fernández A., Fernández R., Rumí R., Salmerón A. Bayesian Networks in Environmental Modelling. *Environmental Modelling and Software*, 2011, vol. 26, issue 12, pp. 1376–1388. DOI: 10.1016/j.envsoft.2011.06.004.

Alcamo J. *Scenarios as Tools for International Environmental Assessments*. European Environment Agency. Environmental Issue Report No. 24, 2001, 31 p. Available at: https://www.eea.europa.eu/publications/environmental_issue_report_2001_24/file (accessed November 2017).

Ali M. Quantifying the Socio-Economic Determinants of Sustainable Crop Production: An Application to Wheat Cultivation in the Tarai of Nepal. *Agricultural Economics*, 1996, vol. 14, issue 1, pp. 45–60. DOI: 10.1016/0169-5150(95)01161-7.

Banerjee H., Goswami R., Chakraborty S., Dutta S., Majumdar K., Satyanarayana T., Jat M.L., Zingore S. Understanding Biophysical and Socio-Economic Determinants of Maize (Zea mays L.) Yield Variability in Eastern India. *Wageningen Journal of Life Sciences*, 2014, vol. 70–71, pp. 79–93. DOI: 10.1016/j.njas.2014.08.001.

Bavorova M., Imamverdiyev N., Ponkina E. Farm-Level Economics of Innovative Tillage Technologies: The Case of No-Till in the Altai Krai in Russian Siberia. *Environmental Science and Pollution Research*, 2018, vol. 25, issue 2, pp. 1016–1032. DOI: 10.1007/s11356-017-9268-y.

Bednaříková Z., Bavorová M., Ponkina E.V. Migration Motivation of Agriculturally Educated Rural Youth: The Case of Russian Siberia. *Journal of Rural Studies*, 2016, vol. 45, pp. 99–111. DOI: 10.1016/j.jrurstud.2016.03.006.

Bischoff N., Mikutta R., Shibistova O., Puzanov A., Reichert E., Silanteva M., Grebennikova A., Schaarschmidt F., Heinicke S., Guggenberger G. Land-Use Change Under Different Climatic Conditions: Consequences for Organic Matter and Microbial Communities in Siberian Steppe Soils. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2016, vol. 235, pp. 253–264. DOI: 10.1016/j.agee.2016.10.022.

Blanc E., Lepine A., Strobl E. *Determinants of Crop Yield and Profit of Family Farms: Evidence From the Senegal River Valley.* Department of Research, IPAG Business School. Working Papers 2014-596, 2014.

Bloch P., Melmed-Sanjak J., Hanson R. The Debate over Agrarian Structure in Macedonia: Implications for Land Management. *Transactions in International Land Management*. Edited by R.W. Dixon-Gough, R. Mansberger. London – New York: Routledge, 2000, pp. 1–26.

Bogoviz A.V., Lobova S.V., Oskorbin N.M., Ponkina E.V., Manicheva A.S. *Problems of*

Increasing the Profitability of Grain Production in the Altai Territory. Barnaul, 2011, 275 p. (In Russian).

Bokusheva R., Hockmann H. Production Risk and Technical Inefficiency in Russian Agriculture. *European Review of Agricultural Economics*, 2006, vol. 33, issue 1, pp. 93–118. DOI: 10.1093/erae/jbi036.

Bokusheva R., Hockmann H., Kumbhakar S.C. Dynamics of Productivity and Technical Efficiency in Russian Agriculture. *European Review of Agricultural Economics*, 2012, vol. 39, pp. 611–637. DOI: 10.1093/erae/jbr059.

Boogaard H., Wolf J., Supit I., Niemeyer S., van Ittersum M. A Regional Implementation of WOFOST for Calculating Yield Gaps of Autumn-Sown Wheat Across the European Union. *Field Crops Research*, 2013, vol. 143, pp. 130–142. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.11.005.

Bryan B.A., King D., Zhao G. Influence of Management and Environment on Australian Wheat: Information for Sustainable Intensification and Closing Yield Gaps. *Environmental Research Letters*, 2014, vol. 9, no. 4. DOI: 10.1088/1748-9326/9/4/044005.

Carpenter S.R., DeFries R., Dietz T., Mooney H.A., Polasky S., Reid W.V., Scholes R.J. Millennium Ecosystem Assessment: Research Needs. *Science*, 2006, vol. 314, issue 5797, pp. 257–258. DOI: 10.1126/science.1131946.

