

УДК 332.3+338.4+631.1

## ДВИЖУЩИЕ ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧЕНИЯ И КОМПРОМИССЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВОЗВРАЩЕНИЕМ В ОБОРОТ ЗАБРОШЕННЫХ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ В РОССИИ, УКРАИНЕ И КАЗАХСТАНЕ

П. Мейфруа, Ф. Шьерхорн, А.В. Прищепов,  
Д. Мюллер, Т. Кюммерле

*Мейфруа Патрик* – Исследовательский центр Земли и климата им. Жоржа Леметра, Католический университет де Лювэн, 1348 Louvain-La-Neuve, Belgium; Фонд научных исследований F.R.S. – FNRS, 1000 Brussels, Belgium. E-mail: patrick.meyfroidt@uclouvain.be.

*Шьерхорн Флориан* – Институт аграрного развития в Центральной и Восточной Европе им. Лейбница (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, 06120 Halle (Saale), Germany; Департамент географии, Университет Гумбольдта в Берлине, Unter den Linden 6, 10099, Berlin, Germany. E-mail: schierhorn@iamo.de.

*Прищепов Александр Владимирович* – Университет Копенгагена, Департамент наук о Земле и рационального землепользования, Øster Voldgade 10, 1350 København K, Denmark; Институт аграрного развития в Центральной и Восточной Европе им. Лейбница (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, 06120 Halle (Saale), Germany; Институт степи УрО РАН, ул. Пионерская, 11, Оренбург, Россия, 460000. E-mail: alpr@ign.ku.dk, prialign@gmail.com.

*Мюллер Даниель* – Институт аграрного развития в Центральной и Восточной Европе им. Лейбница (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, 06120 Halle (Saale), Germany; Департамент географии, Университет Гумбольдта в Берлине, Unter den Linden 6, 10099, Berlin, Germany; Интегративный исследовательский институт по трансформации систем взаимодействия человека и окружающей среды (IRI THESys), Университет Гумбольдта в Берлине, Unter den Linden 6, 10099, Berlin, Germany. E-mail: mueller@iamo.de.

*Кюммерле Тобиас* – Департамент географии, Университет Гумбольдта в Берлине, Unter den Linden 6, 10099, Berlin, Germany; Интегративный исследовательский институт по трансформации систем взаимодействия человека и окружающей среды (IRI THESys), Университет Гумбольдта в Берлине, Unter den Linden 6, 10099, Berlin, Germany. E-mail: tobias.kuemmerle@hu-berlin.de.

---

© Мейфруа П., Шьерхорн Ф., Прищепов А.В., Мюллер Д., Кюммерле Т., 2016

© Прищепов А.В., перевод с английского языка, 2016

*Meyfroidt P., Schierhorn F., Prishchepov A.V., Müller D., Kuemmerle T.* Drivers, Constraints and Trade-Offs Associated with Recultivating Abandoned Cropland in Russia, Ukraine and Kazakhstan // Global Environmental Change. 2016. Vol. 37. Pp. 1–15. URL: DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2016.01.003.

Перевод статьи на русский язык и размещение его в журнале «Пространственная экономика» осуществлены с согласия авторов и в соответствии с лицензией издательства ELSEVIER № 3801750656687 от 3 февраля 2016 г.

Для удовлетворения растущей потребности в сельскохозяйственной продукции может потребоваться дополнительное увеличение площади пахотных земель. Одной из важных задач при этом является оценка компромиссов между социальными и экологическими воздействиями, с одной стороны, и преимуществ перевода дополнительных земельных участков в категорию пахотных земель – с другой. Увеличение площади пахотных земель за счет заброшенных может потребовать относительно невысоких затрат, особенно по сравнению с распашкой девственных территорий в тропических регионах.

Цели данного исследования заключались в оценке: 1) движущих факторов, ограничений и компромиссов, связанных с возвращением в оборот заброшенных пахотных земель; 2) площади потенциально доступных пахотных земель в России (европейской части и Западной Сибири), Украине и Казахстане – территориях, на которых находилась большая часть заброшенных пахотных земель постсоветского пространства. Используя пространственные панельные регрессии, сначала были оценены основные социально-экономические факторы забрасывания пахотных земель и обратного их возвращения в оборот. Затем были использованы составленные карты изменения сельскохозяйственного землепользования с тем, чтобы: 1) территориально оценить ограничения возможного возвращения в оборот заброшенных земель в плане социально-экономического аспекта, удаленности рынков сбыта сельскохозяйственной продукции и качества почв, и 2) исследовать компромиссы в плане экологии в отношении запасов углерода и среды обитания для биоразнообразия на заброшенных пахотных землях.

В 2000-е гг. отмечалась взаимосвязь между долей пахотных земель в определенном регионе и долей возвращенных в сельскохозяйственный оборот земель, а также уровнем интенсификации сельского хозяйства. Из 47,3 млн га (Мга) пахотных земель, заброшенных к 2009 г., было выявлено только в зависимости от сценария 8,5 (7,1–17,4) Мга потенциально доступных пахотных земель с высококачественными почвами (черноземами), с незначительными экологическими, низкими или умеренными социально-экономическими ограничениями и низкими ограничениями, связанными с удаленностью рынков сбыта сельскохозяйственной продукции. Распашка таких земель могла бы позволить увеличить производство пшеницы на ~ 14,3 (9,6–19,5) млн т (Мт). Также было выявлено 8,5 (4,2–12,4) Мга, для которых были характерны высокие компромиссы между распашкой и достигаемой урожайностью, связанные с выбросами углерода или уроном биологическому разнообразию, при этом ~ 10% таких земель могут быть привлекательны для увеличения площади пахотных земель, и, следовательно, будут необходимы меры для ограничения ввода таких земель в оборот. Агроэкологические, социально-экономические ограничения, а также ограничения, связанные с удаленностью рынков сбыта сельскохозяйственной продукции, показывают, что остальные 30,3 (25,7–30,6) Мга заброшенных пахотных земель вряд ли обеспечат существенный вклад в возможное расширение производства сельскохозяйственных культур при существующих ценах на пшеницу, однако могут быть использованы для предоставления различных экосистемных услуг, а некоторые из них – для экстенсивного животноводства. Политическая и институциональная поддержка может способствовать возвращению в оборот сельскохозяйственных земель посредством содействия инвестициям в сельское хозяйство и улучшения демографической ситуации в сельской местности. Возвращение в оборот заброшенных пахотных земель в исследуемых странах может обеспечить заметный вклад в мировое производство зерна с относительно низким экологическим компромиссом по сравнению с распашкой в тропических регионах. Однако этот подход не является панацеей для решения глобальных проблем продовольственной безопасности или снижения нагрузки землепользования в тропических экосистемах.

*Землепользование, возвращение в оборот заброшенных пахотных земель, восстановление дикой природы, сельскохозяйственное производство, продовольственная безопасность, производство продуктов питания, динамика углерода, биоразнообразие, постагрогенные земли, залежь, оставленные земли, неиспользуемые земли.*

DOI: 10.14530/se.2016.2.055-103

## 1. ВВЕДЕНИЕ

С ростом населения и увеличением благосостояния мир сталкивается с проблемой растущего спроса на продукты питания, волокно и биоэнергию. Кроме того, увеличиваются потребности в земельных ресурсах для использования в целях, связанных с депонированием углерода и сохранением биоразнообразия. Несмотря на то, что большую часть дополнительного производства придется обеспечивать за счет интенсификации, некоторое увеличение сельскохозяйственных земель может оказаться неизбежным [49]. Дефицит земельных ресурсов, рост цен на продовольствие в 2007–2008 гг. [27; 72] и последствия финансового кризиса 2008 г. привели к росту заинтересованности в выявлении регионов с неиспользуемыми или недостаточно используемыми земельными ресурсами, а также к приобретениям крупномасштабных земельных участков (скупке земли «land grabbing») [8; 10; 101]. Тем не менее большая часть земельных ресурсов, которые могут быть использованы в качестве дополнительных сельхозугодий, – нетронутые территории с высокой экологической ценностью, в частности, в тропических регионах, где наблюдается тенденция ограничения возвращения земель в оборот посредством многочисленных стратегий и инструментов [23; 26; 51; 52]. Кроме того, земли, пригодные для ведения сельского хозяйства, часто уже используются мелкими землевладельцами, в том числе владельцами животноводческих хозяйств [50]. Перевод таких земель в категорию пахотных может привести к высоким социальным издержкам и стать причиной конфликтов, как показали недавние дебаты о «скупке земельных ресурсов» [6]. Более того, расширение площади пахотных земель может ограничиваться различными агроэкологическими, социально-экономическими и политическими факторами. Таким образом, одной из важнейших задач является оценка ограничений и компромиссов, связанных с переводом земельных ресурсов в категорию пахотных земель, и выявление пахотных земель, потенциально доступных для возвращения в оборот с низкими социальными и экологическими издержками [14; 50].

В то время как в тропических регионах нагрузка на землепользование увеличивается, в других регионах мира она ослабевает [9; 57; 80]. Это особенно актуально в развитых странах в умеренной зоне, где выведение из оборота (забрасывание) сельскохозяйственных земель и восстановление лесных массивов получили широкое распространение в связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства (например, вследствие внедрения новых технологий, более высоких уровней вложений), политикой землепользования, увеличением объемов продаж сельскохозяйственных товаров и структурными изменениями в сельском хозяйстве [55]. Например,

в XX в. в восточной части Северной Америки наблюдалось значительное восстановление лесных массивов на заброшенных сельскохозяйственных землях [80]. Выведение сельскохозяйственных земель из оборота являлось основной тенденцией землепользования в Европе, в основном в течение последних десятилетий [17; 31; 64]. Забрасывание сельскохозяйственных земель наиболее часто наблюдалось в регионах, малоперспективных для сельского хозяйства, включая горные районы [24; 54], засушливые районы Средиземноморья [73; 95] и в Скандинавии [16]. Наряду с этим, забрасывание сельскохозяйственных земель также наблюдалось в районах, благоприятных для сельского хозяйства, вследствие различных социально-экономических и политических факторов [4; 97].

Забрасывание сельскохозяйственных земель и восстановление естественной растительности могут приводить к неоднозначным результатам, в зависимости от обстоятельств и факторов [57]. Забрасывание сельскохозяйственных земель создает потенциал для экологического восстановления, например, для депонирования (секвестрации) углерода в почве и растительном покрове [47; 48; 87] и восстановления биологических видов, чувствительных к различным типам землепользования [9; 40; 79]. В некоторых случаях забрасывание сельскохозяйственных земель может также снизить водообеспеченность [81], привести к возникновению риска пожаров за счет накопления сухой биомассы на заброшенных землях и прилегающих лесных территориях [62], засолению почв [70], а также оказать негативное воздействие, способствующее эрозии почв [84; 93]. Забрасывание земель также может представлять опасность для сохранения биоразнообразия на сельскохозяйственных землях [74; 79] и ландшафтов со статусом культурного наследия [21], а также способно усилить географическое смещение производства сельскохозяйственной продукции и его негативное воздействие на окружающую среду в более чувствительных регионах [41; 58]. Таким образом, при определенных условиях возвращение в оборот заброшенных сельскохозяйственных земель в регионах с умеренным климатом может быть привлекательным вариантом для увеличения объема производства с одновременным смягчением некоторых нежелательных последствий забрасывания сельскохозяйственных земель и необходимости расширения площади сельскохозяйственных угодий в других регионах.

Большая часть неиспользуемых в настоящее время сельскохозяйственных земель находится на территории Восточной Европы и бывшего Советского Союза. В частности, в России, Украине и Казахстане, где сосредоточено большое количество заброшенных сельскохозяйственных земель [17; 35; 45; 78], на которые в 1991 г. приходилось 90% всех пахотных земель Советского Союза [19]. Распад Советского Союза и последующий переход от государственной командно-административной экономики к рыночной

оказали значительное влияние на сельское хозяйство [34]. Незаконченные или неначатые аграрные реформы, утрата гарантированных рынков сбыта сельскохозяйственной продукции, резкое снижение производственных субсидий и крах животноводческого сектора привели к забрасыванию больших участков пахотных земель [36; 77; 83]. В период 1991–2000 гг. заброшенными числилось около 31%, или 57 Мга, пахотных земель в рассматриваемых странах (России, Украине и Казахстане) [42; 82; 96], преимущественно (но не исключительно) в районах, малоперспективных с социально-экономической и агроэкологической точек зрения [34; 78]. После 2000 г. выведение из оборота сельскохозяйственных земель в России продолжалось за пределами областей Черноземья, особенно в Нечерноземье и в засушливых степных регионах [87]. Социально-экономические механизмы, лежащие в основе выведения из оборота сельскохозяйственных земель на постсоветском пространстве, до сих пор недостаточно исследованы, так как большая часть существующих исследований была посвящена факторам, объясняющим территориальные особенности выведения земель из оборота в местных условиях [34]. Более того, несмотря на то, что урожайность или агроэкологическая пригодность, удаленность от населенных пунктов и рынков сбыта и демография, как было показано, влияют на схемы выведения сельскохозяйственных земель из оборота, значимость и степень влияния этих факторов варьировались в зависимости от места и времени [4; 63; 78; 99].

По мере восстановления экономики и увеличения отечественных и иностранных инвестиций в сельское хозяйство после 2000 г. началось возвращение в оборот некоторых заброшенных пахотных земель, в частности, в благоприятных с точки зрения сельского хозяйства черноземных областях на юге европейской части России, в Украине и Северном Казахстане. Эти страны недавно снова заявили о себе как о важных игроках на мировом рынке зерна [71; 88], чему способствовали рост урожайности, особое внимание производству зерна, а также смещение производства животноводческой продукции – в основном в Бразилию [78; 90]. Возвращение в оборот подходящих, но в настоящее время заброшенных пахотных земель может в дальнейшем усилить влияние России, Украины и Казахстана в качестве основных поставщиков зерна. При этом мало что известно об экологических и социально-экономических последствиях возвращения в оборот заброшенных сельскохозяйственных земель. Поскольку приблизительно 10–15% заброшенных пахотных земель уже покрыты молодым лесом, особенно в умеренной климатической зоне [76; 92], и с 1991 г. в почве накопилось большое количество углерода [48; 87], экологические и экономические издержки возвращения сельскохозяйственных земель в оборот могут быть весьма значительными.

Цели настоящего исследования состояли в количественной оценке движущих факторов, социально-экономических, агроэкологических ограничений и ограничений, связанных с удаленностью рынков сбыта, а также компромиссов между экологическими издержками (выброс депонированного углерода на заброшенных землях при потенциальной распашке и сохранение биоразнообразия) и ожидаемой урожайностью зерновых культур, связанных с возвращением в оборот заброшенных пахотных земель в России, Украине и Казахстане. Была поставлена задача оценить потенциально доступные пахотные земли (определенные в качестве умеренно- или высокопродуктивных земельных ресурсов), которые могли бы использоваться в ближайшие годы для неорошаемого возделывания сельскохозяйственных культур при низком или умеренном уровне капиталовложений и которые не находятся в интенсивном использовании, не защищены юридически или не покрыты лесом [50].

Сначала был выполнен эконометрический анализ социально-экономических движущих факторов вывода из оборота и возвращения в оборот пахотных земель, который позволил оценить ограничения относительно возвращения в оборот. Затем были объединены результаты этого анализа с новейшими картами динамики использования пахотных земель и углеродных балансов для исследуемой территории, а также со вспомогательными данными для оценки биоразнообразия и пригодности таких земель для растениеводства. В частности, была выполнена оценка по территориям: 1) социально-экономических и агроэкологических ограничений в отношении возвращения в оборот заброшенных пахотных земель, включая требования к инфраструктуре, доступу к рынкам, трудовым ресурсам и качеству почв; 2) экологических компромиссов между накопленным углеродом и условий для биоразнообразия и ожидаемой урожайностью на заброшенных землях. Блок-схема методологии исследования представлена на рисунке 1.

## 2. ДАННЫЕ И МЕТОДЫ

### 2.1. Составление карт заброшенных и возвращаемых в оборот земель

Данное исследование проводилось для Украины, Казахстана и России: европейской части и запада азиатской части от Урала до Алтайского края (далее – Западная Сибирь). Из исследования были исключены три области вследствие отсутствия данных, две крупные территории – Москвы и Санкт-Петербурга, а также северные области, в которых пахотные земли отсутствуют. Территория исследования для России включала в себя 31,4 Мга заброшенных пахотных земель из приблизительно 41 Мга

**КАТЕГОРИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ И КОМПРОМИССОВ ОТНОСИТЕЛЬНО ЗАБРОШЕННЫХ ПАШЕН, ВЫДЕЛЕНИЕ КЛАСТЕРОВ**

Карта классификации заброшенных пашен в семь категорий (рис. 3, 4, 5, табл. 3):  
 1. Земли с высокими экологическими компромиссами (или) высокой природоохранной ценностью (все остальные категории имеют низкие экологические компромиссы).  
 2. Земли в черноземной зоне с низкими ограничениями или одним умеренным ограничением (социально-экономическим или по доступности рынков сбыта).  
 3. Земли в черноземной зоне со значительным ограничением по доступности рынков сбыта и незначительными социально-экономическими ограничениями.  
 4. Земли в черноземной зоне со значительным социально-экономическим ограничением и низким ограничением по доступности либо умеренными ограничениями по обоим показателям.  
 5. Земли в черноземной зоне с одним значительным и одним умеренным ограничением.  
 6. Земли за пределами черноземной зоны только с низкими ограничениями.  
 7. Земли за пределами черноземной зоны с умеренными или значительными ограничениями.

Расчет с использованием скользящего окна 25 км вокруг каждого пикселя  
 Карта кластеров преобладания различных категорий заброшенных земель (рис. 3е)

**ПОТЕНЦИАЛЬНОЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО НА ЗАБРОШЕННЫХ ПАШНЯХ**

Ежегодные данные урожайности пшеницы на уровне областей [89]  
 Низкие, средние и высокие значения урожайности с 2004 по 2013 г.  
 Потенциальное производство пшеницы для различных категорий заброшенных пашен с учетом неопределенностей относительно урожайности (рис. 6)

**ОГРАНИЧЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО ВОЗМОЖНОЙ РАСПЯТКИ ЗАБРОШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

Сценарий 1: пороговые значения 0 и 25% спространственной распятки. Сценарий 2: 5 и 30%. Сценарий 3: -5 и 20%  
 Карты социально-экономических ограничений (значительные / умеренные / низкие ограничения) (рис. 3а) (3 сценария)

Сценарий 1: пороговые значения 0,1 и 0,3 безразмерного индекса удаленности рынка сбыта. Сценарий 2: 0,15 и 0,35. Сценарий 3: 0,05 и 0,25  
 Карта индекса доступности [100]

Для выделения черхозема  
 Карта почв  
 Карта ограничений, связанных с удаленностью рынков сбыта (значительные / умеренные / низкие ограничения) (рис. 3б) (3 сценария)

Порог  $ГТК > 0,6$   
 Порог  $Температура-дни > 1600$   
 Карта агроклиматических ограничений. Сценарии 0 и 2: только черхозем. Сценарий 3: площади с умеренными климатическими ограничениями (рис. 3в)

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПОСЛЕДСТВИЯ РАСПАТКИ ЗАБРОШЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ**

Сценарий 1: 2,5 МгС/Мг зерна в год; Сценарий 2: 2,5. Сценарий 3: 5 МгС/Мг зерна в год  
 Депонирование углерода на заброшенных землях. Данные экстраполированы из [87]

Ежегодные статистические данные по производству зерна на уровне областей из официальных источников  
 Буферная зона 5 км. Низкие компромиссы (3 сценария)

Карты высоких компромиссов относительно депонированного углерода (рис. 3г) (3 сценария)  
 Карты высоких компромиссов относительно биоразнообразия (рис. 3д) (3 сценария)  
 Карты ООПТ, малонарушенные леса, 200-метровый буферный пояс сохранения биоразнообразия

**ДВИЖУЩИЕ ФАКТОРЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ**

Социально-экономические движущие факторы забрасывания пахотных земель регрессионные модели (1991-1996) и обратного вращения (2006-2009) (табл. 2)  
 Социально-экономическая статистика на уровне областей (табл. 1)

**КАРТИРОВАНИЕ ЗАБРОШЕННЫХ ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ И ИХ ВОЗВРАЩЕНИЯ В ОБОРОТ**  
 Пространственное дезагрегирование данных на основе [87]

Статистика по землепользованию на основе официальных статистических данных, а также данные дистанционного зондирования  
 Карты обрабатываемых и заброшенных земель

Рис. 1. Блок-схема методологии исследования

Примечание. Жирным шрифтом выделены основные результаты анализа, отраженные в таблицах и на рисунках. Сценарий 1 – базовый сценарий отражает общий тренд, с умеренными пороговыми значениями для ограничений и компромиссов. Сценарий 2 – низкие пороговые значения для ограничений и компромиссов, в результате чего была получена более низкая оценка площади потенциально доступных пахотных земель. Сценарий 3 – высокие пороговые значения для ограничений и компромиссов, в результате чего была получена увеличенная площадь потенциально доступных пахотных земель.

