

УДК 332.36

ДЕТЕРМИНАНТЫ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЗАБРОШЕННЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЗЕМЕЛЬ В ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

**А.В. Прищепов, Д. Мюллер, М.Ю. Дубинин,
М. Бауманн, В.К. Раделофф**

Прищепов Александр Владимирович — Институт аграрного развития в Центральной и Восточной Европе им. Лейбница (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, 06120 Halle (Saale), Germany. Департамент лесной экологии и дикой природы, Университет Висконсин-Мэдисон, 1630 Linden Drive, Madison, WI, 53706-1598, USA. E-mail: prishchepov@iamo.de.

Мюллер Даниель — Департамент лесной экологии и дикой природы, Университет Висконсин-Мэдисон, 1630 Linden Drive, Madison, WI, 53706-1598, USA. E-mail: mueller@iamo.de.

Дубинин Максим Юрьевич — Лаборатория сохранения биоразнообразия и использования биоресурсов, Институт экологии и эволюции РАН им. А.Н. Северцова, Ленинский проспект, 33, Москва, Россия, 119071. E-mail: sim@gis-lab.info.

Бауманн Маттиас — Департамент лесной экологии и дикой природы, Университет Висконсин-Мэдисон, 1630 Linden Drive, Madison, WI, 53706-1598, USA. E-mail: mbaumann3@wisc.edu.

Раделофф Волькер К. — Департамент лесной экологии и дикой природы, Университет Висконсин-Мэдисон, 1630 Linden Drive, Madison, WI, 53706-1598, USA. E-mail: radeloff@wisc.edu.

Распад социализма в Восточной Европе и России, переход от плановой экономики к рыночной вызвал значительные социально-экономические и институциональные изменения, которые, в свою очередь, оказали влияние на изменение сельскохозяйственного землепользования, включая выведение из оборота (забрасывание) сельскохозяйственных земель. В данной работе проанализированы детерминанты / факторы, которые обусловили пространственное распределение заброшенных сельскохозяйственных земель в России в 1990–2000 гг. Объект исследования — территория около 150 550 км², включающая Калужскую, Рязанскую, Смоленскую, Тульскую и Владимирскую области в европейской части России. Для работы были использованы спутниковые классификации изменения сельскохозяйственного землепользования для 1990–2000 гг., а также пространственно выраженные (*spatially explicit*)

© Прищепов А.В., Мюллер Д., Дубинин М., Бауманн М., Раделофф В.К., 2013

© Перевод с английского языка, Прищепов А.В., 2013

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. Vol. 30. Issue 1. January. 2013. Pp. 873–884. <http://dx.doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.06.011>.

Перевод статьи на русский язык и размещение ее в журнале «Пространственная экономика» осуществлены с согласия авторов и в соответствии с лицензией издательства ELSEVIER № 3000381060106 от 1 октября 2012 г.

социально-экономические и агроклиматические данные. С помощью статистических логит-регрессионных моделей были оценены факторы, которые обусловили пространственное распределение заброшенных сельскохозяйственных земель на уровне единицы пространственного разрешения полученных спутниковых классификаций изменения землепользования — 30 м. Результаты показали, что вероятность пространственного распределения заброшенных сельскохозяйственных земель статистически связана со следующими факторами: а) низкая урожайность зерновых в конце 1980-х гг.; б) удаленность от населенных пунктов — муниципальных центров, а также населенных пунктов с населением более 500 чел.; в) низкая естественная пригодность сельскохозяйственных угодий; г) низкая плотность сельского населения в конце 1980-х гг. Ранжирование в соответствии с вкладом статистически значимых переменных в объясненную дисперсию с использованием метода иерархического разбиения (*hierarchical partitioning*) показало, что средняя урожайность зерновых в конце 1980-х гг. внесла наибольший вклад, за ней следовали характеристики местоположения сельскохозяйственных земель. Оцененные факторы, обуславливающие процесс забрасывания сельскохозяйственных земель, соответствуют теории земельной ренты фон Тюнена. Однако можно предположить, что не менее значимы макроэкономические факторы, такие как государственная поддержка сельского хозяйства, размеры которой сократились более чем на 90% в рассматриваемый период, особенно для земель с низкой продуктивностью. Проведенное исследование показало возможности применения пространственно выраженных эконометрических моделей на основе использования карт изменения землепользования, полученных с помощью спутниковых данных, для изучения факторов изменения землепользования и земного покрова для больших территорий.

Заброшенные сельскохозяйственные земли, институциональные изменения, изменение землепользования, пространственный анализ, эконометрика, логит-регрессии, дистанционное зондирование, Россия.

ВВЕДЕНИЕ

Масштабное расширение сельскохозяйственных земель за счет нетруновых сельским хозяйством территорий является наиболее важным фактором сокращения биоразнообразия и изменения функционирования экосистем [73; 67]. В то же время во многих развитых странах и странах с переходными экономиками наблюдается сокращение площадей сельскохозяйственных земель [4; 7; 8; 21; 46; 59], которое оказывает воздействие на окружающую среду и социально-экономические процессы. Например, восстановление леса на заброшенных сельскохозяйственных полях может способствовать дефрагментации лесов, депонированию углерода [76], улучшению гидрологического режима [64]. Однако в ранней стадии сукцессии сухой материал, который накапливается на заброшенных полях, способствует распространению антропогенных и природных пожаров [12], а также усиливает воздействие и распространение сорных растений, вредителей и патогенов с заброшенных на оставшиеся в обороте сельскохозяйственные поля [65]. Решение о забрасывании сельскохозяйственных земель одним производителем может создать эффект цепной реакции (*spillover effect*) и повлиять на принятие решений относительно землепользования другими производителями, что может привести к маргинализации традиционных сельских регионов [13].

В мире с глобальной экономикой масштабное забрасывание сельскохозяйственных земель в одном регионе мира может привести к интенсификации сельскохозяйственного производства и землепользования в другом регионе и потенциально подвергнуть риску уязвимые экологические системы [37]. Например, значительное сокращение производства мяса в России после 1990 г. привело к росту импорта мяса из Бразилии [54], что косвенным образом способствовало продолжению сокращения девственных лесов в Амазонии [31]. Снижение темпов забрасывания сельскохозяйственных земель и принятие решений об их рекультивации может способствовать увеличению производства сельскохозяйственной продукции и уменьшить давление на мировые рынки продуктов питания [14]. В целом изменение сельскохозяйственного землепользования имеет множественное воздействие на экосистемы, биоразнообразие и экономику. Поэтому совершенствование мониторинга изменений в землепользовании и понимание причин, которые их обуславливают, могут помочь в выработке политики в области землепользования.

Существенные социально-экономические и институциональные трансформации могут ускорить процессы изменения землепользования и земного покрова или полностью изменить их траектории. Относительно недавним примером подобных трансформаций является распад Советского Союза и последующий переход от командно-административной экономики к рыночной в начале 1990-х гг., который повлиял на все социально-экономические параметры [16; 19; 34; 62; 66; 68; 78]. Социально-экономические реформы оказали существенное воздействие на сельскохозяйственное землепользование и привели к масштабному выводу из оборота (забрасыванию) сельскохозяйственных земель среди стран бывшего коммунистического блока в Восточной Европе и СНГ, включая Россию. Однако пространственное распределение и процент (доля) заброшенных сельскохозяйственных земель значительно варьировали [6; 8; 23; 36; 47; 56; 58; 60]. Доля таких земель была особенно высока в тех странах (включая Россию) где государственные механизмы (институты), регулирующие землепользование, изменились, и требовалось время для создания условий функционирования новых институтов [6; 23; 58]. Существующие сведения об изменении землепользования, достаточно фрагментарны, а знания о факторах, которые обусловили этот процесс в Восточной Европе и в России, ограничены. Особенно мало данных о факторах, которые обусловили забрасывание сельскохозяйственных земель.

В литературе имеется достаточно сведений о факторах, которые обусловили забрасывание сельскохозяйственных земель, например, в странах Европейского союза (ЕС), где было распространено это явление в течение XX в., в особенности после Второй мировой войны [4]. В ЕС заброшенные сельскохозяйственные земли обычно можно встретить в местах с неблаго-

приятными для сельского хозяйства природными характеристиками (например, на возвышенной местности, на землях с крутым склоном, с бедными почвами и с плохой мелиорацией), на удаленных и изолированных сельскохозяйственных территориях [4; 43]. Решение о забрасывании сельскохозяйственных земель достаточно сильно коррелирует с определенными характеристиками собственников сельскохозяйственных земель. Фермеры, частично занятые в сельском хозяйстве, и собственники земли преклонного возраста имеют более высокую вероятность забросить сельскохозяйственные земли, по сравнению с другими типами землепользователей и собственников земли [22; 35; 71]. Структурные характеристики сельскохозяйственных предприятий также имеют значение: вероятность забрасывания сельскохозяйственных земель у мелких производителей наиболее высока, чем у крупных [4; 35]. Доступ к рынкам труда и наличие более оплачиваемой работы на соседних урбанизированных территориях являются факторами, в значительной степени влияющими на этот процесс. Такая ситуация наблюдается, например, на юге Франции [72] и в Швейцарии [18], где заброшенные сельскохозяйственные земли распространены вблизи административных центров, а также территорий с быстро растущим городским населением.