Central Base of Statistical Data. Federal State Statistics Service, 2016. Available at: http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/dbinet.cgi (accessed November 2017). (In Russian).

Climate Change and Terrestrial Carbon Sequestration in Central Asia. Edited by R. Lal, M. Suleimenov, B.A. Stewart, D.O. Hansen, P. Doraiswamy. London: Taylor & Francis Group, 2007, 494 p.

Climate Doctrine of the Russian Federation. 2009, December 17. Available at: http://en.kremlin.ru/supplement/4822 (accessed November 2017).

Dronin N.M. *Climate Change and Food Security in Russia: Historical Analysis and Model Forecasts*. Moscow, 2014, 303 p. (In Russian).

Dronin N.M., Bellinger E.G. *Climate Dependence and Food Problems in Russia, 1900–1990: The Interaction of Climate and Agricultural Policy and Their Effect on Food Problems*. Budapest: Central European University Press, 2005, 366 p.

Economics and Land Use Planning. Edited by A.W. Evans. Oxford: Blackwell Publishing Ltd., 2004, 224 p.

Ennew C.T. A Model of Import Demand for Grain in the Soviet Union. *Food Policy*, 1987, vol. 12, issue 2, pp. 106–115. DOI: 10.1016/0306-9192(87)90027-3.

Eremin A.A., Bykov N.I. *Demographic Situation in the Altai Territory at the Present Stage (1990–2010)*. Altai State University. Barnaul, 2011, 272 p. (In Russian).

Fischer G., Nachtergaele F.O., Prieler S., Teixeira E., Toth G., van Velthuizen H., Verelst L., Wiberg D. *Global Agro-Ecological Zones (GAEZ v. 3.0)*. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2012. Laxenburg, Austria, FAO, Rome, Italy.

Fischer J. Land Sparing Versus Land Sharing: New Evidence. *Ideas for Sustainability*, 2013. Available at: http://ideas4sustainability.wordpress.com/2013/04/03/land-sparing-versus-land-sharing-new-evidence/ (accessed November 2017).

Foley J.A. Global Consequences of Land Use. *Science*, 2005, vol. 309, issue 5734, pp. 570–574. DOI: 10.1126/science.1111772.

Garrett R.D., Lambin E.F., Naylor R.L. Land Institutions and Supply Chain Configurations as Determinants of Soybean Planted Area and Yields in Brazil. *Land Use Policy*, 2013, vol. 31, pp. 385–396. DOI: 10.1016/j.landusepol.2012.08.002.

Gooding M.J., Davies W.P. *Wheat Production and Utilization: Systems, Quality and the Environment*. New York: CABI Publishing, 1997, 352 p.

Götz L., Glauben T., Brümmer B. Wheat Export Restrictions and Domestic Market Effects in Russia and Ukraine During the Food Crisis. *Food Policy*, 2013, vol. 38, pp. 214–226. DOI: 10.1016/j.foodpol.2012.12.001.

Hamilton S.H., Pollino C.A., Jakeman A.J. Habitat Suitability Modelling of Rare Species Using Bayesian Networks: Model Evaluation under Limited Data. *Ecological Modelling*, 2015, vol. 299, pp. 64–78. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.12.004.

Hassan I., Chattha M.B., Chattha T.H., Ali M.A. Factor Affecting Wheat Yield: A Case Study of Mixed Cropping Zone of Punjab. *Journal of Agricultural Research*, 2010, vol. 48, issue 3, pp. 403–408.

Heckerman D., Geiger D., Chickering D. Learning Bayesian Networks: The Combination of Knowledge and Statistical Data. *Machine Learning September*, 1995a, vol. 20, issue 3, pp. 197–243. DOI: 10.1007/BF00994016.

Heckerman D., Mamdani A., Wellman M.P. Real-World Applications of Bayesian Networks. *Communications of the ACM*, 1995b, vol. 38, issue 3, pp. 24–26.

Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Edited by A.N. Afonin, S.L. Greene, N.I. Dzyubenko, A.N. Frolov. Economic Plants and Their Diseases, Pests and Weeds, 2008. Available at: http://www.agroatlas.ru/ru/index.html (accessed November 2017).

IPCC, 2000. Special Report on Emissions Scenarios. Cambridge University Press, Cambridge. Special Report on Emissions Scenarios. Intergovenmiental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2000, 608 p. Available at: https://www.ipcc.ch/report/emissions-scenarios/(accessed November 2018).