заброшенных пахотных земель, зафиксированных на территории всей страны. Оставшиеся около 10 Мга заброшенных пахотных земель в Восточной Сибири и на Дальнем Востоке России в настоящем исследовании не оценивались в связи с отсутствием непротиворечивых данных. Площадь пахотных земель в Советском Союзе достигла своего пика в 1970-е гг. и начала медленно уменьшаться уже в 1980-е гг. [65]. В качестве потенциально доступных пахотных земель для настоящего исследования были отобраны только пахотные земли, заброшенные после 1991 г., поскольку земли, заброшенные до 1991 г., как правило, были малопригодными для возделывания сельскохозяйственных культур или деградировали, постепенно вернувшись в состояние природных лесов или степей с вероятным большим накоплением углерода и восстановлением биоразнообразия за прошедшие годы.

Все расчеты проводились в равновеликой конической проекции Альберса. Для составления карты заброшенных пахотных земель и земель, возвращаемых в оборот, использовалась методология из работы [87]. В настоящем исследовании использовался метод пространственного распределения статистических сведений, а именно данных о ежегодно засеваемых площадях, на региональном (областном) уровне, а также на основе карты пригодности пахотных земель с пространственным разрешением 1 км<sup>2</sup> (см. *рис. 1*). Пригодность пахотных земель оценивали с использованием пространственной регрессии, устанавливающей взаимосвязь урожайности зерновых культур с биофизическими характеристиками и удаленностью от населенных пунктов и потенциальных рынков сбыта на уровне районов в европейской части России, Украине и Беларуси (*рис. 1*). Полученные ежегодные карты площади пахотных земель позволили рассчитать годы вывода сельскохозяйственных земель из оборота и возвращения в оборот на 1 пиксель в период 1991–2009 гг. Таким образом, карты соответствовали официальной статистике посевных площадей на уровне областей, наиболее надежному источнику для оценки динамики площади пахотных земель [34; 87]. Общая точность карты пахотных земель на 2003 г. составляла 65% из расчета по пикселям размера 1 км<sup>2</sup> [87]. Местоположение заброшенных пахотных земель соответствовало местоположению, определенному по картам, составленным с использованием спутниковых снимков, полученных с помощью сканирующего спектрорадиометра среднего разрешения (250 м) MODIS [17]. В настоящем исследовании метод пространственного распределения статистических данных был также применен для Казахстана и России (Западной Сибири).

## 2.2. Оценка ограничений в отношении возвращения сельскохозяйственных земель в оборот

### *Статистический анализ социально-экономических факторов вывода пахотных земель из оборота и их возвращения в оборот.*

Сначала на основе официальной статистики был подготовлен набор социально-экономических переменных (факторов) – ограничений потенциальной распашки заброшенных земель на областном уровне для трех стран. С помощью пакета SPLM в R [61] были оценены пространственные панельные регрессии с использованием модели с фиксированными эффектами для определения социально-экономических факторов, объясняющих забрасывание земель в период максимального вывода из оборота в период 1991–1996 гг., а также обратного возвращения в оборот заброшенных пахотных земель в период 2006–2009 гг. (см. *рис. 1*, блок «Движущие факторы изменения землепользования»). Выбор параметров был осуществлен из предположения, что выбранные факторы должны способствовать или препятствовать возвращению земель в оборот в краткосрочном и среднесрочном периодах. Подход в моделировании с учетом фиксированных эффектов позволил оценить важность социально-экономической динамики, одновременно обеспечивая контроль неменяющихся или медленно меняющихся во времени факторов, например, биофизических факторов (почв и климата), удаленности от населенных пунктов и других, характерных для определенной местности. Для рассматриваемых периодов были характерны наиболее динамичные процессы оборота сельскохозяйственных земель, когда 47% от общего вывода из оборота и 59% от общего возвращения в оборот за период 1991–2009 гг., произошли в 1991–1996 и 2006–2009 гг. соответственно. При выборе периодов исследования также принималось во внимание наличие непротиворечивых социально-экономических данных по всем трем странам. Вследствие изменения границ некоторые области были объединены, что позволило сформировать устойчивые административно-территориальные единицы в течение всего периода (например, путем объединения ряда областей в северном Казахстане). В общей сложности были использованы 94 территориальные единицы: 60 в России, 25 в Украине и 9 в Казахстане. Зависимыми переменными (*табл. 1*) были: 1) годовая скорость выведения из оборота пахотных земель за период 1991–1996 гг., рассчитанная для каждого года как отношение площади заброшенных земель (совокупная площадь заброшенных пахотных земель за вычетом площади земель, возвращенных в оборот) к общей площади пахотных земель в 1991 г., и 2) годовая скорость возвращения пахотных земель в оборот в течение периода 2006–2009 гг., рассчитанная как отношение совокупной площади земель, возвращенных в оборот после вывода из оборота, к совокупной площади заброшенных пахотных земель.

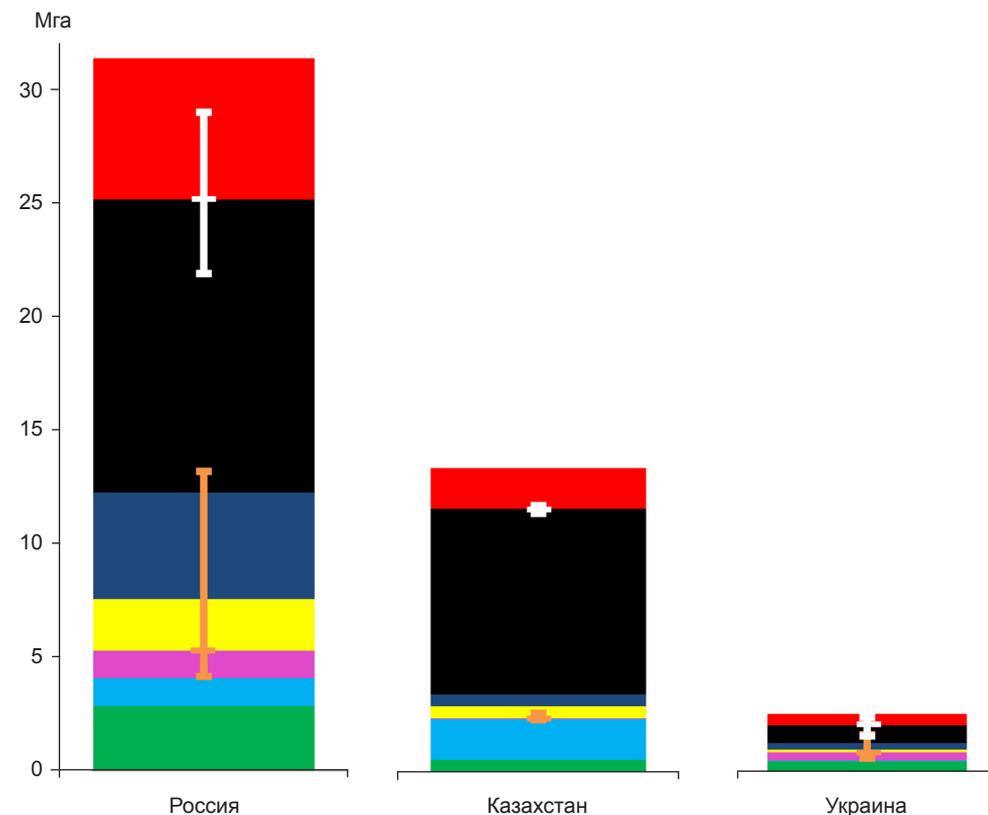
Таблица 1

**Описание переменных для анализа детерминант забрасывания пахотных земель и их последующего возвращения в оборот**

Переменная	1991–1996				2006–2009			
	среднее значение	стандартное отклонение	мин.	макс.	среднее значение	стандартное отклонение	мин.	макс.
Все три страны (n = 94)								
Доля заброшенных пашен относительно максимальной площади пашни, %	6,23	7,44	0,00	45,27	27,3	20,9	-5,66	77,98
Кумулятивная доля возвращенной в оборот пашни относительно общей площади заброшенных земель, %	0,00	0,00	0,00	0,00	15,7	28,5	0,00	193,98
Уровень рождаемости, кол-во рождений / 1000 чел.	11,5	4,24	0,00	29,35	12,4	4,3	7,90	32,02
Ожидаемая продолжительность жизни, лет	–		–	–	66,3	3,0	57,60	77,56
Плотность сельского населения, чел./км <sup>2</sup>	16,7	13,7	0,18	66,33	15,8	13,6	0,24	65,39
Доля населения, этнически отличного от доминирующей нации, %	25,4	23,6	2,62	93,21	27,0	25,5	2,19	98,19
Урожайность всех типов зерновых на 1 га посева зерновых, т/га	1,94	0,92	0,00	4,96	2,18	0,92	0,00	5,22

*Примечание.* Все переменные были сопоставлены с данными по изменению землепользования за те же годы (забрасывание и распашка). Данные были доступны с 1990 по 2009 г., поэтому первый год, для которого было рассчитано изменение землепользования, был 1991-й.

Основные гипотезы о социально-экономических факторах вывода из оборота сельскохозяйственных земель опирались на гипотезу так называемых социально-экономических «черных дыр», предполагающую, что вывод сельскохозяйственных земель из оборота происходит в основном в районах, которые, помимо агроэкологических ограничений, также характеризуются снижением численности населения, старением населения, низкими доходами и нехваткой квалифицированных трудовых ресурсов, а также низкой и снижающейся урожайностью [34]. В соответствии с этой гипотезой набор объясняющих переменных, влияющих на ограничение распашки заброшенных земель, включал в себя четыре демографических показателя: общий коэффициент рождаемости, ожидаемая продолжительность жизни в сельской местности (данные для Украины в период 1991–1996 гг. отсутствуют, таким



- Земли с высокими компромиссами
- Земли с комбинацией нескольких умеренных и значительных ограничений
- Земли с агроэкологическими ограничениями, а также с низкими и умеренными ограничениями других видов
- Земли со значительными социально-экономическими ограничениями и ограничениями по удаленности от рынков сбыта, с хорошими агроэкологическими условиями
- Земли с социально-экономическими ограничениями и с хорошими агроэкологическими условиями
- Земли с ограничениями по удаленности от рынков сбыта и с хорошими агроэкологическими условиями
- Земли с низкими или одним умеренным социально-экономическим ограничением или ограничением по удаленности от рынков сбыта, с хорошими агроэкологическими условиями

Рис. 2. Распределение заброшенных земель, потенциально доступных для распашки, в зависимости от компромиссов и ограничения по странам, Мга

*Примечание.* Столбики ошибок соответствуют неопределенностям по рассчитанным площадям, основываясь на сценариях 2 и 3 (табл. 3). Оранжевые столбики ошибок соответствуют неопределенностям всей потенциально доступной пашни с низкими ограничениями и компромиссами (сумма трех категорий зеленого, светло-голубого и сиреневого цвета). Белые столбики ошибок соответствуют категории с высокими климатическими компромиссами (отмечены красным). Для корректной интерпретации цветов на рисунках 2–5, пожалуйста, используйте взб-версию статьи.

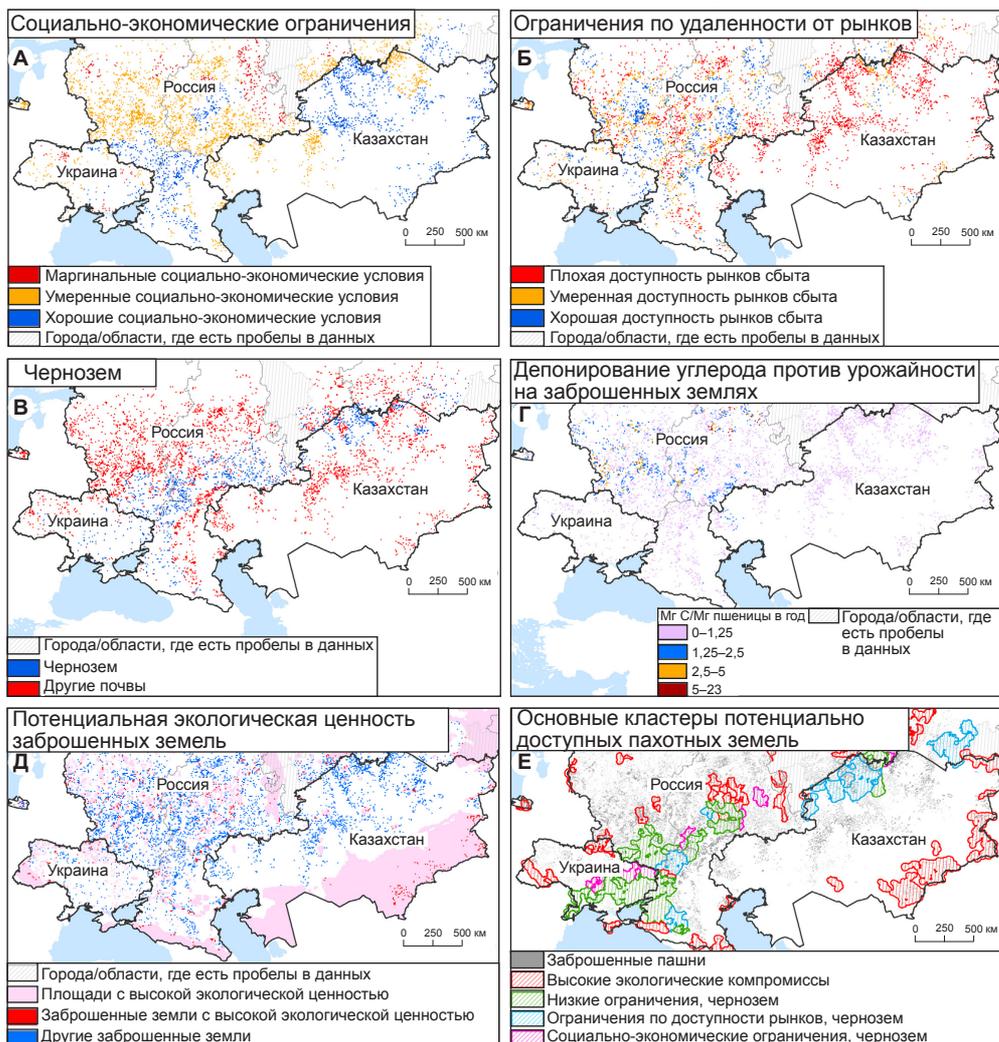


Рис. 3. Ограничения и экологические компромиссы потенциальной распашки заброшенных пашен:

- А – социально-экономические ограничения, основанные на панельных регрессиях с фиксированными регрессиями;
- Б – ограничения относительно доступности рынков сбыта;
- В – расположение чернозема;
- Г – депонирование углерода по отношению к потенциальной урожайности на заброшенных землях;
- Д – потенциальная значимость относительно сохранения биоразнообразия на заброшенных землях;
- Е – кластеры основных категорий комбинаций ограничений и компромиссов, связанных с заброшенными землями

*Примечание.* Для уточнения отображения данных на картах А – Е пиксели заброшенных пашен были трансформированы в данные 10-км разрешения, используя фильтр большинства. Карта отображает только кластеры с высокими экологическими компромиссами (отображены красным цветом) и категории, которые представляют весь пул потенциально доступных пашен с низкими (зеленый цвет) или одним умеренным ограничением (голубой и сиреневый цвета).

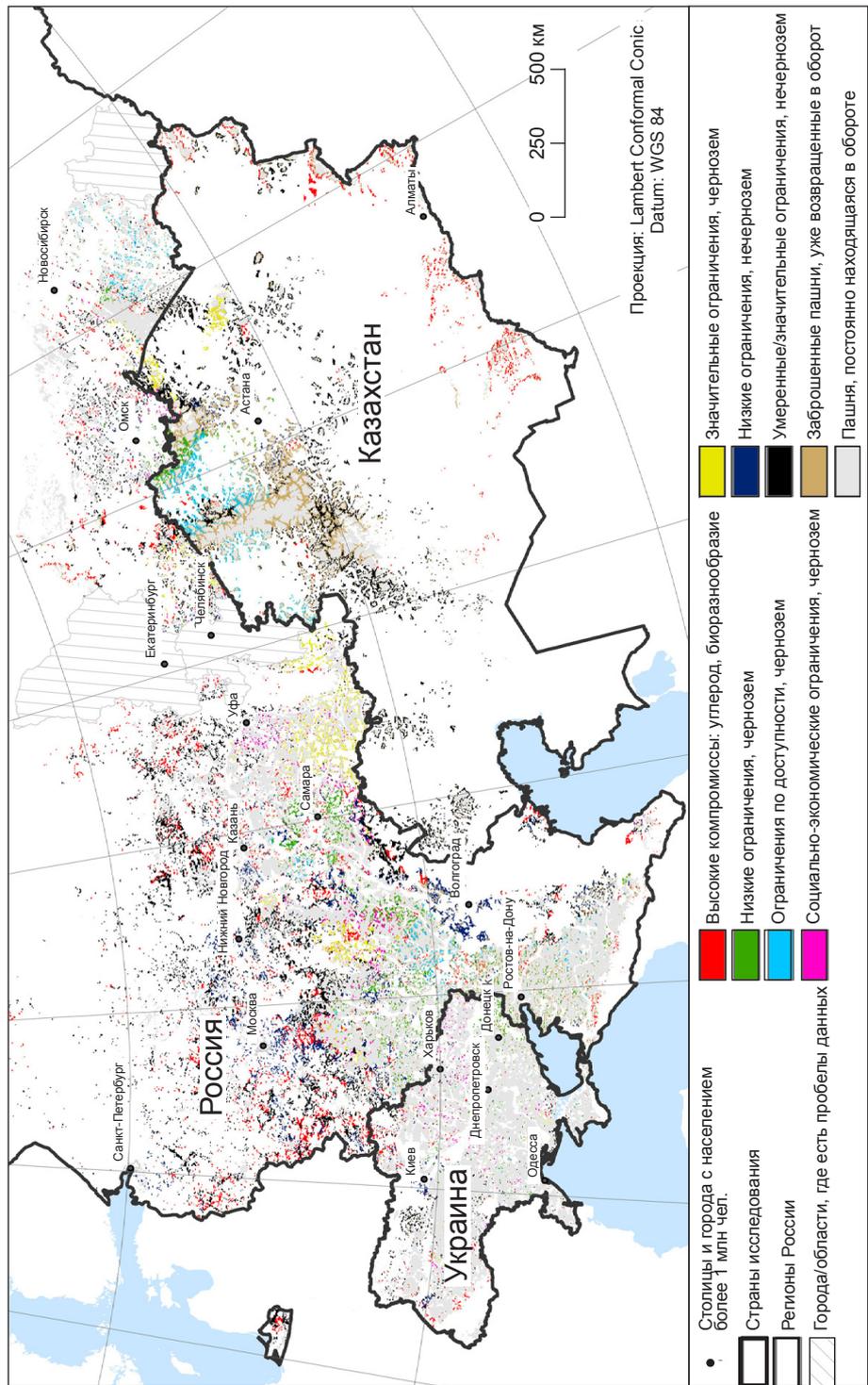


Рис. 4. Объединенные ограничения и компромиссы, связанные с потенциальной распашкой заброшенных земель в России, Украине и Казахстане

Примечание. Карта показывает семь категорий заброшенных пахотных земель. В дополнение показана пашня, которая постоянно находилась в обороте начиная с 1990 г., и пашня, заброшенная после 1990 г., но уже возвращенная в оборот к 2009 г. На карте представлены данные с 3-км разрешением (вместо изначальных данных с 1-км разрешением) для отфильтровывания шума в данных.