Сведения же об изменениях в землепользовании и причинах, которые вызывают эти процессы в странах Восточной Европы и России, достаточно фрагментарны. Существует всего несколько работ, в которых исследовались факторы, обусловившие пространственное распределение заброшенных земель в постсоциалистических странах Восточной Европы, среди которых были выделены неблагоприятные агроэкологические условия (например, более высокий рельеф и более крутой склон), неблагоприятные условия доступа к рынкам [47; 52; 49]. Заброшенные сельскохозяйственные земли достаточно часто находятся вдалеке от административных центров и дорог, как, например, в Албании [50] и Румынии [49]. Адаптация социальной и экономической среды к изменяющимся внешним условиям оказывает значительное влияние на пространственное распределение заброшенных сельскохозяйственных земель. Например, как и в странах ЕС, частичная занятость в сельском хозяйстве и отток сельского населения являются ключевыми факторами, обусловившими забрасывание сельскохозяйственных земель в Албании [52] и Румынии [49]. Различия в структурных характеристиках сельскохозяйственных производителей определили распределение заброшенных земель в Латвии [22] и Украине [6].

Несмотря на существующие исследования, посвященные обсуждаемой проблеме в странах постсоциалистической Восточной Европы и бывшего Советского Союза, включая Россию [4; 6; 18; 26; 40; 42], факторы забрасывания сельскохозяйственных земель остаются недостаточно изученными. Ситуация усугубляется тем, что процессы забрасывания сельскохозяйственных земель

задели и продуктивные с точки зрения сельского хозяйства территории, например, в Беларуси, России и в прибалтийских странах [2; 23; 26; 58; 60].

В некоторых работах показано, что теория фон Тюнена о ренте земли может быть применена для описания уровня произведенной сельскохозяйственной продукции в России, когда урожайность зерновых и надои молока на одну корову уменьшаются по мере удаления от областных центров [26–28]. В то же время для территорий с низкой урожайностью свойственна низкая плотность населения и низкая плотность дорог с твердым покрытием, что создает дополнительные предпосылки для маргинализации сельскохозяйственного производства и возможного забрасывания сельскохозяйственных земель [26–28]. Политика управления на разных территориях и приориты развития секторов экономики также могут влиять на выведение из оборота сельскохозяйственных земель.

В данной работе авторы предприняли попытку оценить детерминанты забрасывания сельскохозяйственных земель в европейской части России (Смоленская, Калужская, Тульская, Рязанская и Владимирская области). На основе детальных спутниковых карт заброшенных сельскохозяйственных земель в период 1990–2000 гг., социально-экономических и агроклиматических данных с помощью пространственно выраженного (*spatially explicit*) эконометрического логит-регрессионного анализа на уровне единицы пространственного разрешения полученных спутниковых карт изменения землепользования — 30 м, а также метода иерархического разбиения (*hierarchical partitioning*), была поставлена задача исследовать:

- факторы, обусловившие пространственное распределение заброшенных сельскохозяйственных земель;
- относительный вклад каждой переменной в общую объясненную дисперсию распределения заброшенных сельскохозяйственных земель;
- соответствие пространственного распределения заброшенных сельскохозяйственных земель теории о земельной ренте фон Тюнена;
- различия в факторах, определивших пространственное распределение заброшенных земель в изучаемых областях со сходными агроклиматическими условиями.

МЕТОДЫ

Территория исследования

Исследование специально сфокусировано на умеренной климатической зоне европейской части России, где в период 1990–2000 гг. было широко

распространено забрасывание сельскохозяйственных земель. В предыдущей работе авторов была выделена агроэкологическая зона на основе агроклиматических данных [58; 59]. Территория исследования составила примерно 150 550 км², она включила в себя части пяти российских областей: Смоленской, Калужской, Тульской, Рязанской и Владимирской – с 67 административными районами (рис. 1).

Климат на данной территории умеренно-континентальный, средняя годовая максимальная температура в наиболее теплый месяц (июль) 30–34 °С. Средняя годовая минимальная температура в холодный месяц (январь) для территории исследования – минус 37– минус 28 °С [1]. Количество дней со средней температурой выше 10 °С – 125–142 дней в году, а средняя годовая эвапотранспирация – 428–713 мм [1]. Территория исследования находится на Восточно-Европейской равнине, высота рельефа – 0–300 м, относится к умеренной зоне смешанных лесов [55]. Северная часть территории представляет собой южную тайгу, граничащую со смешанными лесами, а южная часть – зону перехода от смешанных лесов к лесостепи (Тульская и Рязанская области) [3]. Примерно одна треть территории исследования покрыта лесом, с большим преобладанием лесов в северной части. Доминирующими породами деревьев являются ель обыкновенная (*Picea abies*), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*), береза повислая (*Betula pendula*) и дуб обыкновенный (*Quercus robur*) [15]. Почвы преимущественно подзолистые и серые лесные; аллювиальные почвы располагаются вдоль рек [5]; в юго-восточной части встречаются обедненные черноземы (см. рис. 1). Территория исследования является частью Центрального экономического макрорегиона России [39], которая совпадает с нечерноземной сельскохозяйственной зоной [30].

Территория исследования достаточно пригодна для ведения сельского хозяйства после мелиорации, известкования и внесения удобрений в подзолистые почвы. В период 1970–1990 гг. эта территория стала одним из важнейших сельскохозяйственных регионов, особенно после неудачной попытки советского правительства значительно увеличить производство зерновых в Казахстане [27]. В этот период существенно возросло инвестирование в сельскую инфраструктуру (например, строительство дорог с твердым покрытием), в сельскохозяйственное производство (например, масштабные кампании по мелиорации земель и механизации сельскохозяйственного производства), в капитальное строительство (например, строительство жилья) [27; 28]. Основными яровыми сельскохозяйственными культурами являются ячмень, рожь, овес, сахарная свекла, кормовая кукуруза, картофель, бобовые, рапс, лен; озимыми культурами являются озимая пшеница, озимый ячмень, озимый рапс [1; 17]. Урожайность зерновых культур на один гектар пашни

была относительно одинаковой среди областей исследуемой территории (табл. 1), однако значительно ниже по сравнению с соседними странами и республиками бывшего СССР [26; 58]. Мясное и молочное животноводство, свиноводство, куриное производство также были хорошо развиты на данной территории. В советский период колхозы и совхозы контролировали более 98% сельскохозяйственных земель и производили более 90% сельскохозяйственной продукции [20]. Начиная с 1960-х гг. здесь наблюдается сокращение численности сельского населения [28]. В результате плотность сельского населения значительно снизилась, в некоторых районах Смоленской области составила менее чем 5 чел./км² [62].

Таблица 1
Социально-экономические и природные условия в выбранных областях России, 1989 г.

| Показатель | Смолен- ская | Калуж- ская | Туль- ская | Рязан- ская | Влади- мирская |
|--|-----------------|----------------|---------------|----------------|-------------------|
| Плотность сельского населения, чел./км ² ^а | 7,4 | 11,0 | 13,5 | 11,8 | 11,8 |
| Плотность дорог с твердым покрытием, км/100 км ² ^а | 11,0 | 14,0 | 18,0 | 12,0 | 15,0 |
| Производство молока, кг/корову ^а | 2478,0 | 2527,0 | 2645,0 | 2881,0 | 2880,0 |
| Урожайность зерновых, т/га ^а | 1,13 | 1,38 | 1,92 | 1,68 | 1,62 |
| Кол-во тракторов/1000 га пашни ^а | 82,0 | 54,0 | — | 70,0 | 74,0 |
| Среднее годовое выпадение осадков ^б , мм | 649,0 | 680,0 | 638,0 | 566,0 | 605,0 |
| Количество дней в году с температурой выше 10 °С ^б | 132,0 | 134,7 | 135,3 | 138,2 | 131,6 |
| pH почв ^в | 6,6 | 6,6 | 6,7 | 6,4 | 6,7 |
| Доля сельскохозяйственных земель в 1990 г. ^г , % | 31 | 35 | 55 | 49 | 23 |

Примечания: ^а Статистические данные получены с использованием данных [19; 20]; ^б Климатические данные получены с использованием данных [25]; ^в Данные о почвах получены с использованием данных [5]; ^г Процент сельскохозяйственных земель рассчитан с использованием классификаций разносезонных спутниковых снимков Landsat TM / ETM+; — нет данных.