Jensen F.V., Nielsen T.D. *Bayesian Networks and Decision Graphs*. New York: Springer-Verlag, 2007, 448 p. DOI: 10.1007/978-0-387-68282-2.

Josephson P., Dronin N., Mnatsakanian R., Cherp A., Efremenko D., Larin V. *An Environmental History of Russia.* Cambridge; New York: Cambridge University Press, 2013, 352 p.

Kamp J. Land Management: Weighing Up Reuse of Soviet Croplands. *Nature*, 2014, vol. 505, issue 7484, pp. 483. DOI: 10.1038/505483d.

Kherad M., Ahani H., Kousari M.R., Beyraghdar Kashkooli A., Karampour M.A. Evaluation of Education and Water Resource Types on Some Wheat Land Features, Using Fars Comprehensive Agricultural Database (Case Study; Pasargad, Iran). *Environment, Development and Sustainability August,* 2013, vol. 15, issue 4, pp. 1129–1142. DOI: 10.1007/s10668-012-9428-7.

Kogan F., Guo W. Early Twenty-First-Century Droughts During the Warmest Climate. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 2016, vol. 7, issue 1, pp. 127–137. DOI: 10.1080/19475705.2013.878399.

Lambin E.F., Meyfroidt P. Global Land Use Change, Economic Globalization, and the Looming Land Scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, vol. 108, issue 9, pp. 3465–3472. DOI: 10.1073/pnas.1100480108.

Licker R., Johnston M., Foley J.A., Barford C., Kucharik C.J., Monfreda C., Ramankutty N. Mind the Gap: How do Climate and Agricultural Management Explain the 'Yield Gap' of Croplands Around the World? *Global Ecology and Biogeography*, 2010, vol. 19, issue 6, pp. 769–782. DOI: 10.1111/j.1466-8238.2010.00563.x.

Liefert W., Liefert O. *Changing Crop Area in the Former Soviet Union Region (A Report from the Economic Research Service)*. FDS17b-01, USDA, Washington, D.C., 2017. Available at: https://www.ers.usda.gov/webdocs/publications/82573/fds-17b-01.pdf?v=0 (accessed November 2017).

Liefert W.M., Liefert O. Russian Agriculture during Transition: Performance, Global Impact, and Outlook. *Applied Economic Perspectives and Policy*, 2012, vol. 34, issue 1, pp. 37–75. DOI: 10.1093/aepp/ppr046.

Lioubimtseva E., Henebry G.M. Grain Production Trends in Russia, Ukraine and Kazakhstan: New Opportunities in an Increasingly Unstable World? *Frontiers of Earth Science*, 2012, vol. 6, issue 2, pp. 157–166. DOI: 10.1007/s11707-012-0318-y.

Lobell D.B., Cassman K.G., Field C.B., Crop Yield Gaps: Their Importance, Magnitudes, and Causes. *Annual Review of Environment and Resources*, 2009, vol. 34, pp. 179–204. DOI: 10.1146/annurev.environ.041008.093740.

Madsen A.L., Jensen F., KjæRulff U.B., Lang M. The HUGIN tool for Probabilistic Graphical Models. *International Journal on Artificial Intelligence Tools*, 2005, vol. 14, no. 3, pp. 507–543. DOI: 10.1142/S0218213005002235.

Mallampalli V.R., Mavrommati G., Thompson J., Duveneck M., Meyer S., Ligmann-Zielinska A., Druschke C.G., Hychka K., Kenney M.A., Kok K., Borsuk M.E. Methods for Translating Narrative Scenarios Into Quantitative Assessments of Land Use Change. *Environmental Modelling & Software*, 2016, vol. 82, pp. 7–20. DOI: 10.1016/j.envsoft.2016.04.011.

Mann M.L., Warner J.M. Ethiopian Wheat Yield and Yield Gap Estimation: A Spatially Explicit Small Area Integrated Data Approach. *Field Crops Research*, 2017, vol. 201, pp. 60–74. DOI: 10.1016/j.fcr.2016.10.014.

McCauley M. *Khrushchev and the Development of Soviet Agriculture: The Virgin Land Programme, 1953–1964*. New York: Holmes & Meier Pub., 1977, 232 p.

Mendelsohn R., Nordhaus W.D., Shaw D. The Impact of Global Warming on Agriculture: A Ricardian Analysis. *The American Economic Review*, 1994, vol. 84, no. 4, pp. 753–771.