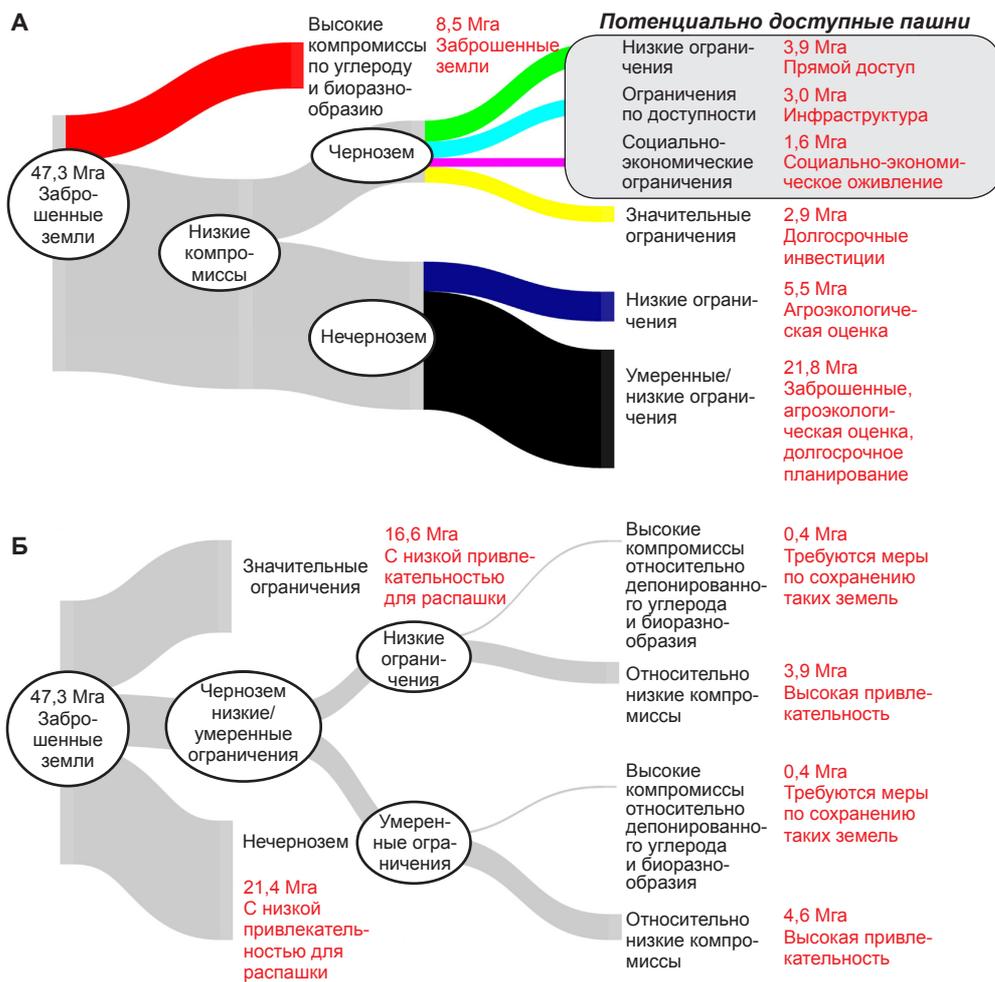


Рис. 5. Схемы Минарда/Занкей (Minard/Sankey charts) отображают два классификационных дерева для выделения приоритетов ограничений и компромиссов, связанных с потенциальной распашкой заброшенных земель, основываясь на базовом сценарии

*Примечание.* А. Приоритет – сохранение биоразнообразия. Исключаются территории со значительным негативным воздействием относительно биоразнообразия. Цвета соответствуют категориям, отраженным на рисунках 2, 3, 4. Зброшенне пашні с низкими значениями депонированного углерода и компромиссов относительно биоразнообразия, на черноземах, а также с низким или одним умеренным ограничением представляют пул потенциально доступной пашні; Б. Приоритет – благоприятное соотношение затрат и выгод для сельскохозяйственного производства, несмотря на экологические издержки.

образом, использовались данные только за период 2006–2009 гг.), плотность населения и этнический состав населения, т. е. процент населения, принадлежащего к этнической группе, отличной от группы, к которой относится большая часть населения страны (например, нерусские в Российской Федерации). Были использованы общие коэффициенты рождаемости, ожидаемая продолжительность жизни в сельской местности в качестве показателей возрастной структуры населения, его демографической активности и социально-экономического статуса. Ожидалось, что области с более старым и менее демографически активным населением будут отличаться меньшим количеством квалифицированных трудовых ресурсов, что приведет к увеличению площади выводимых из оборота сельскохозяйственных земель и будет препятствовать возвращению их в оборот [102]. Кроме того, изменения урожайности зерновых культур во времени использовались в качестве индикатора динамики интенсификации или деинтенсификации сельскохозяйственного производства. Контроль изменений урожайности позволил оценить взаимосвязи между изменениями интенсивности и масштабами землепользования, с учетом предположения о том, что причинно-следственная связь таких отношений возможна в обоих направлениях.

Для учета различных размеров и пространственных конфигураций территорий наблюдения была создана матрица весов пространственного взаимодействия, основанная на пяти ближайших «соседях» каждой области. Альтернативные формулы на основе смежности или разного числа «соседей» давали качественно сходные результаты. Был проведен анализ с использованием условных множителей Лагранжа, чтобы оценить наличие случайных воздействий и пространственных корреляционных эффектов [3; 61]. Параметры модели пространственного лага отражают сопутствующие эффекты (т. е. пространственные взаимодействия в результате влияния изменения зависимой переменной в одной области на изменения в соседней области, например, посредством эффектов постепенного распространения, агломерационных эффектов), в то время как параметры пространственной ошибки являются корректными для других источников пространственной автокорреляции, например, из-за упущенных независимых переменных, влияющих на соседние области. Были реализованы четыре модели забрасывания пахотных земель: одна агрегированная модель, использующая наблюдения для всех трех стран, а также по одной модели для каждой страны. Поскольку возвращение в оборот в большинстве областей не имело места в исследуемый период, была представлена только агрегированная (для всех трех стран) модель возвращения в оборот.

Традиционные показатели точности моделирования не подходят для пространственных панельных моделей с фиксированными эффектами и

для компонентов пространственного лага и пространственной ошибки [15]. Таким образом, каждая модель была пересчитана с использованием непространственных панельных регрессий, при прочих равных параметрах, и была оценена точность приближения этих моделей посредством расчета скорректированного  $R^2$ . С учетом того, что в каждой модели значительным был по крайней мере один пространственный компонент, а часто — оба, добавление пространственных компонентов, вероятно, улучшило результаты.

### ***Картирование социально-экономических, агроэкологических ограничений и ограничений по удаленности от рынков сбыта***

На следующем этапе было произведено картирование ограничений в отношении возвращения земель в оборот для каждого рассчитанного пикселя заброшенных пахотных земель.

Во-первых, для расчетов была использована доля земель, возвращенных в оборот за 2009 г. (самый последний доступный год), спрогнозированная в соответствии с агрегированной статистической моделью, в качестве показателя уровня социально-экономических барьеров для возвращения сельскохозяйственных земель в оборот. На основании естественных разрывов в гистограмме этот показатель был разделен на три категории: значительные (отрицательное аппроксимированное значение или отсутствие возвращения земель в оборот), умеренные (0–25% заброшенных земель, которые, по прогнозам, будут возвращены в оборот) и низкие ограничения (> 25%) (см. рис. 1, блок «Ограничения относительно возможной распашки заброшенных земель»).

Во-вторых, недостаточная доступность (т. е. значительное расстояние до потенциальных рынков и значительные транспортные издержки) является серьезным решающим фактором, определяющим выведение из оборота сельскохозяйственных земель в постсоветских странах [34; 78], и, таким образом, считается значительным ограничением для возвращения земель в оборот [101]. Был использован безразмерный индекс доступности, взятый из работы [100], с более низкими значениями, отражающими менее удовлетворительную доступность национальных и международных рынков сбыта (крупные города и порты). В соответствии с [100] были разработаны три категории ограничений по доступности рынков сбыта: значительное (индекс в диапазоне 0–0,1, т. е. проезд в крупный город занимает более 6 часов), умеренное (0,1–0,3, занимает 3–6 часов) и низкое (0,3–1, занимает менее 3 часов) (см. рис. 1, блок «Ограничения относительно возможной распашки заброшенных земель»).

В-третьих, агроэкологическая пригодность является важным движущим фактором забрасывания сельскохозяйственных земель [34; 45; 78], и, таким

образом, неблагоприятные агроэкологические условия должны ограничивать возвращение заброшенных земель в оборот. Пригодность для возделывания сельскохозяйственных культур сильно зависит от качества почвы и осадков, хотя последние оказывают весьма неоднородное воздействие на биомы [87]. Таким образом, наличие черноземов, которые характеризуются высоким плодородием для ведения сельского хозяйства [53; 87], использовались в качестве индикатора пригодности пахотных земель. Данные по почвам были получены из гармонизированной мировой базы данных о почвах [18]. В альтернативных сценариях также использовались два климатических показателя: гидротермальный коэффициент Селянинова (ГТК) [12; 13] в качестве индикатора засушливости на юго-восточных окраинах исследуемой территории и количество градусо-дней для дней с температурой выше  $10^{\circ}\text{C}$  (все данные получены из работы [1]). ГТК рассчитывается как отношение общего количества осадков и среднесуточной температуры воздуха в вегетационный период (дни со средней температурой  $> 5^{\circ}\text{C}$ ) (см. рис. 1, блок «Ограничения относительно возможной распашки заброшенных земель»).

### 2.3. Учет потенциальных экологических компромиссов возвращения сельскохозяйственных земель в оборот

Для территориальной оценки возможных компромиссов, связанных с возвращением сельскохозяйственных земель в оборот, мы оценили соотношение между запасами углерода и ожидаемой урожайностью зерна на заброшенных землях [86], а также кластеры биоразнообразия. В работе [87] была использована динамическая модель вегетации (Lund-Potsdam-Jena managed Land) (LPJmL) на сетке с размером ячейки  $0,5^{\circ}$  для расчета накопления углерода на заброшенных пахотных землях в европейской части России до 2009 г. и Украине до 2008 г. Данная модель была применена для расчета среднегодовой скорости накопления углерода на гектар для каждой ячейки  $0,5^{\circ}$ . Цифры, полученные для восточной части исследуемой территории, были очень низкими, и поэтому был использован стандартный кригинг для пространственной интерполяции и экстраполяции этого набора данных, чтобы оценить скорость накопления углерода по всему Казахстану и Западной Сибири. На основании скорости накопления углерода и года вывода земель из оборота было рассчитано количество накопленного углерода на пиксель заброшенных пахотных земель. Компромисс между содержанием углерода и урожайностью был рассчитан на пиксель как отношение между запасами углерода в  $\text{Mg C}\cdot\text{га}^{-1}$  и средней урожайностью зерновых культур за период 2004–2009 гг. в области в  $\text{Mg}\cdot\text{га}^{-1}\cdot\text{год}^{-1}$ . Было использовано пороговое значение  $2,5 \text{ Mg C/Mg зерна}\cdot\text{год}^{-1}$  для определения территорий с относи-

тельно высоким компромиссом в плане содержания углерода, возвращение которых в оборот может повлечь за собой высокие уровни выбросов углерода. Соответственно, земли со значением менее 2,5 Мг С/Мг зерна·год<sup>-1</sup> относились к землям с умеренным и низким компромиссом. Также были определены территории с потенциально высокой природоохранной ценностью и высокими компромиссами, на которых возврат пахотных земель в оборот может оказать неблагоприятное воздействие. К таким территориям были отнесены участки, расположенные внутри или в пределах 5-километровой защитной зоны: 1) охраняемых районов из Всемирной базы данных об особо охраняемых территориях (World Database of Protected Areas. IUCN/UNEP, 2013); 2) ненарушенных лесных ландшафтов [75]; 3) 200 глобальных приоритетных экорегионов [68] (см. *рис. 1*, блок «*Экологические последствия распашки заброшенных земель*»).

#### **2.4. Объединение ограничений и компромиссов и оценка потенциала сельскохозяйственного производства на заброшенных пахотных землях**

В данной работе были объединены вышеуказанные карты для определения семи категорий комбинаций ограничений и компромиссов при возможной распашке таких земель: 1) земельные ресурсы с высокими экологическими компромиссами и/или высокой природоохранной ценностью (все остальные категории имеют низкие экологические компромиссы); 2) земельные ресурсы в черноземной зоне с низкими ограничениями или одним умеренным ограничением (социально-экономическим или ограничением по доступности рынков сбыта); 3) земельные ресурсы в черноземной зоне со значительным ограничением по доступности рынков сбыта и незначительными социально-экономическими ограничениями; 4) земельные ресурсы в черноземной зоне со значительным социально-экономическим ограничением и низким ограничением по доступности либо умеренными ограничениями по обоим показателям; 5) земельные ресурсы в черноземной зоне с одним значительным и одним умеренным ограничением; 6) земельные ресурсы за пределами черноземной зоны только с низкими ограничениями и 7) земельные ресурсы за пределами черноземной зоны с умеренными или значительными ограничениями (см. *рис. 1*, блок «*Категории объединенных ограничений и компромиссов относительно заброшенных пашен, выделение кластеров*»). На основе базового сценария были построены два дерева принятия решений, чтобы показать, каким образом можно использовать авторский подход для отражения различных способов определения приоритетов ограничений и компромиссов с целью выявления заброшенных пахотных земель для различных целей.

Районы концентрации (hotspot) основных категорий комбинаций ограничений и компромиссов, связанных с заброшенными пахотными землями, были определены с помощью метода «скользящего окна» («moving window»), в котором рассчитывали категорию большей части заброшенных пахотных земель в окружности радиусом 25 км вокруг каждого пикселя (см. рис. 1, блок «Категории объединенных ограничений и компромиссов относительно заброшенных пашен, выделение кластеров»). Этот результат был преобразован в полигоны, и затем были удалены все полигоны площадью менее 5000 км<sup>2</sup>. Анализ чувствительности с использованием других размеров окон и минимальных пороговых значений показал аналогичные результаты. На основе этого подхода подобный район концентрации, как правило, отражал преобладание определенной категории комбинаций ограничений и компромиссов среди участков заброшенных пахотных земель. При этом такой район концентрации не обязательно включал в себя большие площади заброшенных пахотных земель. Кроме того, не все заброшенные пахотные земли в каждом из районов концентрации оценивались одинаково.

Для оценки неопределенностей по всем ограничениям и компромиссам и их комбинациям дополнительно к общему тренду – *сценарий 1* (базовый), с умеренными пороговыми значениями для ограничений и компромиссов – были рассчитаны два альтернативных сценария (2 и 3) для различных категорий заброшенных пахотных земель. В *сценарии 2* были использованы более консервативные пороговые значения для ограничений и компромиссов, в результате чего была получена более низкая оценка площади потенциально доступных пахотных земель. Пороговые значения для данного сценария составляли 5 и 30% спрогнозированного уровня рекультивации для социально-экономических ограничений, 0,15 и 0,35 – для категорий ограничений по доступности, а также 10-километровую защитную зону вокруг территорий, имеющих природоохранную ценность (см. рис. 1, блок «Экологические последствия распашки заброшенных земель»). Пороговое значение для углерода, и без того очень низкое, не изменилось. В *сценарии 3* были использованы более высокие пороговые значения для ограничений и компромиссов, в результате чего была получена увеличенная площадь потенциально доступных пахотных земель. Пороговые значения для данного сценария составляли 5 и 20% спрогнозированного уровня возврата земель в обращение для пороговых значений социально-экономических ограничений, 0,05 и 0,25 – для категорий ограничений по доступности, 1-километровую защитную зону вокруг территорий, имеющих природоохранную ценность, и пороговое значение 5 Мг С/Мг зерна-год<sup>-1</sup> для компромисса в отношении углерода (см. рис. 1, блок «Экологические послед-

ствия распашки заброшенных земель»). Кроме того, для второго сценария, альтернативного базовому, территории за пределами черноземной зоны с ГТК  $> 0,6$  и накопленные градусо-дни для дней с температурой выше  $10^{\circ}\text{C} > 1600$  (на основе работ [33; 34]) рассматривались как территории с умеренными агроэкологическими ограничениями для производства пшеницы (см. *рис. 1*, блок «Ограничения относительно возможной распашки заброшенных земель»). Территории в черноземной зоне с показателями, превышающими данные климатические ограничения, считались территориями с низкими агроэкологическими ограничениями. Территории за пределами черноземной зоны с показателями ниже данных климатических пороговых значений считались территориями со значительными агроэкологическими ограничениями. Индекс ГТК ниже  $0,7$ , как правило, рассматривается как показатель засушливости [12; 13], при этом было установлено, что пахотные земли в некоторых регионах Казахстана имели индекс ГТК, близкий к  $0,5$ , как следствие расширения посевных площадей во время кампании по освоению целинных земель [45]. На основе этих сценариев был оценен диапазон неопределенности для каждой из семи категорий заброшенных пахотных земель, перечисленных выше, посредством выбора минимального и максимального значений всех возможных сценариев.

В заключение были перемножены площади различных категорий заброшенных пахотных земель с наблюдаемой урожайностью пшеницы по областям для вычисления потенциала для производства пшеницы (см. *рис. 1*, блок «Потенциальное сельскохозяйственное производство на заброшенных пашнях»). Для учета больших годовых колебаний урожайности из-за изменения климата были использованы низкая, средняя и высокая урожайности за период 2004–2013 гг. [89]. В качестве репрезентативной сельскохозяйственной культуры для рассматриваемых стран использовали пшеницу, так как она хорошо адаптируется к различным климатическим и биофизическим условиям и является самой важной экспортной сельскохозяйственной культурой этих стран на мировом рынке [88]. В данной работе неопределенности по ограничениям и компромиссам в отношении заброшенных пахотных земель не перемножались с неопределенностью урожайности, так как они частично отражают аналогичные источники неопределенностей.

### 3. РЕЗУЛЬТАТЫ

#### 3.1. Заброшенные пахотные земли

В общей сложности 59,3 Мга пахотных земель на исследуемой территории были заброшены в период 1991–2009 гг., из которых 35,9 Мга на-

ходились в исследуемой части России, 2,9 Мга в Украине, и 20,6 Мга в Казахстане. Из них 12,0 Мга, или 20%, уже были возвращены в оборот к 2009 г., в основном в черноземной зоне, и большая часть из них (81%) была возвращена в оборот после 2003 г. (4,5 Мга в России, 0,3 – в Украине, 7,2 Мга в Казахстане). В 2009 г., таким образом, на исследуемой территории в заброшенном состоянии по-прежнему находились в общей сложности 47,3 Мга, из которых 31,4 Мга находились в России, 2,6 – в Украине, 13,4 Мга – в Казахстане (рис. 2). По площади это составляло 40,3%, 9,6% и 62,4% от общей площади пахотных земель, возделываемых в каждой из этих трех стран в 2009 г., соответственно, 47,3 Мга представляли собой совокупность заброшенных пахотных земель, которая была исследована.

### 3.2. Детерминанты забрасывания пахотных земель и их возвращения в оборот

Общие результаты полученных авторами моделей выведения из оборота сельскохозяйственных земель были удовлетворительными; приведенное значение  $R^2$  соответствующих непространственных панельных моделей варьировалось от 0,32 до 0,64 (табл. 2). Результаты непространственной модели возвращения в оборот были более низкими (0,18), при этом результаты пространственной модели, вероятно, были выше за счет двух весьма существенных пространственных переменных. Для агрегированной модели забрасывание сельскохозяйственных земель было, безусловно, связано со снижением общих показателей рождаемости, что соответствовало большей доле более старого населения с меньшей репродуктивной активностью. Выведение из оборота большей площади пахотных земель было также связано с более низкой плотностью населения, большим процентом этнических меньшинств (населения, этнически отличного от доминирующей нации) и снижением урожайности зерновых культур. Параметр пространственного лага был очень высоким и положительным. Поэтому выведение из оборота сельскохозяйственных земель в одной области было, несомненно, связано с выведением из оборота сельскохозяйственных земель в соседних областях, что указывало на наличие сопутствующих эффектов (spillover effect).

Результаты моделей для каждой из стран в значительной степени соответствовали результатам для агрегированной модели. Взаимосвязи в моделях для стран, с учетом меньшего количества территориальных единиц и меньшей гетерогенности каждой переменной, как правило, были более слабыми, чем в агрегированной модели. Плотность населения являлась важным фактором в модели Украины, но не в моделях Казахстана и России. Напротив, существенное негативное влияние низких значений урожайности на выведение из оборота сельскохозяйственных земель наблюдалось только

в России. Во всех моделях параметры пространственного лага были весьма высоки и всегда положительны, за исключением Украины. Таким образом, площадь заброшенных пахотных земель в Украине, как правило, была меньше в тех областях, соседние территории которых имели более высокую степень заброшенности, и наоборот. Параметр пространственной ошибки был незначительным для агрегированной модели, но значительным для некоторых моделей стран, т. е. положительным для Украины и отрицательным для Казахстана.