Карты заброшенных сельскохозяйственных земель

Детальные карты заброшенных сельскохозяйственных земель с пространственным разрешением 30 м были получены с помощью классификации многоспектральных разносезонных спутниковых снимков Landsat TM / ETM+ для периода 1990–2000 гг. (более подробно см. [58]). Карты изменения сельскохозяйственного землепользования покрыли 77% Калужской области, 72% Владимирской области, 72% Рязанской области, 55% Смоленской области и 51% Тульской области (см. рис. 1). Тематический класс «стабильные сельскохозяйственные земли» был определен как сельскохозяйственные земли, которые активно использовались для выращи-

вания сельскохозяйственных культур, под сенокос и пастбища в период I (1990 г.) и в период II (2000 г.). Тематический класс «заброшенные сельскохозяйственные земли» был определен как сельскохозяйственные земли, которые активно использовались для выращивания сельскохозяйственных культур, под сенокос и пастбища в период I, но больше не использовались для вышеуказанных целей в период II и зачастую представляли из себя невозделываемые поля, покрытые травой, с начальной стадией сукцессии [6; 23; 36; 58], которая обычно наблюдается после трех – пяти лет забрасывания сельскохозяйственных земель, с более быстрым наступлением лесной растительности на хорошо дренированные пахотные поля [32; 42; 70; 58]. Поля, которые уже подверглись этим процессам, имеют большую вероятность оставаться заброшенными из-за высокой стоимости рекультивации заброшенных земель [38] и невостребованности сельскохозяйственных наделов, что, в свою очередь, ведет к продолжению наступления леса. В данном случае было предположено, что ограниченный экономический стимул рекультивации заброшенных земель на выбранной территории исследования представляет дополнительный фактор долговременности забрасывания сельскохозяйственных земель. Выполненные классификации спутниковых карт изменения сельскохозяйственного землепользования обладали хорошей точностью, которая была статистически оценена с использованием валидационных точек / реперов [58].

Классификации спутниковых снимков для детектирования изменения землепользования показали, что 31% сельскохозяйственных земель (1,7 млн га), обрабатываемых в 1990 г., были заброшены к 2000 г., в том числе 46% в Смоленской, 30% в Калужской, 26% в Тульской, 28% в Рязанской и 27% во Владимирской области. Доли заброшенных сельскохозяйственных земель были особенно высоки на уровне сельских районов, достигая например, в Смоленской области 62% (рис. 2).

Объясняющие переменные

Наиболее точная сельскохозяйственная статистика для России с 1990 по 2000 г. была доступна на уровне районов. Средний размер сельских районов – 1520 км², классификации спутниковых снимков охватили 67 районов (14 из 25 в Смоленской, 15 из 24 в Калужской, 10 из 22 в Тульской, 17 из 25 в Рязанской и 11 из 16 во Владимирской области) (см. рис. 2).

Согласно экономической теории сельскохозяйственные производители выбирают тип землепользования исходя из задачи максимизации прибыли [18; 45]. Поэтому можно предположить, что решение о забрасывании сельскохозяйственных земель в большей степени обусловлено экономическими причинами [29]: производители прекращают заниматься сельским хозяй-

ством, когда затраты на производство превышают прибыль, получаемую от реализации сельскохозяйственной продукции.

В силу недоступности детальных данных, характеризующих экономическое состояние сельскохозяйственных производителей, были выбраны переменные – прокси, которые могут охарактеризовать воздействие на производительность сельского хозяйства, например: близость к центрам торговли; демографические изменения, влияющие на доступ к фактору «труд»; наличие инфраструктуры. Было также предположено, что прибыль в значительной степени зависит от естественной пригодности сельскохозяйственных земель. Для того, чтобы учесть естественную пригодность сельскохозяйственных земель, были включены биофизические факторы, представляющие агроклиматические условия, качество почв, рельеф, переменные, отражающие долгосрочную естественную пригодность (табл. 2).

Таблица 2

Объясняющие переменные

| Переменные | Источник | Пространственное разрешение |
|--|--|--|
| 1 | 2 | 3 |
| <i>Биофизические</i> | | |
| рН почв | SOVEUR / SOTER цифровые карты почв м-б 1:20 000 000 [5] | Векторные данные, переведенные в растр с пространственным разрешением 30 м |
| Рельеф, м Склон, градусы | Shuttle Radar Terrain Mission (SRTM) [69] | Конвертированные данные с пространственным разрешением 90 м |
| Средняя годовая эвапотранспирация, мм Количество дней в году с температурой выше 10 °C | [1] | Конвертированные данные с пространственным разрешением 10 км |
| Расстояние от ближайшей кромки леса, 100 м | Классификации 30 м Landsat TM / ETM+ | Расчет на уровне пространственного разрешения 30 м Landsat TM/ETM+ |
| Изолированные сельскохозяйственные территории внутри лесного массива в 1990 г. (dummy – фиктивная переменная) | Классификации 30 м Landsat TM / ETM+ | Расчет на уровне пространственного разрешения 30 м Landsat TM/ETM+ |
| <i>Сельскохозяйственное производство</i> | | |
| Средняя урожайность зерновых в конце 1980-х гг., ц/га Производство молока в 1990 г., кг/корову | [62] | Данные на уровне районов, переведенные в растр с пространственным разрешением 30 м |
| <i>Население</i> | | |
| Интерполированные значения населения для населенных пунктов на конец 1980-х гг. (прокси плотности населения), чел. | Деклассифицированные советские топографические карты м-б 1:100 000 [74] | Расчет с пространственным разрешением 30 м |

| 1 | 2 | 3 |
|---|---|--|
| <i>Переменные, представляющие расстояния</i> | | |
| Расстояние от областного центра, км Расстояние от ближайшего: районного центра, км муниципального центра, км населенного пункта с населением более 500 чел., км населенного пункта, км | Деклассифицированные советские топографические карты м-б 1:100 000 [74] | Расчет с пространственным разрешением 30 м |
| Расстояние от ближайшей дороги с твердым покрытием, 100 м | Деклассифицированные советские топографические карты м-б 1:500 000 [75] | Расчет с пространственным разрешением 30 м |
| <i>Инфраструктура</i> | | |
| Плотность дорог с твердым покрытием в конце 1980-х гг., км/100 км ² | Цифровые данные м-б 1:500 000 [75] | Данные на уровне районов, переведенные в растр с пространственным разрешением 30 м |
| Плотность населенных пунктов в конце 1980-х гг., число населенных пунктов/100 км ² | Цифровые данные м-б 1:100 000 [74] | Данные на уровне районов, переведенные в растр с пространственным разрешением 30 м |

Для оценки эффекта сельскохозяйственной продуктивности, были использованы статистические данные об урожайности зерновых в конце 1980-х гг. и о производстве молока в 1990 г., собранные на уровне районов [28]. На основе данных о населении для населенных пунктов, которые были оцифрованы с советских топографических карт масштаба 1:100 000 приблизительно середины — конца 1980-х гг., была рассчитана плотность населения [74]. Также были оцифрованы населенные пункты, областные, районные, муниципальные центры и для них присвоены значения о количестве населения с топографических карт. Чтобы получить прокси для плотности населения, были интерполированы значения населения для каждого населенного пункта в конце 1980-х гг., используя веса для обратных расстояний второго порядка (*second-order inverse distance weights*) [51; 53]. К концу 1980-х гг. 38% из 11 972 оцифрованных населенных пунктов на территории исследования имели население менее 20 чел.

Чтобы оценить эффект доступа к рынкам, были рассчитаны евклидовы расстояния от областных, районных и муниципальных центров. Поскольку относительно большие населенные пункты лучше обеспечены государством социально-экономическими услугами (например, школы, больницы, магазины), для данной работы были также рассчитаны расстояния от ближайшего населенного пункта с населением более 500 чел.

В качестве индикаторов, представляющих инфраструктуру, были рассчитаны переменные — плотность населенных пунктов на уровне районов, плот-

ность населенных пунктов с населением более 500 чел., плотность муниципальных центров, поскольку доступность социальных услуг могла в какой-то степени сдерживать отток сельского населения и, как результат, оказать воздействие на решение о забрасывании сельскохозяйственных земель.

Для расчета плотности дорог и расстояния до них использовали сеть дорог с твердым покрытием, оцифрованную с советских топографических карт масштаба 1:500 000 конца 1980-х гг. [75].

В качестве переменных, отражающих климатические условия включены: средняя годовая эвапотранспирация и количество дней в году с температурой выше 10 °С с пространственным разрешением 10 км [1]. Почвенные характеристики представляла переменная «рН почв», основанная на данных почвенных карт масштаба 1:2 500 000 [5]. Переменные «рельеф» и «склон» были получены на основе цифровой модели рельефа с пространственным разрешением 90 м [69].