Menne M.J., Durre I., Korzeniewski B., McNeal S., Thomas K., Yin X., Anthony S., Ray R., Vose R.S., Gleason B.E., Houston T.G. *Global Historical Climatology Network-Daily (GHCN-Daily), Version 3*. National Centers for Environmental Information; National Climatic Data Center, 2012. Available at: https://data.nodc.noaa.gov/cgi-bin/iso?id=gov.noaa.ncdc:C00861 (accessed November 2017).

Mueller N.D., Gerber J.S., Johnston M., Ray D.K., Ramankutty N., Foley J.A. Closing Yield Gaps Through Nutrient and Water Management. *Nature*, 2012, vol. 490, pp. 254–257. DOI: 10.1038/nature11420.

Nefedova T.G. Russian Agricultural Resources and the Geography of Their Use in Import-Substitution Conditions. *Regional Research of Russia,* October 2016, vol. 6, issue 4, pp. 292–303. DOI: 10.1134/S2079970516040122.

Netica Version 5.18. Norsys Software Corporation, 2015. Available at: https://www.norsys.com/ (accessed November 2017).

On the Statement of the Order of Providing from the Regional Budget of Subsidies for Rendering Incoherent Support of Agricultural Producers in the Field of Plant Growing: the Resolution of Administration of Altai Krai of February 21, 2014 No. 70 (Changed on July 8, 2015, the resolution No. 26). Available at: https://www.altairegion22.ru/upload/iblock/ef3/70_14.pdf (accessed November 2017). (In Russian).

Osborne S., Trueblood M.A. An Examination of Economic Efficiency of Russian Grop Production in the Reform Period. *Agricultural Economics*, 2006, vol. 34, issue 1, pp. 25–38. DOI: 10.1111/j.1574-0862.2006.00100.x.

Paramonov E.G., Ishutin Ya.N., Simonenko A.P. *Kulunda Steppe: Problem of Desertification*. Edited by L.I. Bazina. Barnaul, 2003, 137 p. (In Russian).

Pavlova V.N., Varcheva S.E., Bokusheva R., Calanca P. Modelling the Effects of Climate Variability on Spring Wheat Productivity in the Steppe Zone of Russia and Kazakhstan. *Ecological Modelling*, 2014, vol. 277, pp. 57–67. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2014.01.014.

Pearl J. *Causality: Models, Reasoning, and Inference*. Cambridge University Press, 2009, 484 p.

Peterson G.D., Cumming G.S., Carpenter S.R. Scenario Planning: A Tool for Conservation in an Uncertain World. *Conservation Biology*, 2003, vol. 17, issue 2, pp. 358–366. DOI: 10.1046/j.1523-1739.2003.01491.x

Ponkina E., Bavorova M., Prishchepov A.V., Kovaleva I. *Positive Quantitative Analysis of Farms Regarding Natural Conditions, Structure, Production Program, Factor Endowment, Productivity, Economic Success and Income. Technical Report. Working Paper. Subproject 8*, 66 p.

Ponkina E., Belyaev V., Bovarova M., Prishchepov A., Maynel T., Bugay Yu., Kovaleva I., Kozhanov N., Kazardzhyan M., Fryuauf M. *Economic, Environmental, Technological Factors and Results of Agricultural Enterprises in the Kulunda Steppe*. Barnaul, 2014, 140 p. (In Russian).

Prishchepov A.V., Schierhorn F., Dronin N., Ponkina E., Müller D. 800 Years of Agricultural Land-Use Change in Asian (Eastern) Russia // Edited by M. Frühauf, G. Guggenberger, T. Meinel, I. Theesfeld, S. Lentz. *KULUNDA: Climate Smart Agriculture. South Siberian Agro-Steppe as Pioneering Region for Sustainable Land Use.* Cham: Springer International Publishing, 2020.

Regions of Russia. Socio-Economic Indicators. 2013: Statistical Compendium. Federal State Statistics Service, 2013. Available at: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1138623506156 (accessed November 2017). (In Russian).

Russian Federation: Analysis of the Agribusiness Sector in Southern Russia. Report Series No. 13. FAO, FAO Investment Centre; EBRD Cooperation Programme, 2009, 109 p. Available at: http://www.fao.org/3/a-aj281e.pdf (accessed November 2017).

Rylko D., Jolly R.W. Russia's New Agricultural Operators: Their Emergence, Growth and Impact. *Comparative Economic Studies*, 2005, vol. 47, pp. 115–126. DOI: 10.1057/palgrave.ces.8100087.