Таблица 2

**Детерминанты забрасывания пахотных земель в 1991–1996 гг. и их возвращения в оборот в 2006–2009 гг.**

Параметр	Модель забрасывания пахотных земель (1991–1996)				Модель возвращения в оборот заброшенных пахотных земель (2006–2009)
	агрегированная модель	Украина	Казахстан	Россия	агрегированная модель
Статистическая оценка					
Пространственный лаг (лямбда)	0,79***	–0,96***	0,79***	0,80***	0,74***
Пространственная ошибка (rho)	–0,11	0,71***	–1,28**	–0,08	–0,85***
Уровень рождаемости	–0,49***	–0,57***	–1,82***	–0,46***	0,84*
Ожидаемая продолжительность жизни	–	–	2,04	–0,02	–0,03
Плотность сельского населения	–0,91***	–0,69***	–6,46	–0,46	1,50
Доля населения этнически отличного от доминирующей нации	0,76***	–0,07	–0,27	–0,53	1,25*
Урожайность всех типов зерновых на 1 га посева зерновых	–1,11***	–0,04	–0,97	–1,35***	1,85*
Скорректированное значение R <sup>2</sup> соответствующей непространственной модели	0,42	0,38	0,64	0,37	0,18
Наблюдения	564	150	54	360	282

*Примечание.* Уровень статистической значимости коэффициентов показан как: \* – 0,05; \*\* – 0,01; \*\*\* – < 0,001.

Результаты агрегированной модели возвращения в оборот в целом соответствовали результатам агрегированной модели выведения сельскохозяйственных земель из оборота. Параметр пространственного лага был

значительным и положительным, что свидетельствует о кластерных территориальных структурах с наличием сопутствующих эффектов (spillover effect) относительно возвращения сельскохозяйственных земель в оборот в одной области, влияющих на возвращение сельскохозяйственных земель в оборот в соседних областях. Более высокие темпы возвращения сельскохозяйственных земель в оборот были связаны с увеличением общих показателей рождаемости, наличием этнических меньшинств и урожайностью зерновых культур.

### 3.3. Пространственная структура ограничений и компромиссов

Различные ограничения позволили выявить наличие специфических пространственных структур в России, Украине, Казахстане (рис. 3). Местности со значительными социально-экономическими ограничениями в отношении возвращения сельскохозяйственных земель в оборот, для которых характерны пониженная демографическая активность населения и снижение урожайности, находились в основном в центре европейской части России и Поволжье (рис. 3а). Ограничения по удаленности от рынков сбыта преобладали на центрально-восточной территории рассматриваемых стран, простирающейся от восточного Поволжья до Западной Сибири и Казахстана, а также в некоторых областях европейской части России (рис. 3б). Заброшенные пахотные земли в черноземной зоне образуют пояс, который начинается с Украины, проходит через юго-запад европейской части России и Поволжье и через границу России и Казахстана, включая в себя территории Урала и Западной Сибири (рис. 3в). Что касается компромиссов между экологическими преимуществами заброшенных земель и ожидаемой урожайностью на таких землях, территории со значительным накоплением углерода и высоким значением отношения углерода к урожайности находились в основном на западе европейской части России, где наблюдалось раннее выведение из оборота пахотных земель и относительно прогрессировало восстановление древесной растительности на заброшенных землях (рис. 3г). Территории с потенциальной ценностью в плане биоразнообразия, на которое возвращение в оборот заброшенных пахотных земель могло оказать негативное воздействие, находились во всех трех странах (рис. 3д).

### 3.4. Основные комбинации ограничений и компромиссов и потенциала производства зерна

В ходе проведенного анализа была выявлена неравномерность характера комбинаций ограничений и компромиссов (рис. 4). Тем не менее были выявлены некоторые районы концентрации («hotspots») определенных типов потенциально доступных пахотных земель (рис. 3е). Два дерева принятия решений на основе сценария 1 (базового) (рис. 5) отражали потенциальные

приоритеты определенных участников, например, государственных органов, экологических организаций или частных инвесторов: А – приоритеты, связанные с уравниванием защиты окружающей среды и сельскохозяйственного производства (рис. 5а); Б – приоритеты, подчеркивающие важность выявления земельных ресурсов с высоким потенциалом сравнительно быстрого развития сельского хозяйства (рис. 5б). В соответствии с данными первого дерева (рис. 5а, с соответствующими категориями, показанными на рисунках 1, 3 и 5, полные результаты с диапазонами неопределенности приведены в таблице 3), заброшенные пахотные земли с высоким компромиссом в плане углерода и/или высокой природоохраной ценностью покрывали 8,5 (4,2–12,2) Мга, находящихся в разных местах по всей исследуемой территории.

Таблица 3

**Площадь потенциально доступных пахотных земель по категориям, Мга**

Категория заброшенных земель	Россия	Казахстан	Украина	Все вместе
Низкие (или один умеренный) социально-экономические ограничения или ограничения по удаленности от рынков сбыта, хорошие агроклиматические характеристики	2,9 (1,9–5,5)	0,6 (0,4–1,0)	0,5 (0,3–0,8)	3,9 (2,6–7,2)
Ограничения по удаленности от рынков сбыта, хорошие агроклиматические характеристики	1,2 (1,2–1,8)	1,8 (1,5–1,9)	0,02 (0,008–0,03)	3,0 (3,0–3,4)
Социально-экономические ограничения, хорошие агроклиматические характеристики	1,2 (0,8–5,9)	0,04 (0,005–0,08)	0,4 (0,2–0,9)	1,6 (1,1–6,9)
Потенциально доступная пашня	5,3 (4,1–1,3)	2,4 (2,3–2,6)	0,9 (0,6–1,6)	8,5 (7,1–17,4)
Значительные социально-экономические ограничения или ограничения по удаленности от рынков сбыта, хорошие агроклиматические характеристики	2,3 (0,9–2,7)	0,5 (0,2–0,6)	0,1 (0,04–0,2)	2,9 (1,2–3,5)
Агроклиматические ограничения, низкие или умеренные другие ограничения	4,7 (2,2–8,3)	0,5 (0,4–0,7)	0,3 (0,1–0,6)	5,5 (2,7–9,6)
Комбинация нескольких умеренных или значительных ограничений	13,0 (6,6–12,8)	8,4 (8,1–8,4)	0,8 (0,2–0,8)	21,8 (14,9–21,8)
Значительные компромиссы	6,2 (2,4–9,5)	1,8 (1,7–2,0)	0,5 (0,2–1,0)	8,5 (4,2–12,4)

*Примечание.* Варьирование неопределенности соответствует низким и высоким значениям, полученным для трех сценариев: *сценарий 1* – отражает общий тренд, с умеренными пороговыми значениями для ограничений и компромиссов; *сценарий 2* – низкие пороговые значения для ограничений и компромиссов, в результате чего была получена более низкая оценка площади потенциально доступных пахотных земель; *сценарий 3* – высокие пороговые значения для ограничений и компромиссов, в результате чего была получена увеличенная площадь потенциально доступных пахотных земель. Поскольку общее значение заброшенных пашен не изменялось, изменения для одной категории соответствуют значениям для других категорий, поэтому низкие и высокие оценки для различных категорий не могут быть сразу суммированы.

Основные районы в некоторых случаях соответствовали территориям, где раннее забрасывание сельскохозяйственных земель привело к накоплению большого количества углерода (в основном в северных и умеренных регионах России), но часто соответствовали территориям с высокой природоохранной ценностью (например, в северной и западной частях Украины, в горах Урала и Северного Кавказа и степях южного Казахстана). В общей сложности 11,5 (10,6–18,6) Мга имели относительно хороший сельскохозяйственный потенциал и потенциально низкие компромиссы в плане экологии. Из них 3,9 (2,6–7,2) Мга имели низкие ограничения в отношении доступности рынков сбыта и социально-экономических характеристик и, таким образом, представляли собой «легкую добычу», поскольку их можно было вернуть в оборот без особого труда (обозначены зеленым цветом). Эти земли были сосредоточены на востоке Украины, на юго-западе европейской части России, в юго-центральных частях европейской части России и Поволжья и в самой западной части Сибири. На юге европейской части России и Казахстана крупные участки земли уже были возвращены в оборот после 2000 г. (рис. 4), и наиболее пригодные для возвращения в оборот заброшенные поля находились рядом с ними. Площадь земельных ресурсов, в отношении которых действовало одно ограничение, либо в плане доступности, либо в плане социально-экономических условий, и которые находились в черноземной зоне или на территориях с подходящими климатическими условиями, составила 4,6 (4,4–10,2) Мга (рис. 5а, светло-голубой и пурпурный цвет). Концентрации земельных участков с социально-экономическими ограничениями находились в восточной Украине и в северной части черноземного пояса, а концентрации земельных участков с ограничениями в плане доступности находились в центре европейской части России, в северной части Казахстана и в Западной Сибири (см. рис. 4). Эти расположенные на черноземных почвах 8,5 (7,1–17,4) Мга с низкими компромиссами в плане экологии и низкими или умеренными ограничениями представляли собой совокупность потенциально доступных пахотных земель в соответствии с приведенным выше определением. Возвращение в оборот этих 8,5 Мга увеличит производство пшеницы приблизительно на 14,3 (9,6–19,5) Мт (рис. 6).

Остальные 2,9 (1,2–3,5) Мга с подходящими агроэкологическими условиями, расположенные преимущественно в Поволжье и северо-восточной части Казахстана, характеризовались некоторыми умеренными и значительными социально-экономическими ограничениями или ограничениями по доступности (желтый цвет). Эти земельные ресурсы в конечном счете можно вернуть в оборот в целях развития сельскохозяйственного производства, но это потребовало бы значительных долгосрочных инвестиций как в инфраструктуру, так и в социально-экономическое восстановление.

Приблизительно 27,7 (24,5–27,7) Мга заброшенных пахотных земель с низкими компромиссами в плане экологии находились на территориях с умеренными или значительными агроэкологическими ограничениями. Из них 5,4 (2,7–9,6) Мга, расположенные в основном на юго-востоке и в центре европейской части России и Поволжья (см. *рис. 4*), имели относительно низкие ограничения в плане социально-экономических аспектов или доступности (темно-синий цвет). Возвращение в оборот этих 5,4 Мга может обеспечить урожай пшеницы в размере 10,4 (7,3–13,6) Мт (см. *рис. 6*). Остальные 21,8 (14,9–21,8) Мга, расположенные в основном на севере центральной части Европейской России, в Поволжье и на Урале, были определены как территории с несколькими значительными или умеренными ограничениями (черный цвет). Возвращение этих земельных ресурсов в оборот будет связано с очень большими трудностями вследствие малой экономической выгоды при текущих ценах на сельскохозяйственную продукцию, и, таким образом, они, скорее всего, останутся в категории заброшенных.

Во втором дереве принятия решений (*рис. 5б*) было определено, что из 47,3 Мга только 9,3 Мга, как ожидается, будут достаточно пригодны для сельскохозяйственного производства и будут иметь низкие и умеренные ограничения, вследствие чего эти земельные ресурсы представляются наиболее привлекательными для инвесторов. Из них 0,7 Мга были определены как территории с относительно высокой экологической ценностью и соответственно высокими компромиссами. С учетом высокой привлекательности этих земельных ресурсов для их защиты потребуются целенаправленные природоохранные мероприятия. Для остальных 38,0 Мга были характерны либо значительные ограничения, либо менее плодородные почвы, и, таким образом, они, вероятно, будут менее привлекательны для инвесторов, по крайней мере, в краткосрочной перспективе.

## 4. ОБСУЖДЕНИЕ

### 4.1. Динамика забрасывания и возвращения в оборот пахотных земель

В данном исследовании авторы расширили границы предыдущих исследований, посвященных оценке пространственных факторов забрасывания сельскохозяйственных земель, которые зачастую проводились на небольших территориях, посредством рассмотрения большого региона. Было уделено особое внимание исследованию эффектов социально-экономической динамики, вызывающих изменения в землепользовании. Также был выполнен первый статистический анализ, относительно определяющих факторов возвращения в оборот заброшенных земель в России, Украине, Казахстане. Проведенная оценка социально-экономических факторов, вли-

яющих на забрасывание сельскохозяйственных земель и возвращение их в оборот, подтвердила, что забрасывание пахотных земель было обусловлено расположением в социально и экономически малоперспективных районах, где наблюдались снижение урожайности, уменьшение численности и снижение демографической активности населения, в так называемых «черных дырах» [34]. Распад государственной социалистической экономики привел к снижению уровня жизни в сельской местности, снижению прогнозируемой продолжительности жизни и снижению общих коэффициентов рождаемости [25; 44]. Связь больших площадей заброшенных пахотных земель со снижением рождаемости была статистически значима во всех трех странах. Уменьшение плотности сельского населения также было связано с выведением из оборота сельскохозяйственных земель в агрегированной модели. Такая же закономерность была показана и в других местах с использованием структурных статистических данных [34; 35; 46; 98]. Одно из объяснений отсутствия статистической связи между плотностью населения и забрасыванием пахотных земель в отдельных моделях для России и Казахстана состоит в том, что этот эффект было трудно обнаружить, учитывая низкую плотность населения уже к 1991 г. во многих российских и казахстанских областях.

Минимальная площадь обрабатываемых пахотных земель наблюдалась в 2006 г., максимальная доля сельскохозяйственных земель была возвращена в оборот после 2006 г. Иностранные и отечественные инвестиции, помимо прочего, стимулированные ростом цен на сельскохозяйственную продукцию с 2007 г., повысили рентабельность сельского хозяйства и послужили движущим фактором для возвращения заброшенных сельскохозяйственных земель в оборот [101]. Кроме того, после 2000 г. усилилась поддержка со стороны государства, что способствовало частичному восстановлению сельскохозяйственного производства, особенно на территориях, где положительные агротехнические условия обеспечивали возможность рентабельного сельского хозяйства, т. е. вне так называемых «черных дыр», описанных выше [34; 36]. Последние события в России, включая введенный в 2014 г. запрет на импорт сельскохозяйственной продукции из ЕС и других стран в Россию, а также девальвация рубля по отношению к доллару США и евро, способствовали усилению готовности правительства РФ поддерживать восстановление отечественного сельскохозяйственного производства [103]. С другой стороны, девальвация рубля, налоги и неоднократные ограничения на экспорт пшеницы с 2007 г. могут повлиять на интеграцию России в глобальные рынки зерна, а также на риски и рентабельность выращивания пшеницы и тем самым ослабить стимулы для инвестиций и долгосрочного прогресса в сельскохозяйственном секторе [28]. Значительный и положительный пространственный лаг указывал на существование

положительных пространственных сопутствующих эффектов, связанных с возвращением сельскохозяйственных земель в оборот. Например, привлечение высококвалифицированных кадров в сфере сельского хозяйства, более эффективное функционирование рыночных механизмов, вероятно, способствовали возвращению сельскохозяйственных земель в оборот в областях, соседствующих с лидирующими областями. Кроме того, весьма значительное положительное влияние повышения урожайности зерновых на возвращение сельскохозяйственных земель в оборот свидетельствовало о концентрации хозяйственной деятельности либо наличии взаимосвязи между интенсификацией сельского хозяйства и расширением пахотных земель, как сообщалось ранее [22].

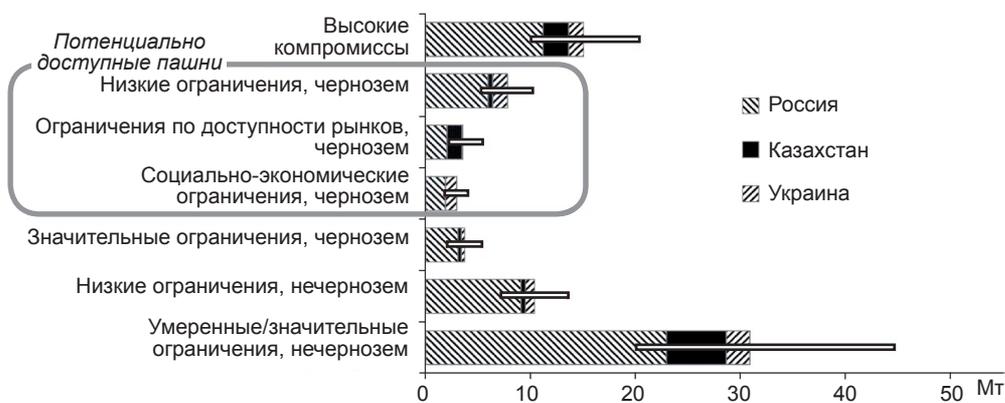


Рис. 6. Потенциальное производство пшеницы для различных категорий заброшенных земель, млн т. Столбики неопределенностей соответствуют низким и высоким оценкам урожайности, основываясь на [89].

Влияние этнического состава населения на возвращение в оборот заброшенных земель представляется неоднозначным. Влияние на забрасывание сельскохозяйственных земель было положительным для агрегированной модели, но не являлось очевидным в моделях для отдельных стран. Реальное влияние могло варьироваться в зависимости от региона. Например, в России некоторые кластеры нерусского населения были связаны с забрасыванием пахотных земель, например, на Кавказе, где конфликты между этническими группами могли способствовать забрасыванию земель [5]. Тем не менее в других областях с более высокой численностью нерусских, например, в южных и приволжских регионах России, в которых преобладают мусульмане, высокая численность сельского населения часто поддерживалась за счет высокого уровня рождаемости в сельской местности, что резко отличалось от соседних регионов с преобладанием русского населения, в которых наблюдалось уменьшение численности населения [82]. На территориях с преобладанием нерусских этнических групп сельское хозяйство ча-

сто считается основным фактором формирования этнической идентичности. Это может приводить к установлению официальных и неофициальных взаимоотношений, касающихся сельскохозяйственного производства и земельных ресурсов. Такие взаимоотношения и политики могли способствовать меньшему сокращению посевных площадей, а также возвращению заброшенных земель в оборот [30; 36].

В Казахстане наблюдалось массовое возвращение сельскохозяйственных земель в оборот. Как и в России, увеличение инвестиций и государственной поддержки в сельскохозяйственном производстве с 2000 г. способствовало росту урожайности, а также возвращению заброшенных земель в оборот [67]. Еще одной важной причиной является введение в действие нового земельного кодекса в 2003 г. [71]. В общей сложности 81% пахотных земель в Казахстане, возвращенных в оборот в период 2006–2009 гг., находилось в степном регионе северного Казахстана, основной житнице страны. В этом регионе производством пшеницы занимаются преимущественно крупные сельскохозяйственные предприятия и агрохолдинги, что приводит к непрерывным структурным и технологическим изменениям в направлении улучшения механизации в течение последнего десятилетия. В результате этого количество рабочей силы не являлось ограничивающим фактором, несмотря на то, что нехватка квалифицированной рабочей силы уже начинает ощущаться [102].

Площадь пахотных земель в Украине в постсоветский период была наиболее стабильной из всех трех стран, с самой низкой площадью заброшенных пахотных земель и самыми низкими темпами возвращения земель в оборот: 10% площади пахотных земель, обрабатываемых в 1991 г., но в последующем были возвращены в оборот к 2009 г., в основном в восточных и северных областях. Такой относительно низкий процент заброшенных земель по сравнению с Россией и Казахстаном связан, как правило, с лучшими агроэкологическими условиями и условиями в плане инфраструктуры и удаленности от рынков сбыта в Украине.

Оценки, полученные на основе статистической информации, были ограничены набором непротиворечивых данных, имеющихся в наличии для рассматриваемых трех стран в исследуемые периоды. Таким образом, была оценена только некоторая часть социально-экономической динамики, обусловившей выведение из оборота и возвращение в оборот сельскохозяйственных земель. Заслуживают изучения иные процессы и переменные, например, прямые показатели уровня доходов (степени бедности), иностранных инвестиций в сельское хозяйство, а также показатели государственного управления, которые, вероятно, могут объяснить часть динамики в отношении оборота пахотных земель.

Таким образом, полученные результаты подтвердили, что крупные социально-политические изменения способствовали массовому забрасыванию пахотных земель, особенно на малоперспективных с социально-экономической точки зрения территориях. Причины выведения пахотных земель из оборота сложны и разнообразны по отдельным территориям, что указывает на необходимость разнообразных мер для поддержания сельского хозяйства и стимулирования возвращения таких земель в оборот. Значимость влияния показателей рождаемости (а не плотности населения) показала, что качество рабочей силы (т. е. присутствие молодых, квалифицированных, мотивированных и предприимчивых людей) играет доминирующую роль по сравнению с численностью населения (см. также [34; 102]). Хотя модели возвращения заброшенных сельскохозяйственных земель в оборот во многом определяются агроэкологической пригодностью таких земель, нельзя отрицать влияния изменения социально-экономических показателей. Политическая и институциональная поддержка может усилить тенденции возвращения сельскохозяйственных земель в оборот, хотя и косвенно, путем улучшения демографических и социально-экономических тенденций и поддержки инвестиций в сельское хозяйство.