Было также предположено, что больший процент лесов в определенном районе отражает долговременную естественную малопригодность данного района для сельского хозяйства. Процент лесной территории был рассчитан на основе классификаций спутниковых карт с пространственным разрешением 30 м для периода перед забрасыванием сельскохозяйственных земель (1990 г.), используя те же классификации, что и для детектирования заброшенных сельскохозяйственных земель [58]. Во время полевых работ было отмечено, что многие заброшенные сельскохозяйственные земли находились вблизи кромки леса. Было предположено, что естественно малопригодные сельскохозяйственные угодья с большей вероятностью могут находиться ближе к кромке леса [18], поэтому была включена переменная, представляющая эвклидово расстояние от ближайшей кромки леса в регрессионные модели. Поскольку многие заброшенные сельскохозяйственные поля представляют собой изолированные сельскохозяйственные территории внутри лесных массивов, которые, используя спутниковые классификации изменения землепользования [58], были оцифрованы (например, сельскохозяйственные территории, окруженные лесом), для них была принята бинарная переменная (dummy) для представления таких сельскохозяйственных земель в регрессионных моделях.

В регрессионных моделях были использованы переменные, которые характеризовали социально-экономические условия в конце 1980-х гг. (например, средняя урожайность зерновых, плотность населения, плотность дорог с твердым покрытием).

Все переменные были рассчитаны и конвертированы в формат с пространственным разрешением 30 м, чтобы соответствовать пространственному разрешению карт изменения сельскохозяйственного землепользования. Описательная статистика для выбранных переменных представлена в таблице 3.

Таблица 3

Описательная статистика для объясняющих переменных

| Переменная | Единицы измерения | Среднее значение | Медиана | Стандартное отклонение | Минимальное значение | Максимальное значение |
|--|--|------------------|---------|------------------------|----------------------|-----------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| Заброшенные сельскохозяйственные земли | фиктивная переменная — dummy (1/0) | 0,293 | 0 | 0,455 | 0 | 1 |
| pH почв | — | 6,62 | 6,90 | 0,066 | 4,22 | 7,38 |
| Количество дней в году с температурой выше 10 °C | градусы | 134,9 | 135 | 3,467 | 125,00 | 142,00 |
| Рельеф | м | 167,6 | 170 | 4,533 | 66,00 | 309,00 |
| Склон | градусы | 1,253 | 1 | 1,653 | 0,00 | 29,00 |
| Средняя годовая эвапотранспирация | мм/100 | 7,0 | 6,9 | 0,58 | 5,54 | 8,82 |
| Расстояние от ближайшей кромки леса | м | 7,169 | 4,37 | 7,864 | 0,00 | 70,59 |
| Изолированные сельскохозяйственные территории внутри лесного массива в 1990 г. | фиктивная переменная — dummy (1/0) | | | | 0 | 1 |
| Средняя урожайность зерновых в конце 1980-х гг.* | ц/га | 15,9 | 16 | 4,568 | 8,00 | 27,00 |
| Производство молока в 1990 г.* | кг/корову | 2648 | 2658 | 3566 | 1743 | 3442 |
| Интерполированные значения населения для населенных пунктов на конец 1980-х гг. (прокси плотности населения) | чел. | 267,81 | 115,77 | 8,041 | 0,16 | 85 337,80 |
| Расстояние от областного центра | км | 71,6 | 68,05 | 3,797 | 0,40 | 210,61 |
| Расстояние от ближайшего районного центра | км | 15,62 | 14,7 | 7,898 | 0,11 | 52,30 |
| Расстояние от ближайшего муниципального центра | км | 4,105 | 3,74 | 2,34 | 0,00 | 23,55 |
| Расстояние от ближайшего населенного пункта с населением более 500 человек | км | 6,784 | 5,7 | 5,9 | 0,00 | 39,47 |
| Расстояние от ближайшего населенного пункта | км | 1,45 | 1,26 | 0,944 | 0,03 | 12,18 |
| Плотность населенных пунктов в конце 1980-х гг.* | число населенных пунктов/100 км ² | 10,6 | 10,0 | 3,30 | 4,00 | 18,00 |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|------------------------|------|------|-------|------|-------|
| Плотность дорог с твердым покрытием в конце 1980-х гг.* | км/100 км ² | 34,4 | 35,1 | 4,8 | 25,7 | 44,9 |
| Расстояние от ближайшей дороги с твердым покрытием | 100 м | 8,79 | 7,0 | 7,327 | 0,30 | 79,59 |

Примечание: * На уровне районов.

Логит-регрессии и иерархическое разбиение (hierarchical partitioning)

Для оценки факторов, которые обусловили забрасывание сельскохозяйственных земель, были построены логит-регрессионные модели. Для этих моделей теория предполагает, что функция кумулятивного распределения остаточной ошибки для объясняющих переменных представляет собой логистическое распределение. Для логит-регрессий «1» — «заброшенные сельскохозяйственные земли», «0» — «стабильные сельскохозяйственные земли». Площади, не относящиеся к сельскохозяйственным землям, были исключены из анализа.

Оценка пространственной автокорреляции для карт изменения сельскохозяйственного землепользования, полученных с помощью спутниковых данных, была осуществлена с помощью построения изотропических вариограмм, используя геостатистический пакет GS⁺™ для двенадцати блоков 10 км × 10 км с пространственным разрешением 30 м. С помощью итеративной оценки пространственной автокорреляции было выбрано минимальное расстояние 500 м среди точек выборки, что позволило сократить индекс пространственной автокорреляции Морана (Moran's I) до 0,15–0,25 [58]. В итоге было выбрано около 150 000 наблюдений для пяти областей из 4 млн элементов возможной выборки.

Для пространственного эконометрического анализа использован статистический пакет R [61], все переменные проверены на коллинеарность. Если для одной из пары переменных коэффициент корреляции Пирсона R был больше 0,5, то для последующего моделирования была оставлена только та переменная, которая была более связана в регрессионных моделях с забрасыванием сельскохозяйственных земель.

Множественные статистические выборки внутри одной административной единицы (например, одного района) не в полной мере независимы [18; 50]. В связи с этим была осуществлена статистическая коррекция возможной кластеризации данных (*group structure*) в логит-моделях, которая также учитывает возможную пространственную автокорреляцию [18; 50]. Было предположено, что кластерная коррекция необходима для наблюдений, характеризующих один и тот же район, поскольку район является той административной единицей, на уровне которой реализуются решения о сельскохозяйственном

землепользовании. Для этой задачи была использована оценочная функция Хубера — Вайта (*Huber — White*), которая позволяет контролировать такие кластерные данные с помощью оценки гетероскедастично-последовательной стандартной ошибки (*heteroscedasticity-consistent standard errors или robust standard errors*. — Прим. авт.) без воздействия на рассчитанные коэффициенты моделей [24; 49; 77]. Был рассчитан критерий согласия регрессий, используя логарифмическую функцию правдоподобия для логит-моделей, а также была оценена площадь под ROC-кривой (*receiver operating characteristics, area under curve — AUC*) [57; 61]. В заключение, используя метод иерархического разбиения (*hierarchical partitioning*), был оценен вклад каждой независимой переменной в полную модель с помощью расчета процента общей объясненной дисперсии каждой отдельной статистически значимой переменной ($p < 0,05$) [6; 9; 44; 48]. Эта процедура была использована для оценки вклада статистически значимых переменных для глобальной модели, а также отдельно для каждой области, с тем чтобы исследовать различия в факторах, которые обусловили пространственное распределение заброшенных земель.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выбор переменных для логит-регрессий

Оценка переменных на коллинеарность показала, что переменная «средняя урожайность зерновых в конце 1980-х гг.» позитивно коррелировала с переменной «производство молока в 1990 г.» ($R = 0,54$). Переменная «процент леса» также позитивно коррелировала с переменной «расстояние от ближайшей кромки леса» ($R = 0,51$) и негативно коррелировала с переменной «плотность муниципальных центров» ($R = -0,57$). Для последующего моделирования была оставлена переменная «расстояние от ближайшей кромки леса», поскольку эта переменная имела большую корреляцию с дихотомической переменной, представляющей заброшенные сельскохозяйственные земли ($R = 0,16$), по сравнению с переменной «процент леса» ($R = 0,1$) или с переменной «плотность муниципальных центров» ($R = -0,1$).

Переменная «средняя годовая эвапотранспирация» позитивно коррелировала с переменной «плотность населенных пунктов в конце 1980-х гг.» ($R = 0,59$), так же как и переменная «рельеф» ($R = 0,67$). Для последующего моделирования была оставлена переменная «средняя ежегодная эвапотранспирация», поскольку эта переменная имела большую корреляцию с дихотомической переменной, представляющей заброшенные сельскохозяйственные земли. Переменная «количество дней в году с температурой выше 10 °C» была также исключена, поскольку данная переменная имела негативную корреляцию с переменной «средняя годовая эвапотранспирация»

($R = -0,52$). Конечный набор переменных состоял из 14 независимых переменных, две из которых были на уровне районов («средняя урожайность зерновых в конце 1980-х гг.» и «плотность дорог с твердым покрытием в конце 1980-х гг.»), а остальные — на уровне пространственного разрешения 30 м карт изменения землепользования (рис. 3).