Schierhorn F., Faramarzi M., Prishchepov A.V., Koch F.J., Müller D. Quantifying Yield Gaps in Wheat Production in Russia. *Environmental Research Letters*, 2014, vol. 9, no. 8, 12 p. DOI: 10.1088/1748-9326/9/8/084017.

Second Roshydromet Assessment Report on Climate Change and Its Consequences in Russian Federation. General Summary. Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Moscow: Roshydromet, 2014, 56 p. Available at: http://downloads.igce.ru/publications/OD_2_2014/v2014/pdf/resume_ob_eng.pdf (accessed November 2017).

Simulation Growth Model WOFOST Crop Plants and its Use for the Analysis of Land Productivity of Russia. Edited by I.Yu. Savin, V.S. Stolbovoi, K. van Diepen. V.V. Dokuchaev Soil Science Institute. Moscow: RAAS, 2001, 216 p. (In Russian).

State Program for the Development of Agriculture and Regulation of Markets of Agricultural Products, Raw Materials and Food for 2013–2020: Approved by the Government of the Russian Federation on July 14, 2012 No. 717. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, 2013. (In Russian).

Sun Z., Müller D. A Framework for Modeling Payments for Ecosystem Services with Agent-Based Models, Bayesian Belief Networks and Opinion Dynamics Models. *Environmental Modelling and Software*, 2013, vol. 45, pp. 15–28. DOI: 10.1016/j.envsoft.2012.06.007.

Swinnen J., Burkitbayeva S., Schierhorn F., Prishchepov A.V., Müller D. Production Potential in the 'Bread Baskets' of Eastern Europe and Central Asia. *Global Food Security*, 2017, vol. 14, pp. 38–53. DOI: 10.1016/j.gfs.2017.03.005.

System of Agriculture in the Altai Region. Altai Research Institute of Agriculture. Novosibirsk, 1981, 326 p. (In Russian).

The Oxford Handbook of Land Economics, Oxford Handbooks in Economics. Edited by J.M. Duke, J.J. Wu. Oxford University Press, 2014, 768 p.

Theesfeld I., Jelinek L. A Misfit in Policy to Protect Russia's Black Soil Region. An Institutional Analytical Lens Applied to the ban on Burning of Crop Residues. *Land Use Policy*, 2017, vol. 67, pp. 517–526. DOI: 10.1016/j.landusepol.2017.06.018.

Tittonell P., Vanlauwe B., Leffelaar P.A., Rowe E.C., Giller K.E. Exploring Diversity in Soil Fertility Management of Smallholder Farms in Western Kenya. *Agriculture, Ecosystems and Environment Agric*, 2005, vol. 110, pp. 149–165. DOI: 10.1016/j.agee.2005.04.001.

Trueblood M.A., Arnade C. Crop Yield Convergence: How Russia's Yield Performance Has Compared to Global Yield Leaders. *Comparative Economic Studies*, 2001, vol. 43, issue 2, pp. 59–81. DOI: 10.1057/ces.2001.8.

Uusitalo L. Advantages and Challenges of Bayesian Networks in Environmental Modelling. *Ecological Modelling*, 2007, vol. 203, pp. 312–318. DOI: 10.1016/j.ecolmodel.2006.11.033.

Van Ittersum M.K., Cassman K.G., Grassini P., Wolf J., Tittonell P., Hochman Z., Yield Gap Analysis with Local to Global Relevance: A Review. *Field Crops Research*, 2013, vol. 143, pp. 4–17. DOI: 10.1016/j.fcr.2012.09.009.

Visser O., Mamonova N., Spoor M. Oligarchs, Megafarms and Land Reserves: Understanding Land Grabbing in Russia. *The Journal of Peasant Studies*, 2012, vol. 39, issue 3–4, pp. 899–931. DOI: 10.1080/03066150.2012.675574.

Visser O., Spoor M., Mamonova N. Is Russia the Emerging Global 'Breadbasket'? Re-Cultivation, Agroholdings and Grain Production. *Europe-Asia Studies*, 2014, vol. 66, issue 10, pp. 1589–1610. DOI: 10.1080/09668136.2014.967569.

Yastrebova O. Nonpayments, Bankruptcy and Government Support in Russian Agriculture. *Comparative Economic Studies*, 2005, vol. 47, issue 1, pp. 167-180. DOI: 10.1057/palgrave.ces.8100088.

Поступила в редакцию 19 ноября 2018 г.