#### **4.2. Основные территории сосредоточения потенциально доступных пахотных земель**

Установленная авторами общая площадь потенциально доступных пахотных земель с низкими компромиссами в плане экологии и низкими и умеренными ограничениями по распашке соответствовала другой предварительной оценке для России, выполненной с помощью более простых данных и методов [50], но предоставляет значительно более подробную информацию. Основные территории концентрации потенциально доступных пахотных земель с низкими ограничениями и компромиссами были выявлены в восточной Украине, в юго-центральной и юго-западной европейской части России и в Поволжье. Эти территории характеризуются достаточным количеством трудовых ресурсов, хорошими связями с международными рынками и потенциально высоким внутренним спросом на продукты питания вследствие положительных демографических тенденций [11; 66]. Тем не менее изменение климата может привести к сокращению сельскохозяйственных ресурсов в большей части черноземного пояса, особенно на юге европейской части России и в Казахстане, где такие экстремальные явления, как засухи, могут участиться и привести к сокращению производства и временному забрасыванию земель [11]. По своей структуре не все из этих основных территорий сосредоточения заброшенных земель соответствовали территориям с большими кластерами потенциально доступных пахотных

земель. Например, восточная Украина обладает небольшой площадью заброшенных пахотных земель, и крупные агрохолдинги уже начали возвращать земли в оборот [101], хотя в некоторых отраслях сельскохозяйственный сектор пострадал от продолжающегося вооруженного конфликта, а также за счет отторжения Крыма [37]. Основные территории с концентрацией ограничений по доступности были выявлены в Западной Сибири, северном Казахстане и на юге европейской части России. Тем не менее уточненные данные о местном спросе на продовольствие и о состоянии инфраструктуры, включая предприятия по переработке пшеницы, могут показать, что ограничения по доступности в этих регионах являются менее жесткими, чем в нашей оценке.

Очень малое количество потенциально доступных для распашки заброшенных пахотных земель было выявлено в умеренном поясе европейской части России вследствие сочетания низкой пригодности почв и значительных ограничений в плане социально-экономических аспектов и удаленности от рынков сбыта, несмотря на то, что в этом регионе находятся обширные площади заброшенных пахотных земель. Некоторые территории за пределами черноземной зоны могут обеспечить увеличение производства зерновых. Однако для раскрытия такого потенциала потребуется очень подробная агроэкологическая оценка; возвращение таких земель в оборот потребует значительных инвестиций. Действительно, независимые оценки на основании спутниковых данных дистанционного зондирования показали, что на этих территориях выведение сельскохозяйственных земель из оборота продолжалось и после 2000-х гг. [11; 14; 76; 92]. Изменение климата может ослабить агроэкологические ограничения в регионах с умеренным климатом и в северной части России, и эти регионы могут служить буфером сельскохозяйственного производства на случай засухи в южных регионах [53]. Тем не менее, поскольку ограничения в плане социально-экономических аспектов и удаленности от рынков сбыта останутся, быстрое возвращение заброшенных пахотных земель в оборот на этой территории маловероятно. В целом около 8,5 Мга выявленных потенциально доступных пахотных земель соответствуют приблизительно 5–10% от мировой дополнительной потребности в пахотных землях в размере 81–147 Мга, спрогнозированных на период 2000–2030 гг. (без учета потенциального расширения производства биотоплива) [49].

В анализе неопределенности основным источником изменчивости в категориях заброшенных пахотных земель является роль климатических ограничений, в основном это касается России (рис. 2, табл. 3). При сценарии 3 предполагается, что 2,6 Мга из всех заброшенных земель в исследованной части в России представляют категорию с низкими или одним умеренным ограничением в плане социально-экономических аспектов или удаленности

от рынков сбыта и хорошими агроэкологическими условиями. Это в основном земельные ресурсы, расположенные на юго-востоке европейской части России, например, в Волгоградской области, в южной части Поволжья и Восточной Сибири, которые находятся за пределами черноземной полосы, но имеют ГТК > 0,6. Кроме того, данный сценарий также предполагает распашку дополнительных 4,7 Мга земли в России за пределами черноземной зоны, относящихся к категории с подходящими агроэкологическими условиями, но с социально-экономическими ограничениями. Это в основном территории на севере европейской части России, попадающие в диапазон от 1600 до 2200 накопленных градусо-дней, которые рассматриваются как «субмаргинальные» территории для производства пшеницы, и на многих таких территориях до сих пор существуют заброшенные пахотные земли [33; 34]. Территория с компромиссами в отношении природоохранной ценности при сценарии 2 заметно увеличивается (с 8,5 до 12,4 Мга), в основном вследствие увеличения размеров защитных зон вокруг особо охраняемых природных территорий в России.

#### **4.3. Потенциальные экологические последствия возвращения сельскохозяйственных земель в оборот**

Возвращение в оборот большей части заброшенных пахотных земель в европейской части России, Украине и Казахстане может стать причиной выбросов углерода, накопленного на заброшенных землях. При этом существует несколько территорий с показателями, превышающими 5 Мг С/га, накопленные с 1991 г., поскольку большие территории заброшенных земель уже заросли лесом. Накопление углерода происходило относительно медленно из-за различий в климатических характеристиках окружающей среды, случайных пожаров и воздействия других внешних факторов [91]. Почвы являлись важной составляющей накопления углерода [47; 48; 87]. Запасы углерода, как правило, выше в западной части исследуемой территории, но урожайность озимой пшеницы на этой территории, как правило, выше, чем урожайность яровой пшеницы, выращиваемой в восточной части. Таким образом, компромиссы в плане выброса углерода при распашке заброшенных земель относительно малы по сравнению с компромиссами выброса углерода при распашке в других регионах мира, в основном в тропических районах (в среднем приблизительно 90–110 Мг С/га во всех тропических лесах, и еще более высокие показатели во влажных тропических лесах [85]), наиболее перспективных регионах для расширения товарного зерноводства [59]. В мировом масштабе среднее соотношение углерода и урожайности для земель, используемых для выращивания кукурузы и сои, оценивалось на уровне 20,8 и 44,5 Мг С/Мг зерна-год<sup>-1</sup> соответственно [86].

Наши пороговые значения на уровне 2,5 и 5 Мг С/Мг зерна·год<sup>-1</sup> значительно ниже, но в них учтены только текущие запасы углерода. Существенное накопление углерода может происходить в течение длительного периода в случае восстановления на заброшенных пахотных землях лесов или степей (например, запасы углерода в зрелых бореальных лесах аналогичны запасам в тропических лесах [56; 69]). Таким образом, несмотря на то, что массовое выведение пахотных земель из оборота в постсоветский период привело к значительному накоплению углерода (приблизительно 470 Тг С для европейской части России, Украины и Беларуси, по данным [87]), наиболее важное значение с точки зрения компромисса в плане углерода имеет площадь вовлекаемых в оборот заброшенных земель, а не местонахождение возвращаемых в оборот земельных ресурсов. Кроме того, для компенсации выбросов углерода в результате распашки заброшенных сельскохозяйственных земель могут быть разработаны схемы смягчения последствий потери накопленного углерода (например, защита земель от распашки с высоким потенциалом в отношении депонирования углерода).

Относительно небольшая часть (14%) заброшенных пахотных земель находилась рядом с особо охраняемыми природными территориями (ООПТ), в ненарушенных лесных ландшафтах и/или рядом с 200 глобальными приоритетными регионами ООПТ (см. *рис. 3д*). Кроме того, приоритетные участки природоохранного значения часто были относительно малоперспективны в плане их потенциала производства зерновых (например, некоторые территории южного Казахстана, Кавказа, Урала). Это отчасти отражает создание ООПТ в регионах, менее ценных для сельского хозяйства [39]. Напротив, потенциал сельскохозяйственного производства был наиболее высоким в умеренных и степных биомах, которые расположены на большей части территории Евразии, где встречается сравнительно небольшое количество эндемичных видов и где большинство видов имеют большие ареалы обитания. В совокупности это означает, что локальное влияние возвращения пахотных земель в оборот на биоразнообразии может быть ниже, чем в других регионах мира, в частности, в тропических районах. Тем не менее в нашей оценке также указаны большие территории с небольшим количеством ООПТ, расположенных в отдалении друг от друга (напр., северный Казахстан, см. [40]).

В то время как воздействие забрасывания сельскохозяйственных земель в постсоветский период на диких животных еще недостаточно изучено [7; 32; 74; 79], в целом предполагается благоприятное воздействие на биоразнообразие и восстановление дикой природы, а также восстановление обширных потенциальных пастбищ. Например, на исследуемой территории находятся значительные популяции крупных плотоядных и травоядных, состоящие под законодательной защитой (например, бурый медведь, серый

волк, рысь, благородный олень, зубр, сайгак) и нуждающиеся в больших пространствах для обитания. Воздействие возвращения заброшенных сельскохозяйственных земель в оборот на биоразнообразие, таким образом, вероятно, будет зависеть от территориального характера этого процесса, что подчеркивает необходимость планирования на региональном уровне. Некоторые потенциально доступные пахотные земли могут представлять собой важные маршруты миграции животных, и выявление таких маршрутов с учетом сопутствующих преимуществ накопления в них углерода может быть важной стратегией для смягчения негативных воздействий на биоразнообразие [38]. Наконец, важно отметить, что в настоящей оценке отсутствовал исчерпывающий набор данных о территориальном биоразнообразии, вследствие чего авторам пришлось использовать замещающие переменные. Таким образом, при планировании регионального землепользования и природоохранных мер необходимо стараться предусмотреть более широкий набор мероприятий по сохранению биоразнообразия [40].

Распашка заброшенных сельскохозяйственных земель уже ведется в некоторых основных районах с высокими компромиссами в плане экологии, например, в Западной Украине [29; 94]. Во избежание негативного воздействия на окружающую среду необходимо упреждающее планирование землепользования. Тем не менее одним из важных результатов является то, что только около 10% (0,8 Мга) из 8,2 Мга, выявленных в качестве потенциальных территорий для распашки с относительно высокими компромиссами в плане экологии, представляли практический интерес для организаций, задействованных в возделывании сельскохозяйственных культур вследствие сочетания низких ограничений в плане социально-экономических аспектов, относительно низкой удаленности от рынков сбыта и хорошего качества почвы. Кроме этих 10%, остальные земельные ресурсы с высокими компромиссами в плане экологии могут быть в значительной степени пассивно защищены от распашки вследствие того, что они непривлекательны для возвращения в оборот, но в то же время эти земли могут быть привлекательны для экстенсивного животноводства.

#### **4.4. Потенциал сельскохозяйственного производства на потенциально доступных пахотных землях и отдаленные последствия**

В период 2006–2011 гг. на Россию, Украину и Казахстан приходилось 15–23% от общего объема экспорта зерна в мире [19], возможности для расширения производства и роста экспорта широко освещались в научной литературе и средствах массовой информации. Тем не менее спорным вопросом остается относительное дополнительное производство пшеницы, которое реально можно было ожидать вследствие возвращения заброшен-

ных земель в оборот, а не за счет интенсификации сельского хозяйства на уже возделываемых пахотных землях. Только в европейской части России, как подсчитано в работе [88], повышение урожайности на существующих пахотных землях до 80–100% от потенциала может ежегодно давать дополнительно 23–44 Мт пшеницы в богарных условиях и 60–90 Мт в условиях дополнительного орошения. Таким образом, данное исследование показало: существует огромный потенциал для увеличения производства пшеницы посредством возвращения в оборот потенциально доступных пахотных земель, что составляет в среднем до 14,3 (9,6–19,5) Мт. Однако эти показатели гораздо ниже показателей, которых можно достичь за счет интенсификации уже обрабатываемых земель, такой прирост составит приблизительно 6% от 244 Мт дополнительного мирового спроса на пшеницу, спрогнозированного на период 2005–2050 гг. ФАО [2].

Из рассматриваемых стран Россия имеет самый большой потенциал для увеличения производства пшеницы, обладая самыми большими земельными ресурсами и высевая преимущественно озимую пшеницу, которая характеризуется более высокой урожайностью по сравнению с яровой пшеницей, преобладающей в Казахстане. Потенциал производства пшеницы на потенциально доступных пахотных землях в России составлял 9,9 (6,6–12,4) Мт. Земельные ресурсы с низкими ограничениями или с умеренными ограничениями относительно удаленности от рынков сбыта, которые находятся преимущественно в южной и юго-восточной частях России, отличаются более высокой изменчивостью урожайности вследствие более частого снижения урожая из-за засухи [53] (см. рис. 6). И наоборот, земельные ресурсы с умеренными социально-экономическими ограничениями, расположенные в основном в северной части Черноземья, с менее сильными засухами, характеризуются более низкой изменчивостью урожайности. Некоторые высокоурожайные территории имеют особенно высокий потенциал. Например, потенциально доступные пахотные земли в Ростовской области занимали всего лишь 0,5 Мга, но позволяли бы выращивать приблизительно 1,3 Мт пшеницы в год из-за более высокой урожайности, чем в других регионах рассматриваемых стран [88]. В Казахстане большая часть земельных ресурсов характеризовалась высокими компромиссами или умеренными и сильными ограничениями и находилась вне черноземной зоны (каштанозем, солонцы), поэтому возвращение их в оборот было бы связано с высокими экологическими или экономическими издержками. В северном Казахстане возвращение в оборот всех земель с низкими и умеренными ограничениями может обеспечить до 5,9 (3,3–10,9) Мт пшеницы. С учетом низкой средней урожайности (0,8 т/га) достижение таких объемов дополнительного производства потребует возвращения в оборот больших участков земли. Кроме

того, в Казахстане наблюдается очень высокая изменчивость урожайности, в основном вследствие частых и сильных засух. В Украине потенциал для увеличения производства пшеницы за счет возвращения в оборот заброшенных пахотных земель относительно невысок – 2,5 (1,8–3,4) Мт на черноземах с низкими и умеренными ограничениями, несмотря на относительно высокие урожаи пшеницы, поскольку в заброшенном состоянии находятся лишь небольшие площади пахотных земель.

С ростом международной торговли сельскохозяйственной продукцией становится все более важно иметь правильное представление об отдаленных последствиях динамики землепользования в одном регионе и влияния на другой регион [55]. Возвращение в оборот заброшенных пахотных земель и интенсификация сельскохозяйственного производства могут иметь важные последствия за пределами рассматриваемых стран. Во время переходного периода Россия, Украина и Казахстан в значительной степени перешли от скотоводства к производству зерна, что привело к существенному спаду внутреннего производства говядины. В 2000-е гг. Россия стала одним из крупнейших импортеров мяса в мире и, в частности, крупнейшим импортером бразильской говядины, тем самым косвенно способствуя в значительной степени вырубке лесов для расширения пастбищ в Амазонии [78; 90]. Таким образом, возвращение в оборот пахотных земель в рассматриваемых странах, в том числе для производства корма для скота, позволило бы ослабить зависимость от импорта из тропических регионов и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду вследствие расширения сельскохозяйственного производства в данном регионе. Колебания экспорта зерна из России, Украины и Казахстана могут сильно повлиять на цены на мировом рынке и, таким образом, на продовольственную безопасность [20]. В частности, эти страны являются основными поставщиками зерна для стран Ближнего Востока: за 2009–2011 гг. 78% экспорта пшеницы направлялось в страны Ближнего Востока, при этом основными покупателями являлись Египет, Турция, Израиль, Сирия и Тунис [19]. Ближний Восток во многом зависит от этих поставок: например, 42,5 и 61,6% импорта пшеницы в период 2010–2011 гг. поставлялось в Египет и Сирию. Поскольку становится все более очевидным, что конфликты и геополитические кризисы на Ближнем Востоке приводят к дестабилизации цен на продукты питания и перебоям снабжения [43], стабильность и изобилие поставок зерна из России, Украины, Казахстана на Ближний Восток также оказывают влияние на геополитическую напряженность. Увеличение производства пшеницы за счет заброшенных земель, как буферной зоны, могло бы частично снизить флуктуацию производства пшеницы в засушливые годы и гарантировать стабильные поставки зерна за пределы анализируемых стран.

## 5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные результаты показали, что низкие темпы возвращения заброшенных сельскохозяйственных земель в оборот и остающиеся площади заброшенных пахотных земель преобладали в районах, характеризующихся снижением урожайности, ухудшением социально-экономических условий, а также сокращением численности и старением населения. Для этих территорий, как правило, были характерны низкие доходы населения, отток населения, уменьшение социального капитала и инвестиций в сельское хозяйство, что препятствовало их социально-экономическому развитию [34; 60]. Возвращение в оборот заброшенных пахотных земель и интенсификация сельского хозяйства, как представляется, взаимосвязаны. Качество рабочей силы, т. е. наличие молодых, квалифицированных, мотивированных и предприимчивых людей, является более сильным определяющим фактором для возвращения земель в оборот, чем общее количество рабочей силы. Политическая и институциональная поддержка может усилить тенденции возвращения заброшенных сельскохозяйственных земель в оборот, хотя и косвенно, путем улучшения демографических и социально-экономических тенденций и поддержки инвестиций в сельское хозяйство. Тем не менее преодоление ограничений в отношении возвращения земель в оборот не обязательно приведет к улучшениям в социально-экономическом плане. Крупные сельхозпредприятия (агрохолдинги), инвестирующие в ресурсосберегающие технологии, возвращают в оборот и возделывают обширные площади с помощью рабочей силы небольшой численности. Таким образом, эти предприятия мало помогают в решении вопроса общей занятости и предоставления возможностей получения средств к существованию в сельской местности, несмотря на привлечение квалифицированных сельскохозяйственных работников из числа работоспособного сельского населения [102]. Медленное снижение уровня бедности в сельской местности связано с занятостью населения [25] и поэтому в значительной степени может способствовать стагнации на рынках труда в сельской местности. Поэтому меры по возрождению сельских территорий должны стать приоритетной задачей.

Первоначальная и основная задача настоящего исследования заключалась в оценке потенциально доступных пахотных земель в России, Украине и Казахстане. Исследование было ограничено по причине использования глобального набора данных об удаленности рынков сбыта, вследствие отсутствия современных, общедоступных и непротиворечивых наборов данных об инфраструктуре исследуемой территории. Тем не менее полученные результаты представляют собой полезный ориентир для более детальных оценок и планирования землепользования. Было показано, что земли, по-

тенциально доступные для возвращения в оборот в России, Украине и Казахстане, представляют собой всего лишь относительно небольшую часть от общей площади заброшенных пахотных земель в этих странах. Возвращение в оборот этих земель может обеспечить заметный вклад в мировое производство зерна и продовольственную безопасность в различных регионах с относительно незначительным экологическим компромиссом по сравнению с тропическими районами, но не является панацеей для решения глобальных проблем продовольственной безопасности или снижения нагрузки на землепользование в тропических экосистемах. Несмотря на то, что углубленное изучение всей цепочки отдаленных экологических и социальных последствий возвращения пахотных земель в оборот в России, Украине, Казахстане выходит за рамки исследования, была показана глобальная актуальность улучшения понимания динамики и перспектив возвращения заброшенных пахотных земель в оборот в постсоветских странах. Разработанный в настоящей работе подход является гибким, позволяет определить приоритеты категорий земельных ресурсов на основании целей и стратегий различных агентов, может быть применен для оценки социальных и экологических ограничений и компромиссов, связанных с использованием потенциально доступных пахотных земель в других регионах мира.