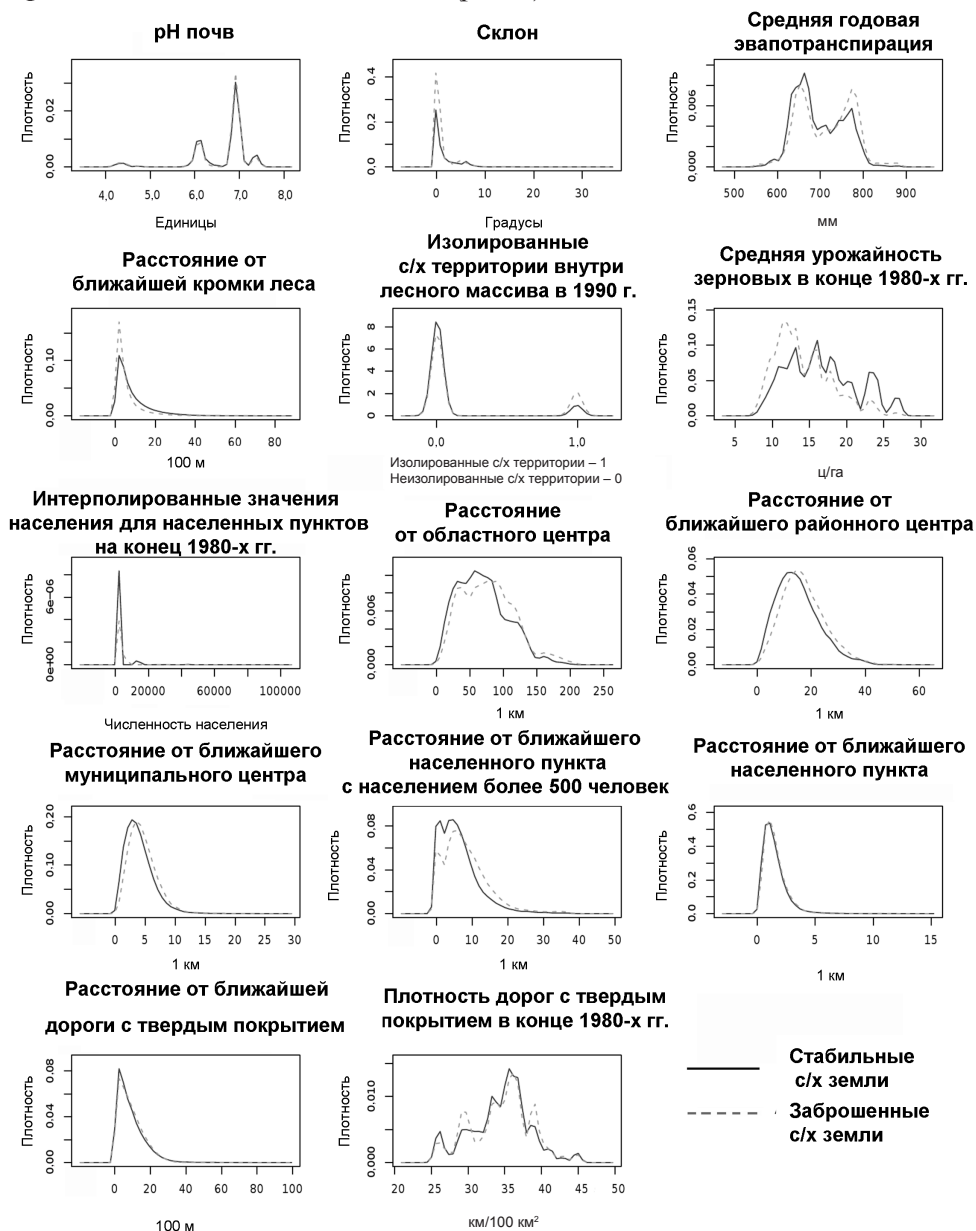


Рис. 3. Частота распределения объясняющих переменных для пикселей, представляющих заброшенные и стабильные сельскохозяйственные земли для глобальной модели

Логит-регрессия

Объяснительная сила модели для территории исследования была относительно низкой (скорректированный коэффициент детерминации $R^2 = 0,144$ (табл. 4). Однако такой результат является достаточно распространенным, поскольку модель должна описать распределение большой выборки. В этом случае скорректированный коэффициент детерминации R^2 должен интерпретироваться с осторожностью [18; 50]. Критерий согласия модели – площадь под ROC-кривой составил 0,703 для глобальной логит-регрессионной модели (табл. 4).

Таблица 4

Результаты регрессии для глобальной модели (пять областей)

| Переменная | Отношение шансов (odds ratio) | Стандартная ошибка | P-значение |
|--|--|--------------------|------------------|
| pH почв | 0,960 | 0,085 | 0,6288 |
| Склон | 0,992 | 0,008 | 0,3656 |
| Средняя годовая эвапотранспирация | 0,788 | 0,123 | 0,0531 |
| Расстояние от ближайшей кромки леса | 0,961 | 0,006 | 0,0001*** |
| Изолированные сельскохозяйственные территории внутри лесного массива в 1990 г. | 1,484 | 0,125 | 0,0016** |
| Средняя урожайность зерновых в конце 1980-х гг. | 0,890 | 0,019 | 0,0001*** |
| Интерполированные значения населения для населенных пунктов на конец 1980-х гг. (прокси плотности населения) | 0,965 | 0,015 | 0,017* |
| Расстояние от областного центра | 0,998 | 0,002 | 0,2935 |
| Расстояние от ближайшего районного центра | 1,006 | 0,006 | 0,2723 |
| Расстояние от ближайшего муниципального центра | 1,063 | 0,015 | 0,0001*** |
| Расстояние от ближайшего населенного пункта с населением более 500 чел. | 1,032 | 0,008 | 0,0002*** |
| Расстояние от ближайшего населенного пункта | 1,086 | 0,038 | 0,0293* |
| Плотность дорог с твердым покрытием в конце 1980-х гг. | 1,001 | 0,001 | 0,29 |
| Расстояние от ближайшей дороги с твердым покрытием | 1,004 | 0,006 | 0,5702 |
| Площадь под ROC-кривой (AUC) = 70,3 | Скорректированный коэффициент детерминации R^2 (Adj, R) ² = 0,144 | | |

Примечание. Статистическая значимость переменных: *** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,05$. Коэффициенты, которые статистически значимы при $p < 0,05$, выделены жирным шрифтом.

Эта величина означает, что модель может различить корректно два класса («стабильные сельскохозяйственные земли» и «заброшенные сельскохозяйственные земли») с вероятностью 70,3%. Такой результат намного лучше, чем оценки полученные другими способами [11; 18].

Семь переменных оказались статистически значимыми ($p < 0,05$), все переменные имели связь с дихотомической переменной, представляющей изменение сельскохозяйственного землепользования с ожидаемым знаком (\pm) (см. табл. 4). Вероятность забрасывания сельскохозяйственных земель уменьшалась на 3,9% при удалении на каждые 100 м от кромки леса (odds ratio = 0,961) и увеличивалась на 48,4% для сельскохозяйственных территорий, находившихся внутри лесных массивов (odds ratio = 1,484). Уменьшение урожайности зерновых на 1 ц/га в конце 1980-х гг. повышало вероятность забрасывания сельскохозяйственных земель в период с 1990 по 2000 г. на 11% (odds ratio = 0,89). Забрасывание сельскохозяйственных земель было также статистически связано с уменьшением значения переменной «интерполированные значения населения для населенных пунктов на конец 1980-х гг.». Среди переменных, характеризующих удаленность сельскохозяйственных полей, наиболее важной переменной была переменная «расстояние от ближайшего населенного пункта». При увеличении расстояния от населенного пункта на 1 км вероятность забрасывания сельскохозяйственных земель в период с 1990 по 2000 г. увеличивалась на 8,6% (odds ratio = 1,086).