### **Благодарности**

Авторы выражают благодарность Фонду Эйнштейна (Берлин, Германия), Германскому федеральному министерству по продовольствию и сельскому хозяйству, а также Федеральному учреждению по сельскому хозяйству и продовольствию (проект GERUKA), Фонду им. Лейбница (проект EPIKUR), Германскому министерству науки и образования (проект KULUNDA), Фонду Фольксваген (проект BALTRAK), Программе фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 годы (темы НИР с номерами государственной регистрации 01201351529 и 01201351530), а также Программе по исследованию изменений землепользования NASA Land-Cover / Land-Use Change (LCLUC) Program, грант NNX13AC66G. Данное финансирование не повлияло на дизайн исследования, анализ, а также на написание данной статьи, как и на решение относительно публикации результатов. Авторы также благодарны Джованни Милло за поддержку в использовании пакета SPLM и за помощь в интерпретации результатов пространственных панельных регрессий. Статья дополняет Проект глобального изучения земельных ресурсов (Global Land Project).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N.* (Eds). Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds. 2008. URL: <http://www.agroatlas.ru> (дата обращения: март 2016).
2. *Alexandratos N., Bruinsma J.* World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision / ESA. Working Paper No. 12-03. 2012. 160 p.
3. *Baltagi B.H., Song S.H., Koh W.* Testing Panel Data Regression Models with Spatial Error Correlation // *Journal of Econometrics*. 2003. Vol. 117. Issue 1. Pp. 123–150. DOI: 10.1016/S0304-4076(03)00120-9.
4. *Baumann M., Kuemmerle T., Elbakidze M., Ozdogan M., Radeloff V.C., Keuler N.S., Prishchepov A.V., Kruhlov I., Hostert P.* Patterns and Drivers of Post-Socialist Farmland Abandonment in Western Ukraine // *Land Use Policy*. 2011. Vol. 28. Issue 3. Pp. 552–562. DOI: 10.1016/j.landusepol.2010.11.003.
5. *Baumann M., Radeloff V.C., Avedian V., Kuemmerle T.* Land-Use Change in the Caucasus During and After the Nagorno-Karabakh Conflict // *Regional Environmental Change*. 2015. Vol. 15. Issue 8. Pp. 1703–1716. DOI: 10.1007/s10113-014-0728-3.
6. *Borras Jr.S.M., Hall R., Scoones I., White B., Wolford W.* Towards a better Understanding of Global Land Grabbing: An Editorial Introduction // *The Journal of Peasant Studies*. 2011. Vol. 38. Issue 2. Pp. 209–216. DOI: 10.1080/03066150.2011.559005.
7. *Bragina E.V., Ives A.R., Pidgeon A.M., Kuemmerle T., Baskin L.M., Gubar Y.P., Piquer-Rodriguez M., Keuler N.S., Radeloff V.C.* Rapid Declines of Large Mammal Populations After the Collapse of the Soviet Union // *Conservation Biology*. 2015. Vol. 29. Issue 3. Pp. 844–853. DOI: 10.1111/cobi.12450.
8. *Byerlee D., Deininger K.* Growing Resource Scarcity and Global Farmland Investment // *Annual Review of Resource Economics*. 2013. Vol. 5. Issue 1. Pp. 13–34. DOI: 10.1146/annurev-resource-091912-151849.
9. *Cramer V.A., Hobbs R.J., Standish R.J.* What's New about Old Fields? Land Abandonment and Ecosystem Assembly // *Trends in Ecology & Evolution*. 2008. Vol. 23. Issue 2. Pp. 104–112. DOI: 10.1016/j.tree.2007.10.005.
10. *Deininger K., Byerlee D., Lindsay J., Norton A., Selod H., Stickler M.* Rising Global Interest in Farmland: Can It Yield Sustainable and Equitable Benefits? Washington, D.C.: The World Bank. 2011. 214 p. DOI: 10.1596/978-0-8213-8591-3.
11. *De Beurs K.M., Ioffe G.* Use of Landsat and MODIS Data to Remotely Estimate Russia's Sown Area // *Journal of Land Use Science*. 2014. Vol. 9. Issue 4. Pp. 377–401. DOI: 10.1080/1747423X.2013.798038.
12. *Dronin N., Kirilenko A.* Climate Change and Food Stress in Russia: What if the Market Transforms as It Did During the Past Century? // *Climatic Change*. 2008. Vol. 86. Issue 1–2. Pp. 123–150. DOI: 10.1007/s10584-007-9282-z.
13. *Dronin N., Kirilenko A.* Climate Change, Food Stress, and Security in Russia // *Regional Environmental Change*. 2011. Vol. 11. Issue 1. Supplement. Pp. 167–178. DOI: 10.1007/s10113-010-0165-x.
14. *Eitelberg D.A., Vliet J., Verburg P.H.* A Review of Global Potentially Available Cropland Estimates and their Consequences for Model-Based Assessments // *Global Change Biology*. 2015. Vol. 21. Issue 3. Pp. 1236–1248. DOI: 10.1111/gcb.12733.
15. *Elhorst J.P.* *Spatial Econometrics*. Springer Berlin Heidelberg, 2014. 119 p. DOI: 10.1007/978-3-642-40340-8.
16. *Ericsson S., Ostlund L., Axelsson A.L.* A Forest of Grazing and Logging: Deforestation and Reforestation History of a Boreal Landscape in Central Sweden // *New Forests*. 2000. Vol. 19. Issue 3. Pp. 227–240. DOI: 10.1023/A:1006673312465.

17. *Estel S., Kuemmerle T., Alcántara C., Levers C., Prishchepov A., Hostert P.* Mapping Farmland Abandonment and Recultivation across Europe using MODIS NDVI Time Series // *Remote Sensing of Environment*. 2015. Vol. 163. Pp. 312–325. DOI: 10.1016/j.rse.2015.03.028.
18. FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC. Harmonized World Soil Database (version 1.2). 2012.
19. FAO. FAOSTAT. 2015. URL: <http://faostat3.fao.org> (дата обращения: апрель 2016).
20. *Fellmann T., Hélaïne S., Nekhay O.* Harvest Failures, Temporary Export Restrictions and Global food Security: The Example of Limited Grain Exports from Russia, Ukraine and Kazakhstan // *Food Security*. 2014. Vol. 6. Issue 5. Pp. 727–742. DOI: 10.1007/s12571-014-0372-2.
21. *Fischer J., Hartel T., Kuemmerle T.* Conservation Policy in Traditional Farming Landscapes // *Conservation Letters*. 2012. Vol. 5. Issue 3. Pp. 167–175. DOI: 10.1111/j.1755-263X.2012.00227.x.
22. *Garrett R.D., Lambin E.F., Naylor R.L.* The New Economic Geography of Land Use Change: Supply Chain Configurations and Land Use in the Brazilian Amazon // *Land Use Policy*. 2013. Vol. 34. Pp. 265–275. DOI: 10.1016/j.landusepol.2013.03.011.
23. *Gasparri N., Kuemmerle T., Meyfroidt P., Le Polain de Waroux Y., Kreft H.* The Emerging Soybean Production Frontier in Southern Africa: Conservation Challenges and the Role of South-South Telecouplings // *Conservation Letters*. 2016. Vol. 9. Issue 1. Pp. 21–31. DOI: 10.1111/conl.12173.
24. *Gellrich M., Baur P., Koch B., Zimmermann N.E.* Agricultural Land Abandonment and Natural Forest Re-Growth in the Swiss Mountains: A Spatially Explicit Economic Analysis // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2007. Vol. 118. Issue 1–4. Pp. 93–108. DOI: 10.1016/j.agee.2006.05.001.
25. *Gerry C.J., Nivorozhkin E., Rigg J.A.* The Great Divide: «Ruralisation» of Poverty in Russia // *Cambridge Journal of Economics*. 2008. Vol. 32. Issue 4. Pp. 593–607. DOI: 10.1093/cje/bem052.
26. *Gibbs H.K., Rausch L., Munger J., Schelly I., Morton D.C., Noojipady P., Soares-Filho B., Barreto P., Micol L., Walker N.F.* Brazil's Soy Moratorium // *Science*. 2015. Vol. 347. Issue 6220. Pp. 377–378. DOI: 10.1126/science.aaa0181.
27. *Godfray H.C.J., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Nisbett N., Pretty J., Robinson S., Toulmin C., Whiteley R.* The Future of the Global food System // *Philosophical Transactions of the Royal Society*. 2010. Vol. 365. Issue 1554. Pp. 2769–2777. DOI: 10.1098/rstb.2010.0180.
28. *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.
29. *Griffiths P., Müller D., Kuemmerle T., Hostert P.* Agricultural Land Change in the Carpathian Ecoregion After the Breakdown of Socialism and Expansion of the European Union // *Environmental Research Letters*. 2013. Vol. 8. Issue 4. 045024. DOI: 10.1088/1748-9326/8/4/045024.
30. *Hale H.* Explaining Machine Politics in Russia's Regions: Economy, Ethnicity, and Legacy // *Post-Soviet Affairs*. 2003. Vol. 19. Issue 3. Pp. 228–263. DOI: 10.2747/1060-586X.19.3.228.
31. *Hatna E., Bakker M.M.* Abandonment and Expansion of Arable Land in Europe // *Ecosystems*. 2011. Vol. 14. Issue 5. Pp. 720–731. DOI: 10.1007/s10021-011-9441-y.
32. *Henle K., Alard D., Clitherow J., Cobb P., Firbank L., Kull T., McCracken D., Moritz R.F.A., Niemela J., Rebane M., Wascher D., Watt A., Young J.* Identifying and

Managing the Conflicts between Agriculture and Biodiversity Conservation in Europe – A Review // *Agriculture Ecosystems & Environment*. 2008. Vol. 124. Issue 1–2. Pp. 60–71. DOI: 10.1016/j.agee.2007.09.005.

33. *Ioffe G., Nefedova T., de Beurs K.* Agrarian Transformation in the Russian Breadbasket: Contemporary Trends as Manifest in Stavropol' // *Post-Soviet Affairs*. 2014. Vol. 30. Issue 6. Pp. 441–463. DOI: 10.1080/1060586X.2013.858509.

34. *Ioffe G., Nefedova T.* Marginal Farmland in European Russia // *Eurasian Geography and Economics*. 2004. Vol. 45. Issue 1. Pp. 45–59. DOI: 10.2747/1538-7216.45.1.45.

35. *Ioffe G., Nefedova T., de Beurs K.* Land Abandonment in Russia // *Eurasian Geography and Economics*. 2012. Vol. 53. Issue 4. Pp. 527–549. DOI: 10.2747/1539-7216.53.4.527.

36. *Ioffe G., Nefedova T., Zaslavsky I.* From Spatial Continuity to Fragmentation: The Case of Russian Farming // *Annals of Association of American Geographers*. 2004. Vol. 94. Issue 4. Pp. 913–943. DOI: 10.1111/j.1467-8306.2004.00441.x.

37. *Iwanski T.* Ukrainian Economy Overshadowed by War // *OSW Analyses*. 2014. 17 September. Vol. 148. 7 p.

38. *Jantz P., Goetz S., Laporte N.* Carbon Stock Corridors to Mitigate Climate Change and Promote Biodiversity in the Tropics // *Nature Climate Change*. 2014. Vol. 4. Issue 2. Pp. 138–142. DOI: 10.1038/nclimate2105.

39. *Joppa L.N., Pfaff A.* High and Far: Biases in the Location of Protected Areas // *PLoS ONE*. 2009. Vol. 4. e8273. DOI: 10.1371/journal.pone.0008273.

40. *Kamp J., Urazaliev R., Donald P.F., Hölzel N.* Post-Soviet Agricultural Change Predicts Future Declines After Recent Recovery in Eurasian Steppe Bird Populations // *Biological Conservation*. 2011. Vol. 144. Issue 11. Pp. 2607–2614. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.07.010.

41. *Kastner T., Erb K.H., Haberl H.* Global Human Appropriation of Net Primary Production for Biomass Consumption in the European Union, 1986–2007 // *Journal of Industrial Ecology*. 2015. Vol. 19. Issue 5. Pp. 825–836. DOI: 10.1111/jiec.12238.

42. KAZSTAT. Agency of Statistics of Kazakhstan. Astana. 2014. URL: <http://stat.gov.kz> (дата обращения: декабрь 2015).

43. *Kelley C.P., Mohtadi S., Cane M.A., Seager R., Kushnir Y.* Climate Change in the Fertile Crescent and Implications of the Recent Syrian Drought // *Proceedings of the National Academy of Science*. 2015. Vol. 112. Issue 11. Pp. 3241–3246. DOI: 10.1073/pnas.1421533112.

44. *Kontorovich V.* The Russian Health Crisis and the Economy // *Communist and Post-Communist Studies*. 2001. Vol. 34. Issue 2. Pp. 221–240. DOI: 10.1016/S0967-067X(01)00003-4.

45. *Kraemer R., Prishchepov A.V., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Friihauf M.* Long-Term Agricultural Land-Cover Change and Potential for Cropland Expansion in the Former Virgin Lands Area of Kazakhstan // *Environmental Research Letters*. 2015. Vol. 10. No. 5. 054012. DOI: 10.1088/1748-9326/10/5/054012.

46. *Kristensen L.S., Thenail C., Kristensen S.P.* Landscape Changes in Agrarian Landscapes in the 1990s: The Interaction between Farmers and the Farmed Landscape. A Case Study from Jutland, Denmark // *Journal of Environmental Management*. 2004. Vol. 71. Issue 3. Pp. 231–244. DOI: 10.1016/j.jenvman.2004.03.003.

47. *Kuemmerle T., Kaplan J.O., Prishchepov A.V., Rylskyy I., Chaskovskyy O., Tikunov V.S., Müller D.* Forest Transitions in Eastern Europe and their Effects on Carbon Budgets // *Global Change Biology*. 2015. Vol. 21. Issue 8. Pp. 3049–3061. DOI: 10.1111/gcb.12897.

48. *Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y.* Carbon Cost of Collective

Farming Collapse in Russia // *Global Change Biology*. 2014. Vol. 20. Issue 3. Pp. 938–947. DOI: 10.1111/gcb.12379.

49. *Lambin E.F., Gibbs H.K., Ferreira L., Grau R., Mayaux P., Meyfroidt P., Morton D.C., Rudel T.K., Gasparri I., Munger J.* Estimating the World's Potentially Available Cropland Using a Bottom-up Approach // *Global Environmental Change*. 2013. Vol. 23. Issue 5. Pp. 892–901. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2013.05.005.

50. *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.

51. *Lambin E.F., Meyfroidt P., Rueda X., Blackman A., Börner J., Cerutti P.O., Dietsch T., Jungmann L., Lamarque P., Lister J., Walker N.F., Wunder S.* Effectiveness and Synergies of Private and Public Actions for Land Use Governance in Tropical Regions // *Global Environmental Change*. 2014. Vol. 28. Pp. 129–140. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.06.007.

52. *Lehmann C.E.R.* Savannas Need Protection // *Science*. 2010. Vol. 327. Issue 5966. Pp. 642–643. DOI: 10.1126/science.327.5966.642-c.

53. *Lioubimtseva E., de Beurs K.M., Henebry G.M.* Grain Production Trends in Russia, Ukraine, and Kazakhstan in the Context of the Global Climate Variability and Change // *Climate Change and Water Resources* / Edited by T. Younos, C.A. Grady. Springer Berlin Heidelberg. 2013. Pp. 121–141. DOI: 10.1007/698\_2013\_225.

54. *MacDonald D., Crabtree J.R., Wiesinger G., Dax T., Stamou N., Fleury P., Lazpita J.G., Gibon A.* Agricultural Abandonment in Mountain Areas of Europe: Environmental Consequences and Policy Response // *Journal of Environmental Management*. 2000. Vol. 59. Issue 1. Pp. 47–69. DOI: 10.1006/jema.1999.0335.

55. *MacDonald G.K., Brauman K.A., Sun S., Carlson K.M., Cassidy E.S., Gerber J.S., West P.C.* Rethinking Agricultural Trade Relationships in an Era of Globalization // *BioScience*. 2015. Vol. 65. Issue 3. Pp. 275–289. DOI: 10.1093/biosci/biu225.

56. *Malhi Y., Baldocchi D.D., Jarvis P. G.* The Carbon Balance of Tropical, Temperate and Boreal Forests // *Plant, Cell & Environment*. 1999. Vol. 22. Issue 6. Pp. 715–740. DOI: 10.1046/j.1365-3040.1999.00453.x.

57. *Meyfroidt P., Carlson K.M., Fagan M.E., Gutiérrez-Vélez V.H., Macedo M.N., Curran L.M., DeFries R.S., Dyer G.A., Gibbs H.K., Lambin E.F., Morton D.C., Robiglio V.* Multiple Pathways of Commodity Crop Expansion in Tropical Forest Landscapes // *Environmental Research Letters*. 2014. Vol. 9. 074012. DOI: 10.1088/1748-9326/9/7/074012.

58. *Meyfroidt P., Lambin E.F.* Global Forest Transition: Prospects for an End to Deforestation // *Annual Review of Environment and Resources*. 2011. Vol. 36. Issue 1. Pp. 343–371. DOI: 10.1146/annurev-environ-090710-143732.

59. *Meyfroidt P., Rudel T.K., Lambin E.F.* Forest Transitions, Trade, and the Global Displacement of Land Use // *Proceedings of the National Academy of Science*. 2010. Vol. 107. Issue 49. Pp. 20917–20922. DOI: 10.1073/pnas.1014773107.

60. *Mikulcak F., Haider J.L., Abson D.J., Newig J., Fischer J.* Applying a Capitals Approach to Understand Rural Development Traps: A Case Study from Post-Socialist Romania // *Land Use Policy*. 2015. Vol. 43. Pp. 248–258. DOI: 10.1016/j.landusepol.2014.10.024.

61. *Millo G., Piras G.* SPLM: Spatial Panel Data Models in R // *Journal of Statistical Software*. 2012. Vol. 47. Issue 1. Pp. 1–38. DOI: 10.18637/jss.v047.i01.

62. *Moreira F., Russo D.* Modelling the Impact of Agricultural Abandonment and Wildfires on Vertebrate Diversity in Mediterranean Europe // *Landscape Ecology*. 2007. Vol. 22. Issue 10. Pp. 1461–1476. DOI: 10.1007/s10980-007-9125-3.

63. Müller D., Leitão P.J., Sikor T. Comparing the Determinants of Cropland Abandonment in Albania and Romania Using Boosted Regression Trees // *Agricultural Systems*. 2013. Vol. 117. Pp. 66–77. DOI: 10.1016/j.agsy.2012.12.010.
64. Navarro L., Pereira H. Rewilding Abandoned Landscapes in Europe // *Ecosystems*. 2012. Vol. 15. Issue 6. Pp. 900–912. DOI: 10.1007/s10021-012-9558-7.
65. Nefedova T. Agricultural Land in Russia and its Dynamics // *Regional Research of Russia*. 2011. Vol. 1. Issue 3. Pp. 292–295. DOI: 10.1134/S2079970511030099.
66. Невѣдова Т.Г. Агропромышленная концентрация в российских регионах // *ЭКО*. 2014. № 4. С. 64–82.
67. OECD. Review of Agricultural Policies: Kazakhstan 2013. 248 p. DOI: 10.1787/9789264191761-en.
68. Olson D.M., Dinerstein E. The Global 200: A Representation Approach to Conserving the Earth's Most Biologically Valuable Ecoregions // *Conservation Biology*. 1998. Vol. 12. Issue 3. Pp. 502–515. DOI: 10.1046/j.1523-1739.1998.012003502.x.
69. Pan Y., Birdsey R.A., Fang J., Houghton R., Kauppi P.E., Kurz W.A., et al. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests // *Science*. 2011. Vol. 333. Issue 6045. Pp. 988–993. DOI: 10.1126/science.1201609.
70. Penov I. The Use of Irrigation Water in Bulgaria's Plovdiv Region During Transition // *Environmental Management*. 2004. Vol. 34. Issue 2. Pp. 304–313. DOI: 10.1007/s00267-004-0019-8.
71. Petrick M., Wandel J., Karsten K. Rediscovering the Virgin Lands: Agricultural Investment and Rural Livelihoods in a Eurasian Frontier Area // *World Development*. 2013. Vol. 43. Pp. 164–179. DOI: 10.1016/j.worlddev.2012.09.015.
72. Piesse J., Thirtle C. Three Bubbles and a Panic: An Explanatory Review of Recent Food Commodity Price Events // *Food Policy*. 2009. Vol. 34. Issue 2. Pp. 119–129. DOI: 10.1016/j.foodpol.2009.01.001.
73. Piquer-Rodríguez M., Kuemmerle T., Alcaraz-Segura D., Zurita-Milla R., Cabello J. Future Land Use Effects on the Connectivity of Protected Area Networks in Southeastern Spain // *Journal for Nature Conservation*. 2012. Vol. 20. Issue 6. Pp. 326–336. DOI: 10.1016/j.jnc.2012.07.001.
74. Plieninger T., Hui C., Gaertner M., Huntsinger L. The Impact of Land Abandonment on Species Richness and Abundance in the Mediterranean Basin: A Meta-Analysis // *PLoS ONE*. 2014. Vol. 9. Issue 5. e.98355. DOI: 10.1371/journal.pone.0098355.
75. Potapov P., Yaroshenko A., Turubanova S., Dubinin M., Laestadius L., Thies C., Aksenov D., Egorov A., Yesipova Y., Glushkov I., Karpachevskiy M., Kostikova A., Manisha A., Tsybikova E., Zhuravleva I. Mapping the World's Intact Forest Landscapes by Remote Sensing // *Ecology and Society*. 2008. Vol. 13. No. 2.
76. Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Krylov A.M., McCarty J.L., Radeloff V.C., Hansen M.C. Eastern Europe's Forest Cover Dynamics from 1985 to 2012 Quantified from the Full Landsat Archive // *Remote Sensing of Environment*. 2015. Vol. 159. Pp. 28–43. DOI: 10.1016/j.rse.2014.11.027.
77. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Baumann M., Kuemmerle T., Müller D. Effects of Institutional Changes on Land Use: Agricultural Land Abandonment during the Transition from State-Command to Market-Driven Economies in Post-Soviet Eastern Europe // *Environmental Research Letters*. 2012. Vol. 7. 024021. DOI: 10.1088/1748-9326/7/2/024021.
78. Prishchepov A.V., Müller D., Dubinin M., Baumann M., Radeloff V.C. Determinants of Agricultural Land Abandonment in Post-Soviet European Russia // *Land Use Policy*. 2013. Vol. 30. Issue 1. Pp. 873–884. DOI: 10.1016/j.landusepol.2012.06.011.
79. Queiroz C., Beilin R., Folke C., Lindborg R. Farmland Abandonment: Threat or

Opportunity for Biodiversity Conservation? A Global Review // *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2014. Vol. 12. Issue 5. Pp. 288–296. DOI: 10.1890/120348.