В целом результаты моделей для каждой из выбранных областей были относительно схожими с результатами глобальной модели, однако также прослеживались некоторые интересные различия. Например, в Калужской области вероятность забрасывания сельскохозяйственных земель при удалении от кромки леса на каждые 100 м уменьшалась на 11,3% (табл. 5). Во Владимирской области вероятность того, что изолированные сельскохозяйственные земли внутри лесного массива будут заброшены, была в 2,4 раза выше, чем для сельскохозяйственных земель вне леса. Это значение было самым высоким среди моделей для пяти областей. Вероятность забрасывания менее продуктивных сельскохозяйственных земель (районы с низкой урожайностью зерновых в конце 1980-х гг.) была наиболее высокой для Рязанской области, где она увеличивалась на 14,9% при уменьшении урожайности зерновых в конце 1980-х гг. на 1 ц/га от района к району. Влияние расстояния от дорог, рынков и населенных территорий имело смешанные результаты среди пяти областей. Однако была общая тенденция увеличения вероятности забрасывания сельскохозяйственных земель с увеличением расстояния. Переменная «интерполированные значения населения для населенных пунктов на конец 1980-х гг.» оказалась статистически значимой только для Смо-

ленской области, и наиболее низкая плотность населения в 1980-х гг. увеличивала вероятность забрасывания сельскохозяйственных земель в период 1990–2000 гг. С увеличением крутизны склона вероятность забрасывания сельскохозяйственных земель уменьшалась в Калужской и Смоленской областях, однако эта переменная не была статистически значимой для других областей. В то же время более высокий pH почв способствовал забрасыванию сельскохозяйственных земель в Тульской и Владимирской областях и, наоборот, уменьшал вероятность забрасывания сельскохозяйственных земель в Рязанской области (табл. 5).

Таблица 5

Отношение шансов (odds ratio), площадь под ROC-кривой
и скорректированный коэффициент детерминации R^2 (adjusted R^2)
для каждой области

| Переменная | Смолен- ская | Калуж- ская | Туль- ская | Рязан- ская | Влади- мирская |
|--|-----------------|----------------|---------------|----------------|-------------------|
| pH почв | 0,980 | 1,167 | 1,448 | 0,759 | 1,26 |
| Склон | 0,957 | 0,966 | 0,990 | 0,999 | 0,985 |
| Средняя годовая эвапотранспирация | 1,850 | 2,059 | 0,741 | 0,411 | 0,777 |
| Расстояние от ближайшей кромки леса | 0,905 | 0,887 | 0,952 | 0,962 | 0,892 |
| Изолированные сельскохозяйственные территории внутри лесного массива в 1990 г. | 1,202 | 2,339 | 0,982 | 0,891 | 2,48 |
| Средняя урожайность зерновых в конце 1980-х гг. | 0,933 | 0,898 | 0,875 | 0,851 | 0,943 |
| Интерполированные значения населения для населенных пунктов на конец 1980-х гг. (прокси плотности населения) | 0,949 | 0,931 | 0,996 | 0,952 | 0,973 |
| Расстояние от областного центра | 1,001 | 0,997 | 0,985 | 1,006 | 1,003 |
| Расстояние от ближайшего районного центра | 1,007 | 0,996 | 1,025 | 0,998 | 1,019 |
| Расстояние от ближайшего муниципального центра | 1,105 | 1,043 | 1,028 | 1,093 | 1,019 |
| Расстояние от ближайшего населенного пункта с населением более 500 человек | 1,017 | 1,014 | 1,068 | 1,059 | 1,041 |
| Расстояние от ближайшего населенного пункта | 1,256 | 1,390 | 1,074 | 0,971 | 0,964 |
| Плотность дорог с твердым покрытием в конце 1980-х гг. | 1,082 | 1,010 | 1,020 | 1,010 | 0,997 |
| Расстояние от ближайшей дороги с твердым покрытием | 1,015 | 1,017 | 1,020 | 0,989 | 1,009 |
| AUC | 0,68 | 0,752 | 0,653 | 0,745 | 0,748 |
| Adjusted R^2 | 0,131 | 0,213 | 0,085 | 0,203 | 0,199 |

Примечание. Отношения шансов (odds ratio), выделенные жирным шрифтом, означают статистическую значимость переменных при $p < 0,05$.

Иерархическое разбиение

Для глобальной модели вклады семи статистически значимых переменных в объяснение дисперсии заброшенных сельскохозяйственных земель оказались следующими: средняя урожайность зерновых в конце 1980-х гг. — 42,1%, расстояние от ближайшей кромки леса — 19,4%, расстояние от ближайшего населенного пункта с населением более 500 чел. — 11,5%, изолированные сельскохозяйственные территории внутри лесного массива — 11,9%; расстояние от ближайшего муниципального центра — 6,9%, интерполированные значения населения для населенных пунктов на конец 1980-х гг. — 6,4%, расстояние от ближайшего населенного пункта — 1,6% (рис. 4).

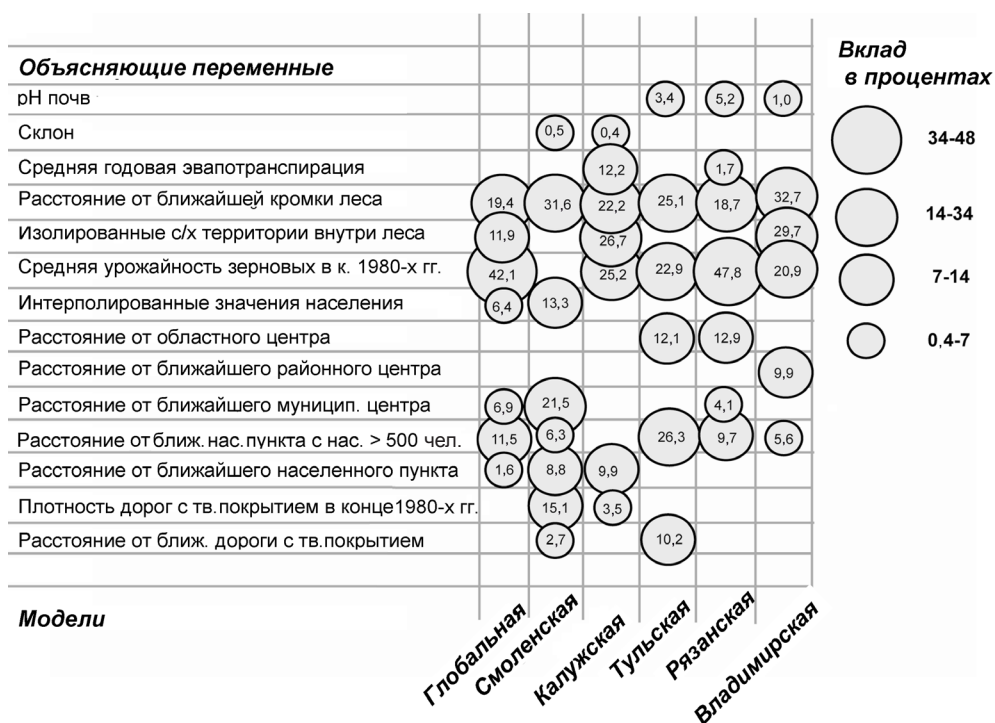


Рис. 4. Результаты анализа с использованием метода иерархического разбиения (hierarchical partitioning) для статистически значимых переменных

Однако на уровне областей набор статистически значимых переменных и их вклад в объяснение дисперсии заброшенных сельскохозяйственных земель существенно различались. Единственной переменной, которая внесла наибольший вклад в объяснение дисперсии среди всех областей (более 19%), была переменная «расстояние от ближайшей кромки леса». Переменная «рН почв» была статистически значимой ($p < 0,05$) для областей, где были лучшие почвы (в Тульской, Рязанской и Владимирской областях). Перемен-

ная «средняя урожайность зерновых в конце 1980-х гг.» была статистически значимой для Калужской, Тульской, Рязанской и Владимирской областей, где ее вклад в объяснение дисперсии составил 20,9–47,8% от общей объясненной дисперсии. Переменная «расстояние от ближайшего населенного пункта с населением более 500 чел.» была важной статистически значимой для всех областей, кроме Калужской. В Смоленской области, характеризующейся наивысшей долей заброшенных земель на уровне районов (см. *рис. 2*), низкая плотность сельского населения в конце 1980-х гг., а также переменные, связанные с физической доступностью сельскохозяйственных наделов, оказали более существенное влияние на пространственное распределение заброшенных земель, чем в других областях. Большинство переменных, представляющих агроклиматические характеристики («рН почв», «склон», «средняя ежегодная эвапотранспирация»), имели низкую объясняющую способность для всех областей.

ОБСУЖДЕНИЕ

Забрасывание сельскохозяйственных земель в России в период 1990–2000 гг. на исследуемой территории носило повсеместный характер. Полученные результаты позволяют утверждать, что наибольшая вероятность забрасывания характерна для земель с низкой сельскохозяйственной продуктивностью в период 1980-х гг., участков вблизи кромки леса, для изолированных наделов внутри лесных массивов, а также для сельскохозяйственных земель, удаленных от населенных пунктов. Это, в свою очередь, позволяет предположить о возрастающем влиянии рыночных факторов, главным из которых является максимизация прибыли. Такой вывод не противоречит результатам, полученным в работах [18; 27; 42].

Забрасывание низкопродуктивных сельскохозяйственных земель совпало с резким уменьшением урожайности зерновых на территории исследования европейской части России, когда прекращение субсидирования производителей (например, поставка удобрений), а также потребителей (например, субсидирование розничных цен на основные продукты питания, такие как хлеб и молоко) во время переходного периода увеличило разрыв в урожайности между Россией и другими мировыми лидерами в области производства зерновых [68]. Изменение институтов, которые регулировали сельскохозяйственное землепользование, задержка в установлении новых институтов, а также неадекватная поддержка и инвестирование сельского хозяйства, по всей вероятности, способствовали более интенсивному использованию оставшихся в обороте сельскохозяйственных земель, тем самым вызвав истощение почв и возможное последующее забрасывание [59].

Фактор удаленности сельскохозяйственных полей явился одним из важнейших предикторов в большинстве построенных моделей. Поля имели большую вероятность быть заброшенными, если они находились вдали от населенных пунктов и рынков сбыта. Таким образом, пространственное распределение сельскохозяйственного землепользования согласуется с пространственной моделью фон Тюнена, в которой нарастает важность компоненты, связанной с издержками транспортировки / доступа к рынкам [28].

Населенные пункты (деревни), муниципальные центры и в особенности населенные пункты с населением более 500 чел. представляют важную инфраструктурную сеть (каркас), поддержка которой необходима для сельскохозяйственного производства. Возможно, что такая инфраструктурная сеть была также важной для обеспечения доступа к рынкам производителей и потребителей произведенной сельскохозяйственной продукции, а также для выполнения необходимых социальных функций для сельского населения, вовлеченного в сельскохозяйственное производство.

Биофизические факторы (например, «рН почв», «склон», «средняя ежегодная эвапотранспирация») достаточно мало внесли в объяснение пространственного распределения заброшенных земель. Однако такой результат может быть частично объяснен выбором относительно однородной территории для исследования с точки зрения агроклиматических характеристик и изменчивости рельефа территории.

Доли заброшенных земель, а также детерминанты их пространственного распределения среди исследованных областей значительно варьировали. Эти различия, вероятно, отразили также различия в региональных политиках относительно самообеспечения сельскохозяйственной продукцией, степень неопределенности институциональных условий в переходный период [68].

Данная работа по моделированию факторов забрасывания сельскохозяйственных земель была ограничена объемом доступных социально-экономических данных и не позволяла выделить причинно-следственные факторы, которые оказали влияние непосредственно на принятие решений относительно изменения землепользования. Тем не менее выбранный подход в области моделирования дает возможность получить представление о пространственном распределении заброшенных земель и косвенно установить связь с факторами, которые обусловили этот процесс. Данная работа также создает основу для более детального исследования причинно-следственных факторов изменения землепользования на уровне хозяйствующих субъектов / сельскохозяйственных производителей, которые принимают решения относительно изменения землепользования. Более того, получены статистически

репрезентативные результаты для большой территории (около 150 500 км²). Однако большой размер территории в то же время маскировал варьирование параметров внутри самой территории, позволив получить лишь средние значения коэффициентов для глобальной модели. Частично эта проблема была разрешена путем использования модели логит-регрессий для каждой из областей внутри территории исследования. Несмотря на эти результаты, движущие факторы, которые определяют непосредственное решение о забрасывании сельскохозяйственных земель, необходимо исследовать в будущем. Такими потенциальными движущими факторами изменения сельскохозяйственного землепользования могут быть: незаконченная земельная реформа, ограниченные экономические стимулы ведения сельского хозяйства, изменение цен на сельскохозяйственную продукцию, советское наследие (если сельскохозяйственные предприятия субсидировались, но де-факто были банкротами в предпереходное время), квалификация сельскохозяйственных работников, а также индивидуальные характеристики сельскохозяйственных производителей.

Забрасывание сельскохозяйственных земель имеет существенные экологические и социально-экономические последствия, предоставляя как положительные перспективы, так и ограничения. Исходя из результатов моделирования, можно предположить дальнейшую кластеризацию культивируемых сельскохозяйственных земель в ответ на благоприятные агроклиматические и социально-экономические условия (например, наличие рабочей силы), а также концентрацию сельскохозяйственного производства вблизи рынков сбыта. Чтобы уменьшить темпы забрасывания сельскохозяйственных земель, необходимо поддерживать плодородие почв на оставшихся в обороте сельскохозяйственных землях, а также улучшить доступ к населенным пунктам. Медленное, но неуклонное восстановление лесной растительности на заброшенных землях в умеренной зоне европейской части России повышает стоимость рекультивации заброшенных земель, а значит, с каждым годом уменьшает вероятность рекультивации. Улучшение политики в области землепользования и функционирования земельных рынков может способствовать своевременному вовлечению в оборот заброшенных сельскохозяйственных земель.

Высокая вероятность забрасывания изолированных сельскохозяйственных территорий внутри лесных массивов, а также вблизи лесной кромки предоставляет хорошую возможность для дефрагментации лесов, поскольку восстановление леса на заброшенных полях может позволить увеличить ареал обитания животных и депонировать углерод. К тому же такие удаленные территории лежат вне интересов крупных сельскохозяйственных предприятий и агрохолдингов и масштабная рекультивация заброшенных земель

на этих территориях маловероятна. Однако такие территории обладают высокой природной ценностью и могут позиционироваться как территории с менее интенсивным сельским хозяйством, например, для поддержания агробιοразнообразия, для стимулирования экотуризма или для производства биопродукции.

Совокупность неиспользованного сельскохозяйственного потенциала заброшенных сельскохозяйственных земель, возможности депонирования углерода и увеличения биоразнообразия после восстановления лесов на заброшенных сельскохозяйственных землях подсказывает важную тему для будущих исследований в области анализа компромиссов землепользования на заброшенных сельскохозяйственных землях европейской части России. Необходимость этого особенно значима на фоне продолжающегося сокращения сельскохозяйственных земель в исследуемом регионе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе были определены основные факторы, которые обусловили пространственное распределение заброшенных сельскохозяйственных земель в умеренной зоне европейской части России. Результаты косвенно показывают, что принятие решений в области сельскохозяйственного землепользования сместилось в сторону принципов рыночной экономики, когда доходность сельскохозяйственного производства в значительной степени определяет пространственное размещение факторов производства. Это подтверждается уровнем значимости для территории исследования фактора доступности сельскохозяйственных территорий и высокой урожайностью во время советского периода сельскохозяйственных земель, которые остались в сельскохозяйственном обороте. Можно предположить, что резкое масштабное сокращение государственной поддержки сельскохозяйственного производства способствовало забрасыванию сельскохозяйственных земель. Чрезмерная эксплуатация оставшихся в обороте сельскохозяйственных земель без соответствующего инвестирования в плодородие почв, скорее всего, создаст новые предпосылки дальнейшего развития этого процесса, особенно на территориях с низкой сельскохозяйственной продуктивностью, удаленных от населенных пунктов и изолированных от больших кластеров продуктивных сельскохозяйственных земель.

Благодарности

Выражаем признательность за финансовую поддержку исследования Программе изменения землепользования и земного покрова НАСА (NASA Land-Cover/Land-Use Change Program), Программе международных поездок Университета Висконсин-Мэдисон. Также выражаем благодарность А. Зиббе, К. Алькантара и Д. Хэмлерс за техническую помощь, а также Н. Кейлер и К. Вэндланд — за рекомендации в области статистического анализа, А. Бурники, Д. Льюис, М. Оздоган и Ф. Таунсенд — за важные комментарии на первые версии статьи, Г. Иоффе, Т. Нефедовой и И. Заславскому — за предоставление социально-экономических данных на уровне районов и за плодотворные дискуссии при подготовке статьи, а также двум анонимным рецензентам — за конструктивные комментарии, которые помогли улучшить текст статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N.* Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries // *Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds*. 2008. URL: <http://www.agroatlas.ru>.
2. *Alcantara C., Kuemmerle T., Prishchepov A.V., Radeloff V.C.* Mapping Abandoned Agriculture with Multi-Temporal MODIS Satellite Data // *Remote Sensing of Environment*. 2012. Vol. 124. Pp. 334–347.
3. *Александрова В.Д., Юрковская Т.К.* (ред.) Геоботаническое районирование Нечерноземья европейской части РСФСР. Л., 1989. 64 с.
4. *Baldock D., Beaufoy G., Selby A., Guiheneuf P.I., Manterola J.J.* Farming at the Margins: Abandonment or Redeployment of Agricultural Land in Europe / IEEP and LEI-DLO. London, 1996. 202 p.
5. *Batjes N.H.* Soil Data Resources for Land Suitability Assessment and Environmental Protection in Central and Eastern Europe: the 1:2 500 000 Scale SOVEUR Project // *The Land*. 2001. Vol. 5. Pp. 51–68.
6. *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. Pp. 552–562.
7. *Benjamin K., Bouchard A., Domon G.* Abandoned Farmlands as Components of Rural Landscapes: an Analysis of Perceptions and Representations // *Landscape and Urban Planning*. 2007. Vol. 83. Pp. 228–244.
8. *Bergen K.M., Zhao T., Kharuk V., Blam Y., Brown D.G., Peterson L.K., Miller N.* Changing Regimes: Forested Land Cover Dynamics in Central Siberia 1974 to 2001 // *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*. 2008. Vol. 74. Pp. 787–798.
9. *Chevan A., Sutherland M.* Hierarchical Partitioning // *The American Statistician*. 1991. Vol. 45. Pp. 90–96.
10. *Chomitz K.M., Gray D.* Roads, Lands Use, and Deforestation: a Spatial Model Applied to Belize // *World Bank Economic Review*. 1996. № 10. Pp. 487–512.
11. *DeLeo J.* Receiver Operating Characteristic Laboratory ROCLAB: Software for Developing Decision Strategies that Account for Uncertainty // *Proceedings of the Second International Symposium on Uncertainty, Modeling and Analysis*. College Park, MD, 1993. Pp. 318–325.