80. *Ramankutty N., Heller E., Rhemtulla J.* Prevailing Myths About Agricultural Abandonment and Forest Regrowth in the United States // *Annals of the Association of American Geographers*. 2010. Vol. 100. Issue 3. Pp. 502–512. DOI: 10.1080/00045601003788876.

81. *Rey Benayas J.* Abandonment of Agricultural Land: An Overview of Drivers and Consequences // *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*. 2007. Vol. 2. Issue 057. DOI: 10.1079/PAVSNNR20072057.

82. ROSSTAT. Russian Federation Federal State Statistics Service. Moscow. 2014. URL: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/en/main](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/en/main) (дата обращения: декабрь 2015).

83. *Rozelle S., Swinnen J.F.* Success and Failure of Reform: Insights from the Transition of Agriculture // *Journal of Economic Literature*. 2004. Vol. 42. Issue 2. Pp. 404–456. DOI: 10.1257/0022051041409048.

84. *Ruiz-Flaño P., Garcia-Ruiz J.M., Ortigosa L.* Geomorphological Evolution of Abandoned Fields. A Case Study in the Central Pyrenees // *Catena*. 1992. Vol. 19. Issue 3–4. Pp. 301–308. DOI: 10.1016/0341-8162(92)90004-U.

85. *Saatchi S.S., Harris N.L., Brown S., Lefsky M., Mitchard E.T., Salas W., et al.* Benchmark Map of Forest Carbon Stocks in Tropical Regions Across Three Continents // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011. Vol. 108. Issue 24. Pp. 9899–9904. DOI: 10.1073/pnas.1019576108.

86. *Searchinger T.D., Estes L., Thornton P.K., Beringer T., Notenbaert A., Rubenstein D., Heimlich D., Licker R., Herrero M.* High Carbon and Biodiversity Costs from Converting Africa's Wet Savannas to Cropland // *Nature Climate Change*. 2015. Vol. 5. Issue 5. Pp. 481–486. DOI: 10.1038/nclimate2584.

87. *Schierhorn F., Müller D., Beringer T., Prishchepov A.V., Kuemmerle T., Balmann A.* Post-Soviet Cropland Abandonment and Carbon Sequestration in European Russia, Ukraine, and Belarus: Abandonment and Carbon Sequestration // *Global Biogeochemical Cycles*. 2013. Vol. 27. Issue 4. Pp. 1175–1185. DOI: 10.1002/2013GB004654.

88. *Schierhorn F., Müller D., Prishchepov A.V., Faramarzi M., Balmann A.* The Potential of Russia to Increase its Wheat Production Through Cropland Expansion and Intensification // *Global Food Security*. 2014. Vol. 3. Issue 3–4. Pp. 133–141. DOI: 10.1016/j.gfs.2014.10.007.

89. *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. Issue 8. 084017. DOI: 10.1088/1748-9326/9/8/084017.

90. *Schierhorn F., Gittelsohn A.K., Müller D.* How the Collapse of the Beef Sector in Post-Soviet Russia Displaced Competition for Ecosystem Services to the Brazilian Amazon // *Land Use Competition: Ecological, Economic and Social Perspectives* / Edited by J. Niewöhner, A. Bruns, P. Hostert, T. Krüger, J.Ø. Nielsen, H. Haberl, C. Lauk, J. Lutz, D. Müller. Springer, Dordrecht. 2016. Forthcoming.

91. *Shorohova E., Kuuluvainen T., Kangur A., Jõgiste K.* Natural Stand Structures, Disturbance Regimes and Successional Dynamics in the Eurasian Boreal Forests: A Review with Special Reference to Russian Studies // *Annals of Forest Science*. 2009. Vol. 66. Issue 2. Pp. 1–20. DOI: 10.1051/forest/2008083.

92. *Sieber A., Kuemmerle T., Prishchepov A.V., Wendland K.J., Baumann M., Radeloff V.C., Baskin L.M., Hostert P.* Landsat-Based Mapping of Post-Soviet Land-Use Change to Assess the Effectiveness of the Oksky and Mordovsky Protected Areas in European Russia // *Remote Sensing of Environment*. 2013. Vol. 133. Pp. 38–51. DOI: 10.1016/j.rse.2013.01.021.

93. *Stanchi S., Freppaz M., Agnelli A., Reinsch T., Zanini E.* Properties, Best Management Practices and Conservation of Terraced Soils in Southern Europe (from Mediterranean Areas to the Alps): A Review // *Quaternary International*. 2012. Vol. 265. Pp. 90–100. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.09.015.

94. *Stefanski J., Kuemmerle T., Chaskovskyy O., Griffiths P., Havryluk V., Knorn J., et al.* Mapping Land Management Regimes in Western Ukraine Using Optical and SAR Data // *Remote Sensing*. 2014. Vol. 6. Issue 6. Pp. 5279–5305. DOI: 10.3390/rs6065279.

95. *Stellmes M., Röder A., Udelhoven T., Hill J.* Mapping Syndromes of Land Change in Spain with Remote Sensing Time Series, Demographic and Climatic Data // *Land Use Policy*. 2013. Vol. 30. Issue 1. Pp. 685–702. DOI: 10.1016/j.landusepol.2012.05.007.

96. UKRSTAT. State Statistics Service of Ukraine. Kiev. 2014. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата обращения: декабрь 2015).

97. *Van der Sluis T., Pedroli B., Kristensen S.B., Cosor G.L., Pavlis E.* Changing Land Use Intensity in Europe – Recent Processes in Selected Case Studies // *Land Use Policy*. 2015. DOI: 10.1016/j.landusepol.2014.12.005.

98. *Van Doorn A.M., Bakker M.M.* The Destination of Arable Land in a Marginal Agricultural Landscape in South Portugal: An Exploration of Land Use Change Determinants // *Landscape Ecology*. 2007. Vol. 22. Issue 7. Pp. 1073–1087. DOI: 10.1007/s10980-007-9093-7.

99. *Vanwambeke S.O., Meyfroidt P., Nikodemus O.* From USSR to EU: 20 Years of Rural Landscape Changes in Vidzeme, Latvia // *Landscape and Urban Planning*. 2012. Vol. 105. Issue 3. Pp. 241–249. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.12.009.

100. *Verburg P.H., Ellis E.C., Letourneau A.* A Global Assessment of Market Accessibility and Market Influence for Global Environmental Change Studies // *Environmental Research Letters*. 2011. Vol. 6. 034019. DOI: 10.1088/1748-9326/6/3/034019.

101. *Visser O., Spoor M.* Land Grabbing in Post-Soviet Eurasia: The World's Largest Agricultural Land Reserves at Stake // *Journal of Peasant Studies*. 2011. Pp. 299–323. Vol. 38. Issue 2. DOI: 10.1080/03066150.2011.559010.

102. *Wegren S.K.* Human Capital and Russia's Agricultural Future // *Post-Communist Economies*. 2014. Vol. 26. Issue 4. Pp. 537–544. DOI: 10.1080/14631377.2014.964467.

103. *Wegren S.K.* Russia's Food Embargo // *Russian Analytical Digest*. 2014. Vol. 157. Pp. 8–12.

## **DRIVERS, CONSTRAINTS AND TRADE-OFFS ASSOCIATED WITH RECULTIVATING ABANDONED CROPLAND IN RUSSIA, UKRAINE AND KAZAKHSTAN**

**P. Meyfroidt, F. Schierhorn,  
A.V. Prishchepov, D. Müller, T. Kuemmerle**

*Meyfroidt Patrick* – Georges Lemaitre Earth and Climate Research Centre, Earth and Life Institute, Université Catholique de Louvain, 1348 Louvain-La-Neuve, Belgium; Fonds de la Recherche Scientifique F.R.S. – FNRS, 1000 Brussels, Belgium. E-mail: [patrick.meyfroidt@uclouvain.be](mailto:patrick.meyfroidt@uclouvain.be).

*Schierhorn Florian* – Leibniz Institute of Agricultural Development in Transition Economies (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, 06120 Halle (Saale), Germany; Geography Department,

Humboldt Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, Germany. E-mail: schierhorn@iamo.de.

*Prishchepov Alexander Vladimirovich* – Department of Geosciences and Natural Resources Management, University of Copenhagen, Øster Voldgade 10, 1350 København K, Denmark; Leibniz Institute of Agricultural Development in Transition Economies (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, 06120 Halle (Saale), Germany; Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Science (RAS), Pionerskaya str. 11, 460000 Orenburg, Russia. E-mail: alpr@ign.ku.dk.

*Müller Daniel* – Leibniz Institute of Agricultural Development in Transition Economies (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, 06120 Halle (Saale), Germany; Geography Department, Humboldt Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, Germany; Institute of Steppe of the Ural Branch of the Russian Academy of Science (RAS), Pionerskaya str. 11, 460000 Orenburg, Russia. E-mail: mueller@iamo.de.

*Kuemmerle Tobias* – Geography Department, Humboldt Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, Germany; Integrative Research Institute on Transformations of Human – Environment Systems (IRI THESys), Humboldt Universität zu Berlin, Unter den Linden 6, 10099 Berlin, Germany. E-mail: tobias.kuemmerle@hu-berlin.de.

Further cropland expansion might be unavoidable to satisfy the growing demand for land-based products and ecosystem services. A crucial issue is thus to assess the trade-offs between social and ecological impacts and the benefits of converting additional land to cropland. In the former Soviet Union countries, where the transition from state-command to market-driven economies resulted in widespread agricultural land abandonment, cropland expansion may incur relatively low costs, especially compared with tropical regions.

Our objectives were to quantify the drivers, constraints and trade-offs associated with recultivating abandoned cropland to assess the potentially available cropland in European Russia, western Siberia, Ukraine and Kazakhstan – the region where the vast majority of post-Soviet cropland abandonment took place. Using spatial panel regressions, we characterized the socio-economic determinants of cropland abandonment and recultivation. We then used recent maps of changes in cropland to 1) spatially characterize the socio-economic, accessibility and soil constraints associated with the recultivation of abandoned croplands and 2) investigate the environmental trade-offs regarding carbon stocks and habitat for biodiversity.

Less cropland abandonment and more recultivation after 2000 occurred in areas with an increasing rural population and a younger labor force, but also improved yields. Synergies were observed between cropland recultivation and intensification over the 2000s. From 47.3 million hectares (Mha) of cropland abandoned in 2009, we identified only 8.5 (7.1–17.4) Mha of potentially available cropland with low environmental tradeoffs and low to moderate socio-economic or accessibility constraints that were located on high-quality soils (Chernozems). These areas represented an annual wheat production potential of 14.3 (9.6–19.5) million tons (Mt). Conversely, 8.5 (4.2–12.4) Mha had high carbon or biodiversity trade-offs, of which 10% might be attractive for cropland expansion and thus would require protection from recultivation. Agroenvironmental, accessibility, and socio-economic constraints suggested that the remaining 30.6 (25.7–30.6) Mha of abandoned croplands were unlikely to provide important contributions to future crop production at current wheat prices but could provide various ecosystem services, and some could support extensive livestock production. Political and institutional support could foster recultivation by supporting investments in agriculture and rural demographic revitalization. Reclaiming potentially available cropland in the study region could provide a notable contribution to global grain production, with relatively low environmental trade-offs compared with tropical frontiers, but is not a panacea to address global issues of food security or reduce land-use pressure on tropical ecosystems.

*Keywords:* Land use, Cropland reclamation, Rewilding, Food production, Carbon, Biodiversity.

## REFERENCES

1. Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. (Eds). Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds, 2008. Available at: <http://www.agroatlas.ru> (accessed March 2016).
2. Alexandratos N., Bruinsma J. World Agriculture Towards 2030/2050: The 2012 Revision. *ESA Working Paper No. 12-03*, 2012, 160 p.
3. Baltagi B.H., Song S.H., Koh W. Testing Panel Data Regression Models with Spatial Error Correlation. *Journal of Econometrics*, 2003, vol. 117, issue 1, pp. 123–150. DOI: 10.1016/S0304-4076(03)00120-9.
4. Baumann M., Kuemmerle T., Elbakidze M., Ozdogan M., Radeloff V.C., Keuler N.S., Prishchepov A.V., Kruhlov I., Hostert P. Patterns and Drivers of Post-Socialist Farmland Abandonment in Western Ukraine. *Land Use Policy*, 2011, vol. 28, issue 3, pp. 552–562. DOI: 10.1016/j.landusepol.2010.11.003.
5. Baumann M., Radeloff V.C., Avedian V., Kuemmerle T. Land-Use Change in the Caucasus During and After the Nagorno-Karabakh Conflict. *Regional Environmental Change*, 2015, vol. 15, issue 8, pp. 1703–1716. DOI: 10.1007/s10113-014-0728-3.
6. Borras Jr.S.M., Hall R., Scoones I., White B., Wolford W. Towards a better Understanding of Global Land Grabbing: An Editorial Introduction. *The Journal of Peasant Studies*, 2011, vol. 38, issue 2, pp. 209–216. DOI: 10.1080/03066150.2011.559005.
7. Bragina E.V., Ives A.R., Pidgeon A.M., Kuemmerle T., Baskin L.M., Gubar Y.P., Piquer-Rodriguez M., Keuler N.S., Radeloff V.C. Rapid Declines of Large Mammal Populations After the Collapse of the Soviet Union. *Conservation Biology*, 2015, vol. 29, issue 3, pp. 844–853. DOI: 10.1111/cobi.12450.
8. Byerlee D., Deininger K. Growing Resource Scarcity and Global Farmland Investment. *Annual Review of Resource Economies*, 2013, vol. 5, issue 1, pp. 13–34. DOI: 10.1146/annurev-resource-091912-151849.
9. Cramer V.A., Hobbs R.J., Standish R.J. What's New about Old Fields? Land Abandonment and Ecosystem Assembly. *Trends in Ecology & Evolution*, 2008, vol. 23, issue 2, pp. 104–112. DOI: 10.1016/j.tree.2007.10.005.
10. Deininger K., Byerlee D., Lindsay J., Norton A., Selod H., Stickler M. *Rising Global Interest in Farmland: Can It Yield Sustainable and Equitable Benefits?* Washington, D.C.: The World Bank, 2011, 214 p. DOI: 10.1596/978-0-8213-8591-3.
11. De Beurs K.M., Ioffe G. Use of Landsat and MODIS Data to Remotely Estimate Russia's Sown Area. *Journal of Land Use Science*, 2014, vol. 9, issue 4, pp. 377–401. DOI: 10.1080/1747423X.2013.798038.
12. Dronin N., Kirilenko A. Climate Change and Food Stress in Russia: What if the Market Transforms as It Did During the Past Century? *Climatic Change*, 2008, vol. 86, issue 1–2, pp. 123–150. DOI: 10.1007/s10584-007-9282-z.
13. Dronin N., Kirilenko A. Climate Change, Food Stress, and Security in Russia. *Regional Environmental Change*, 2011, vol. 11, issue 1, Supplement, pp. 167–178. DOI: 10.1007/s10113-010-0165-x.
14. Eitelberg D.A., Vliet J., Verburg P.H. A Review of Global Potentially Available Cropland Estimates and their Consequences for Model-Based Assessments. *Global Change Biology*, 2015, vol. 21, issue 3, pp. 1236–1248. DOI: 10.1111/gcb.12733.
15. Elhorst J.P. *Spatial Econometrics*. Springer Berlin Heidelberg, 2014, 119 p. DOI: 10.1007/978-3-642-40340-8.
16. Ericsson S., Ostlund L., Axelsson A.L. A Forest of Grazing and Logging: Deforestation and Reforestation History of a Boreal Landscape in Central Sweden. *New Forests*, 2000, vol. 19, issue 3, pp. 227–240. DOI: 10.1023/A:1006673312465.

17. Estel S., Kuemmerle T., Alcántara C., Levers C., Prishchepov A., Hostert P. Mapping Farmland Abandonment and Recultivation across Europe using MODIS NDVI Time Series. *Remote Sensing of Environment*, 2015, vol. 163, pp. 312–325. DOI: 10.1016/j.rse.2015.03.028.
18. FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC. Harmonized World Soil Database (version 1.2), 2012.
19. FAO. FAOSTAT. 2015. Available at: <http://faostat3.fao.org> (accessed April 2016).
20. Fellmann T., Hélaine S., Nekhay O. Harvest Failures, Temporary Export Restrictions and Global food Security: The Example of Limited Grain Exports from Russia, Ukraine and Kazakhstan. *Food Security*, 2014, vol. 6, issue 5, pp. 727–742. DOI: 10.1007/s12571-014-0372-2.
21. Fischer J., Hartel T., Kuemmerle T. Conservation Policy in Traditional Farming Landscapes. *Conservation Letters*, 2012, vol. 5, issue 3, pp. 167–175. DOI: 10.1111/j.1755-263X.2012.00227.x.
22. Garrett R.D., Lambin E.F., Naylor R.L. The New Economic Geography of Land Use Change: Supply Chain Configurations and Land Use in the Brazilian Amazon. *Land Use Policy*, 2013, vol. 34, pp. 265–275. DOI: 10.1016/j.landusepol.2013.03.011.
23. Gasparri N., Kuemmerle T., Meyfroidt P., Le Polain de Waroux Y., Kreft H. The Emerging Soybean Production Frontier in Southern Africa: Conservation Challenges and the Role of South-South Telecouplings. *Conservation Letters*, 2016, vol. 9, issue 1, pp. 21–31. DOI: 10.1111/conl.12173.
24. Gellrich M., Baur P., Koch B., Zimmermann N.E. Agricultural Land Abandonment and Natural Forest Re-Growth in the Swiss Mountains: A Spatially Explicit Economic Analysis. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2007, vol. 118, issue 1–4, pp. 93–108. DOI: 10.1016/j.agee.2006.05.001.
25. Gerry C.J., Nivorozhkin E., Rigg J.A. The Great Divide: «Ruralisation» of Poverty in Russia. *Cambridge Journal of Economics*, 2008, vol. 32, issue 4, pp. 593–607. DOI: 10.1093/cje/bem052.
26. Gibbs H.K., Rausch L., Munger J., Schelly I., Morton D.C., Noojipady P., Soares-Filho B., Barreto P., Micol L., Walker N.F. Brazil's Soy Moratorium. *Science*, 2015, vol. 347, issue 6220, pp. 377–378. DOI: 10.1126/science.aaa0181.
27. Godfray H.C.J., Crute I.R., Haddad L., Lawrence D., Muir J.F., Nisbett N., Pretty J., Robinson S., Toulmin C., Whiteley R. The Future of the Global food System. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 2010, vol. 365, issue 1554, pp. 2769–2777. DOI: 10.1098/rstb.2010.0180.
28. Götz L., Glaubén 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.
29. Griffiths P., Müller D., Kuemmerle T., Hostert P. Agricultural Land Change in the Carpathian Ecoregion After the Breakdown of Socialism and Expansion of the European Union. *Environmental Research Letters*, 2013, vol. 8, issue 4. 045024. DOI: 10.1088/1748-9326/8/4/045024.
30. Hale H. Explaining Machine Politics in Russia's Regions: Economy, Ethnicity, and Legacy. *Post-Soviet Affairs*, 2003, vol. 19, issue 3, pp. 228–263. DOI: 10.2747/1060-586X.19.3.228.
31. Hatna E., Bakker M.M. Abandonment and Expansion of Arable Land in Europe. *Ecosystems*, 2011, vol. 14, issue 5, pp. 720–731. DOI: 10.1007/s10021-011-9441-y.
32. Henle K., Alard D., Clitherow J., Cobb P., Firbank L., Kull T., McCracken D., Moritz R.F.A., Niemela J., Rebane M., Wascher D., Watt A., Young J. Identifying and Managing the Conflicts between Agriculture and Biodiversity Conservation in Europe –

- A Review. *Agriculture Ecosystems & Environment*, 2008, vol. 124, issue 1–2, pp. 60–71. DOI: 10.1016/j.agee.2007.09.005.
33. Ioffe G., Nefedova T., de Beurs K. Agrarian Transformation in the Russian Breadbasket: Contemporary Trends as Manifest in Stavropol'. *Post-Soviet Affairs*, 2014, vol. 30, issue 6, pp. 441–463. DOI: 10.1080/1060586X.2013.858509.
34. Ioffe G., Nefedova T. Marginal Farmland in European Russia. *Eurasian Geography and Economics*, 2004, vol. 45, issue 1, pp. 45–59. DOI: 10.2747/1538-7216.45.1.45.
35. Ioffe G., Nefedova T., de Beurs K. Land Abandonment in Russia. *Eurasian Geography and Economics*, 2012, vol. 53, issue 4, pp. 527–549. DOI: 10.2747/1539-7216.53.4.527.
36. Ioffe G., Nefedova T., Zaslavsky I. From Spatial Continuity to Fragmentation: The Case of Russian Farming. *Annals of Association of American Geographers*, 2004, vol. 94, issue 4, pp. 913–943. DOI: 10.1111/j.1467-8306.2004.00441.x.
37. Iwanski T. Ukrainian Economy Overshadowed by War. *OSW Analyses*, 2014, 17 September, vol. 148, 7 p.
38. Jantz P., Goetz S., Laporte N. Carbon Stock Corridors to Mitigate Climate Change and Promote Biodiversity in the Tropics. *Nature Climate Change*, 2014, vol. 4, issue 2, pp. 138–142. DOI: 10.1038/nclimate2105.
39. Joppa L.N., Pfaff A. High and Far: Biases in the Location of Protected Areas. *PLoS ONE*, 2009, vol. 4, e8273. DOI: 10.1371/journal.pone.0008273.
40. Kamp J., Urazaliev R., Donald P.F., Hölzel N. Post-Soviet Agricultural Change Predicts Future Declines After Recent Recovery in Eurasian Steppe Bird Populations. *Biological Conservation*, 2011, vol. 144, issue 11, pp. 2607–2614. DOI: 10.1016/j.biocon.2011.07.010.
41. Kastner T., Erb K.H., Haberl H. Global Human Appropriation of Net Primary Production for Biomass Consumption in the European Union, 1986–2007. *Journal of Industrial Ecology*, 2015, vol. 19, issue 5, pp. 825–836. DOI: 10.1111/jiec.12238.
42. KAZSTAT. Agency of Statistics of Kazakhstan. Astana, 2014. Available at: <http://stat.gov.kz> (accessed December 2015).
43. Kelley C.P., Mohtadi S., Cane M.A., Seager R., Kushnir Y. Climate Change in the Fertile Crescent and Implications of the Recent Syrian Drought. *Proceedings of the National Academy of Science*, 2015, vol. 112, issue 11, pp. 3241–3246. DOI: 10.1073/pnas.1421533112.
44. Kontorovich V. The Russian Health Crisis and the Economy. *Communist and Post-Communist Studies*, 2001, vol. 34, issue 2, pp. 221–240. DOI: 10.1016/S0967-067X(01)00003-4.
45. Kraemer R., Prishchepov A.V., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Frühaufer M. Long-Term Agricultural Land-Cover Change and Potential for Cropland Expansion in the Former Virgin Lands Area of Kazakhstan. *Environmental Research Letters*, 2015, vol. 10, no. 5, 054012. DOI: 10.1088/1748-9326/10/5/054012.
46. Kristensen L.S., Thenail C., Kristensen S.P. Landscape Changes in Agrarian Landscapes in the 1990s: The Interaction between Farmers and the Farmed Landscape. A Case Study from Jutland, Denmark. *Journal of Environmental Management*, 2004, vol. 71, issue 3, pp. 231–244. DOI: 10.1016/j.jenvman.2004.03.003.
47. Kuemmerle T., Kaplan J.O., Prishchepov A.V., Rylskyy I., Chaskovskyy O., Tikunov V.S., Müller D. Forest Transitions in Eastern Europe and their Effects on Carbon Budgets. *Global Change Biology*, 2015, vol. 21, issue 8, pp. 3049–3061. DOI: 10.1111/gcb.12897.
48. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. Carbon Cost of Collective

Farming Collapse in Russia. *Global Change Biology*, 2014, vol. 20, issue 3, pp. 938–947. DOI: 10.1111/gcb.12379.

49. Lambin E.F., Gibbs H.K., Ferreira L., Grau R., Mayaux P., Meyfroidt P., Morton D.C., Rudel T.K., Gasparri I., Munger J. Estimating the World's Potentially Available Cropland Using a Bottom-up Approach. *Global Environmental Change*, 2013, vol. 23, issue 5, pp. 892–901. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2013.05.005.

50. 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.

51. Lambin E.F., Meyfroidt P., Rueda X., Blackman A., Börner J., Cerutti P.O., Dietsch T., Jungmann L., Lamarque P., Lister J., Walker N.F., Wunder S. Effectiveness and Synergies of Private and Public Actions for Land Use Governance in Tropical Regions. *Global Environmental Change*, 2014, vol. 28, pp. 129–140. DOI: 10.1016/j.gloenvcha.2014.06.007.

52. Lehmann C.E.R. Savannas Need Protection. *Science*, 2010, vol. 327, issue 5966, pp. 642–643. DOI: 10.1126/science.327.5966.642-c.

53. Lioubimtseva E., de Beurs K.M., Henebry G.M. Grain Production Trends in Russia, Ukraine, and Kazakhstan in the Context of the Global Climate Variability and Change. *Climate Change and Water Resources*. Edited by T. Younos, C.A. Grady. Springer Berlin Heidelberg, 2013, pp. 121–141. DOI: 10.1007/698\_2013\_225.

54. MacDonald D., Crabtree J.R., Wiesinger G., Dax T., Stamou N., Fleury P., Lazpita J.G., Gibon A. Agricultural Abandonment in Mountain Areas of Europe: Environmental Consequences and Policy Response. *Journal of Environmental Management*, 2000, vol. 59, issue 1, pp. 47–69. DOI: 10.1006/jema.1999.0335.

55. MacDonald G.K., Brauman K.A., Sun S., Carlson K.M., Cassidy E.S., Gerber J.S., West P.C. Rethinking Agricultural Trade Relationships in an Era of Globalization. *BioScience*, 2015, vol. 65, issue 3, pp. 275–289. DOI: 10.1093/biosci/biu225.

56. Malhi Y., Baldocchi D.D., Jarvis P.G. The Carbon Balance of Tropical, Temperate and Boreal Forests. *Plant, Cell & Environment*, 1999, vol. 22, issue 6, pp. 715–740. DOI: 10.1046/j.1365-3040.1999.00453.x.

57. Meyfroidt P., Carlson K.M., Fagan M.E., Gutiérrez-Vélez V.H., Macedo M.N., Curran L.M., DeFries R.S., Dyer G.A., Gibbs H.K., Lambin E.F., Morton D.C., Robiglio V. Multiple Pathways of Commodity Crop Expansion in Tropical Forest Landscapes. *Environmental Research Letters*, 2014, vol. 9, 074012. DOI: 10.1088/1748-9326/9/7/074012.

58. Meyfroidt P., Lambin E.F. Global Forest Transition: Prospects for an End to Deforestation. *Annual Review of Environment and Resources*, 2011, vol. 36, issue 1, pp. 343–371. DOI: 10.1146/annurev-environ-090710-143732.

59. Meyfroidt P., Rudel T.K., Lambin E.F. Forest Transitions, Trade, and the Global Displacement of Land Use. *Proceedings of the National Academy of Science*, 2010, vol. 107, issue 49, pp. 20917–20922. DOI: 10.1073/pnas.1014773107.

60. Mikulcak F., Haider J.L., Abson D.J., Newig J., Fischer J. Applying a Capitals Approach to Understand Rural Development Traps: A Case Study from Post-Socialist Romania. *Land Use Policy*, 2015, vol. 43, pp. 248–258. DOI: 10.1016/j.landusepol.2014.10.024.

61. Millo G., Piras G. SPLM: Spatial Panel Data Models in R. *Journal of Statistical Software*, 2012, vol. 47, issue 1, pp. 1–38. DOI: 10.18637/jss.v047.i01.

62. Moreira F., Russo D. Modelling the Impact of Agricultural Abandonment and Wildfires on Vertebrate Diversity in Mediterranean Europe. *Landscape Ecology*, 2007, vol. 22, issue 10, pp. 1461–1476. DOI: 10.1007/s10980-007-9125-3.

63. Müller D., Leitão P.J., Sikor T. Comparing the Determinants of Cropland Abandonment in Albania and Romania Using Boosted Regression Trees. *Agricultural Systems*, 2013, vol. 117, pp. 66–77. DOI: 10.1016/j.agry.2012.12.010.
64. Navarro L., Pereira H. Rewilding Abandoned Landscapes in Europe. *Ecosystems*, 2012, vol. 15, issue 6, pp. 900–912. DOI: 10.1007/s10021-012-9558-7.
65. Nefedova T. Agricultural Land in Russia and its Dynamics. *Regional Research of Russia*, 2011, vol. 1, issue 3, pp. 292–295. DOI: 10.1134/S2079970511030099.
66. Nefedova T. Agricultural Industry Concentration in Russian Regions. *ECO – ECO*, 2014, vol. 4, pp. 64–82. (In Russian)
67. *OECD. Review of Agricultural Policies: Kazakhstan 2013*, 248 p. DOI: 10.1787/9789264191761-en.
68. Olson D.M., Dinerstein E. The Global 200: A Representation Approach to Conserving the Earth's Most Biologically Valuable Ecoregions. *Conservation Biology*, 1998, vol. 12, issue 3, pp. 502–515. DOI: 10.1046/j.1523-1739.1998.012003502.x.
69. Pan Y., Birdsey R.A., Fang J., Houghton R., Kauppi P.E., Kurz W.A., et al. A Large and Persistent Carbon Sink in the World's Forests. *Science*, 2011, vol. 333, issue 6045, pp. 988–993. DOI: 10.1126/science.1201609.
70. Penov I. The Use of Irrigation Water in Bulgaria's Plovdiv Region During Transition. *Environmental Management*, 2004, vol. 34, issue 2, pp. 304–313. DOI: 10.1007/s00267-004-0019-8.
71. Petrick M., Wandel J., Karsten K. Rediscovering the Virgin Lands: Agricultural Investment and Rural Livelihoods in a Eurasian Frontier Area. *World Development*, 2013, vol. 43, pp. 164–179. DOI: 10.1016/j.worlddev.2012.09.015.
72. Piesse J., Thirtle C. Three Bubbles and a Panic: An Explanatory Review of Recent Food Commodity Price Events. *Food Policy*, 2009, vol. 34, issue 2, pp. 119–129. DOI: 10.1016/j.foodpol.2009.01.001.
73. Piquer-Rodríguez M., Kuemmerle T., Alcaraz-Segura D., Zurita-Milla R., Cabello J. Future Land Use Effects on the Connectivity of Protected Area Networks in Southeastern Spain. *Journal for Nature Conservation*, 2012, vol. 20, issue 6, pp. 326–336. DOI: 10.1016/j.jnc.2012.07.001.
74. Plieninger T., Hui C., Gaertner M., Huntsinger L. The Impact of Land Abandonment on Species Richness and Abundance in the Mediterranean Basin: A Meta-Analysis. *PLoS ONE*, 2014, vol. 9, issue 5, e98355. DOI: 10.1371/journal.pone.0098355.
75. Potapov P., Yaroshenko A., Turubanova S., Dubinin M., Laestadius L., Thies C., Aksenov D., Egorov A., Yesipova Y., Glushkov I., Karpachevskiy M., Kostikova A., Manisha A., Tsybikova E., Zhuravleva I. Mapping the World's Intact Forest Landscapes by Remote Sensing. *Ecology and Society*, 2008, vol. 13. No. 2.
76. Potapov P.V., Turubanova S.A., Tyukavina A., Krylov A.M., McCarty J.L., Radeloff V.C., Hansen M.C. Eastern Europe's Forest Cover Dynamics from 1985 to 2012 Quantified from the Full Landsat Archive. *Remote Sensing of Environment*, 2015, vol. 159, pp. 28–43. DOI: 10.1016/j.rse.2014.11.027.
77. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Baumann M., Kuemmerle T., Müller D. Effects of Institutional Changes on Land Use: Agricultural Land Abandonment During the Transition from State-Command to Market-Driven Economies in Post-Soviet Eastern Europe. *Environmental Research Letters*, 2012, vol. 7, 024021. DOI: 10.1088/1748-9326/7/2/024021.
78. Prishchepov A.V., Müller D., Dubinin M., Baumann M., Radeloff V.C. Determinants of Agricultural Land Abandonment in Post-Soviet European Russia. *Land Use Policy*, 2013, vol. 30, issue 1, pp. 873–884. DOI: 10.1016/j.landusepol.2012.06.011.

79. Queiroz C., Beilin R., Folke C., Lindborg R. Farmland Abandonment: Threat or Opportunity for Biodiversity Conservation? A Global Review. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 2014, vol. 12, issue 5, pp. 288–296. DOI: 10.1890/120348.

80. Ramankutty N., Heller E., Rhemtulla J. Prevailing Myths About Agricultural Abandonment and Forest Regrowth in the United States. *Annals of the Association of American Geographers*, 2010, vol. 100, issue 3, pp. 502–512. DOI: 10.1080/00045601003788876.

81. Rey Benayas J.M. Abandonment of Agricultural Land: An Overview of Drivers and Consequences. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 2007, vol. 2, issue 057. DOI: 10.1079/PAVSNNR20072057.

82. ROSSTAT. Russian Federation Federal State Statistics Service. Moscow, 2014. Available at: [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat\\_main/rosstat/en/main](http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/en/main) (accessed December 2015).

83. Rozelle S., Swinnen J.F. Success and Failure of Reform: Insights from the Transition of Agriculture. *Journal of Economic Literature*, 2004, vol. 42, issue 2, pp. 404–456. DOI: 10.1257/0022051041409048.

84. Ruiz-Flaño P., Garcia-Ruiz J.M., Ortigosa L. Geomorphological Evolution of Abandoned Fields. A Case Study in the Central Pyrenees. *Catena*, 1992, vol. 19, issue 3–4, pp. 301–308. DOI: 10.1016/0341-8162(92)90004-U.

85. Saatchi S.S., Harris N.L., Brown S., Lefsky M., Mitchard E.T., Salas W., et al. Benchmark Map of Forest Carbon Stocks in Tropical Regions Across Three Continents. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2011, vol. 108, issue 24, pp. 9899–9904. DOI: 10.1073/pnas.1019576108.

86. Searchinger T.D., Estes L., Thornton P.K., Beringer T., Notenbaert A., Rubenstein D., Heimlich D., Licker R., Herrero M. High Carbon and Biodiversity Costs from Converting Africa's Wet Savannahs to Cropland. *Nature Climate Change*, 2015, vol. 5, issue 5, pp. 481–486. DOI: 10.1038/nclimate2584.

87. Schierhorn F., Müller D., Beringer T., Prishchepov A.V., Kuemmerle T., Balmann A. Post-Soviet Cropland Abandonment and Carbon Sequestration in European Russia, Ukraine, and Belarus: Abandonment and Carbon Sequestration. *Global Biogeochemical Cycles*, 2013, vol. 27, issue 4, pp. 1175–1185. DOI: 10.1002/2013GB004654.

88. Schierhorn F., Müller D., Prishchepov A.V., Faramarzi M., Balmann A. The Potential of Russia to Increase its Wheat Production Through Cropland Expansion and Intensification. *Global Food Security*, 2014, vol. 3, issue 3–4, pp. 133–141. DOI: 10.1016/j.gfs.2014.10.007.

89. 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, issue 8, 084017. DOI: 10.1088/1748-9326/9/8/084017.

90. Schierhorn F., Gittelsohn A.K., Müller D. How the Collapse of the Beef Sector in Post-Soviet Russia Displaced Competition for Ecosystem Services to the Brazilian Amazon. *Land Use Competition: Ecological, Economic and Social Perspectives*. Edited by J. Niewöhner, A. Bruns, P. Hostert, T. Krüger, J.Ø. Nielsen, H. Haberl, C. Lauk, J. Lutz, D. Müller. Springer, Dordrecht, 2016. (Forthcoming).

91. Shorohova E., Kuuluvainen T., Kangur A., Jögiste K. Natural Stand Structures, Disturbance Regimes and Successional Dynamics in the Eurasian Boreal Forests: A Review with Special Reference to Russian Studies. *Annals of Forest Science*, 2009, vol. 66, issue 2, pp. 1–20. DOI: 10.1051/forest/2008083.

92. Sieber A., Kuemmerle T., Prishchepov A.V., Wendland K.J., Baumann M., Radeloff V.C., Baskin L.M., Hostert P. Landsat-Based Mapping of Post-Soviet Land-

Use Change to Assess the Effectiveness of the Oksky and Mordovsky Protected Areas in European Russia. *Remote Sensing of Environment*, 2013, vol. 133, pp. 38–51. DOI: 10.1016/j.rse.2013.01.021.

93. Stanchi S., Freppaz M., Agnelli A., Reinsch T., Zanini E. Properties, Best Management Practices and Conservation of Terraced Soils in Southern Europe (from Mediterranean Areas to the Alps): A Review. *Quaternary International*, 2012, vol. 265, pp. 90–100. DOI: 10.1016/j.quaint.2011.09.015.

94. Stefanski J., Kuemmerle T., Chaskovskyy O., Griffiths P., Havryluk V., Knorn J., et al. Mapping Land Management Regimes in Western Ukraine Using Optical and SAR Data. *Remote Sensing*, 2014, vol. 6, issue 6, pp. 5279–5305. DOI: 10.3390/rs6065279.

95. Stellmes M., Röder A., Udelhoven T., Hill J. Mapping Syndromes of Land Change in Spain with Remote Sensing Time Series, Demographic and Climatic Data. *Land Use Policy*, 2013, vol. 30, issue 1, pp. 685–702. DOI: 10.1016/j.landusepol.2012.05.007.

96. UKRSTAT. State Statistics Service of Ukraine. Kiev, 2014. Available at: <http://www.ukrstat.gov.ua> (accessed December 2015).

97. Van der Sluis T., Pedroli B., Kristensen S.B., Cosor G.L., Pavlis E. Changing Land Use Intensity in Europe – Recent Processes in Selected Case Studies. *Land Use Policy*, 2015. DOI: 10.1016/j.landusepol.2014.12.005.

98. Van Doorn A.M., Bakker M.M. The Destination of Arable Land in a Marginal Agricultural Landscape in South Portugal: An Exploration of Land use Change Determinants. *Landscape Ecology*, 2007, vol. 22, issue 7, pp. 1073–1087. DOI: 10.1007/s10980-007-9093-7.

99. Vanwambeke S.O., Meyfroidt P., Nikodemus O. From USSR to EU: 20 Years of Rural Landscape Changes in Vidzeme, Latvia. *Landscape and Urban Planning*, 2012, vol. 105, issue 3, pp. 241–249. DOI: 10.1016/j.landurbplan.2011.12.009.

100. Verburg P.H., Ellis E.C., Letourneau A. A Global Assessment of Market Accessibility and Market Influence for Global Environmental Change Studies. *Environmental Research Letters*, 2011, vol. 6, 034019. DOI: 10.1088/1748-9326/6/3/034019.

101. Visser O., Spoor M. Land Grabbing in Post-Soviet Eurasia: The World's Largest Agricultural Land Reserves at Stake. *Journal of Peasant Studies*, 2011, pp. 299–323, vol. 38, issue 2. DOI: 10.1080/03066150.2011.559010.

102. Wegren S.K. Human Capital and Russia's Agricultural Future. *Post-Communist Economies*, 2014, vol. 26, issue 4, pp. 537–544. DOI: 10.1080/14631377.2014.964467.

103. Wegren S.K. Russia's Food Embargo. *Russian Analytical Digest*, 2014, vol. 157, pp. 8–12.