12. Dubinin M., Potapov P., Lushchekina A., Radeloff V.C. Reconstructing Long Time Series of Burned Areas in Arid Grasslands of Southern Russia by Satellite Remote Sensing // Remote Sensing of Environment. 2010. № 114. Pp. 1638–1648.
13. Elbakidze M., Angelstam P. Implementing Sustainable Forest Management in Ukraine's Carpathian Mountains: the Role of Traditional Village Systems // Forest Ecology and Management. 2007. № 249. Pp. 28–38.
14. FAO. The World's Next Breadbasket // Unleashing Eastern Europe and Central Asia's Agricultural Potential. Media Centre of Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. URL: <http://www.fao.org/news/story/en/item/46401/icode/>.
15. Folch R. Encyclopedia of the Biosphere: Deciduous Forests / Gale Group, Detroit, Mi, 2000. 438 p.
16. Frihauf M., Keller T. Development of Land use, Soil Degradation and their Consequences for the Forest Steppe Zone of Bashkortostan // Basic and Applied Dryland Research. 2010. № 4. Pp. 1–22.
17. Gataulina G.G. Small-Grain Cereal Systems in the Soviet Union // Pearson C.J. (Ed.), Field Crop Systems (Ecosystems of the World). Elsevier, Amsterdam, 1992. Pp. 385–400.
18. 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 and Environment. 2007. № 118. Pp. 93–108.
19. Сельское хозяйство в России. М.: Госкомстат России, 2000. 414 с.
20. Народное хозяйство РСФСР в 1989 году. М.: Госкомстат РСФСР, 1990. 692 с.
21. Grau H.R., Aide T.M., Zimmerman J.K., Thomlinson J.R., Helmer E., Zou X.M. The Ecological Consequences of Socioeconomic and Land-Use Changes in Postagriculture Puerto Rico // Bioscience. 2003. № 53. Pp. 1159–1168.
22. Grinfelde I., Mathijs E. Agricultural Land Abandonment in Latvia: an Econometric Analysis of Farmers' Choice // Agricultural Economics Society Annual Conference, Imperial College, South Kensington, London, 2004. Pp. 1–24.
23. Hostert P., Kuemmerle T., Prishchepov A.V., Sieber A., Lambin E.F., Radeloff V.C. Rapid Land-Use Change after Socio-Economic Disturbances: the Collapse of the Soviet Union Versus Chernobyl // Environmental Research Letters. 2011. 6. 045201, 8 p.
24. Huber P.J. The Behavior of Maximum Likelihood Estimates under Nonstandard Conditions // Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability, Berkeley, CA, 1967. Pp. 221–233.
25. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), 2000. Global Agro-Ecological Zones (Global-AEZ) CD-ROM FAO/IIASA2008. URL: <http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/GAEZ/index.htm>.
26. Ioffe G., Nefedova T., Zaslavsky I. The End of Peasantry? Disintegration of Rural Russia. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA, 2006. 272 p.
27. Ioffe G., Nefedova T. Marginal Farmland in European Russia // Eurasian Geography and Economics. 2004. № 45. Pp. 45–59.
28. Ioffe G., Nefedova T., Zaslavsky I. From Spatial Continuity to Fragmentation: the Case of Russian Farming // Annals of Association of American Geographers. 2004. № 94. Pp. 913–943.
29. Irwin E.G., Geoghegan J. Theory, Data, Methods: Developing Spatially Explicit Economic Models of Land Use Change // Agriculture Ecosystems and Environment. 2001. № 85. Pp. 7–23.
30. Jasny N. Economic Geography of the USSR. Stanford University Press, Stanford, CA, 1949. 837 p.
31. Kaimowitz D., Mertens B., Wunder S., Pacheco P. Hamburger Connection Fuels

Amazon Destruction: Cattle Ranching and Deforestation in Brazil's Amazon. 2004. URL: <http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf files/media/Amazon.pdf>.

32. *Karlsson A., Albrektson A., Forsgren A., Svensson L.* An Analysis of Successful Natural Regeneration of Downy and Silver Birch on Abandoned Farmland in Sweden // *Silva Fennica*. 1998. № 32. Pp. 229–240.

33. *Каштанов А.Н.* Природно-сельскохозяйственное районирование и использование земельного фонда СССР / Е.И. Гайдамака, Н.И. Розов, Д.И. Шашко и др.; под ред. А.Н. Каштанова. М.: Колос, 1983. 36 с.

34. *Kontorovich V.* The Russian Health Crisis and the Economy // *Communist and Post-Communist Studies*. 2001. Vol. 34. Pp. 221–240.

35. *Kristensen L.S., Thenail C., Kristensen S.P.* Landscape Changes in Agrarian Landscapes in the 1990: the Interaction between Farmers and the Farmed Landscape. A Case Study from Jutland, Denmark // *Journal of Environmental Management*. 2004. № 71. Pp. 231–244.

36. *Kuemmerle T., Hostert P., Radeloff V., van der Linden S., Perzanowski K., Kruhlov I.* Cross-Border Comparison of Post-Socialist Farmland Abandonment in the Carpathians // *Ecosystems*. 2008. № 11. Pp. 614–628.

37. *Lambin E.F., Meyfroidt P.* Global Land-Use Change, Economic Globalization, and the Looming Land Scarcity // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2011. № 108. Pp. 3465–3472.

38. *Larsson S., Nilsson C.* A Remote Sensing Methodology to Assess the Costs of Preparing Abandoned Farmland for Energy Crop Cultivation in Northern Sweden // *Biomass and Bioenergy*. 2005. № 28. Pp. 1–6.

39. *Lavrishchev A.* Economic Geography of the USSR. Central Books Ltd., London, 1969. 380 p.

40. *Lerman Z., Csaki C., Feder G.* Agriculture in Transition: Land Policies and Evolving Farm Structures in Post-Soviet Countries Lexington Books. Lanham, Boulder, New York, Toronto, Oxford, 2004. 254 p.

41. *Lerman Z., Shagaida N.* Land Policies and Agricultural Land Markets in Russia // *Land Use Policy*. 2007. № 24. Pp. 14–23.

42. *Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г.* Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.

43. *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. Pp. 47–69.

44. *Mac Nally R.* Hierarchical Partitioning as an Interpretative Tool in Multivariate Inference // *Australian Journal of Ecology*. 1996. Vol. 21. Pp. 224–228.

45. *Maddala G.S., Lahiri K.* Introduction to Econometrics, 4th ed. Wiley, New York, NY, 2006. 654 p.

46. *Meyfroidt P., Lambin E.P.* The Causes of the Reforestation in Vietnam // *Land Use Policy*. 2008. Vol. 25. Pp. 182–197.

47. *Milanova E.V., Lioubimtseva E., Yu Tcherkashin P.A., Yanvareva L.F.* Land Use/Cover Change in Russia: Mapping and GIS // *Land Use Policy*. 1999. Vol. 16. Pp. 153–159.

48. *Millington J., Perry G., Romero-Calcerrada R.* Regression Techniques for Examining Land Use/Cover Change. A Case Study of a Mediterranean Landscape // *Ecosystems*. 2007. Vol. 10. Pp. 562–578.

49. *Müller D., Kuemmerle T., Rusu M., Griffiths P.* Lost in Transition: Determinants of Post-Socialist Cropland Abandonment in Romania // *Journal of Land Use Science*. 2009. Vol. 4. Pp. 109–129.

50. Müller D., Munroe D.K. Changing Rural Landscapes in Albania: Cropland Abandonment and Forest Clearing in the Postsocialist Transition // *Annals of the Association of American Geographers*. 2008. Vol. 98. Pp. 855–876.
51. Müller D., Munroe D.K. Tradeoffs Between Rural Development Policies and Forest Protection: Spatially-Explicit Modeling in the Central Highlands of Vietnam // *Land Economics*. 2005. Vol. 81. Pp. 412–425.
52. Müller D., Sikor T. Effects of Postsocialist Reforms on Land Cover and Land Use in South-Eastern Albania // *Applied Geography*. 2006. Vol. 26. Pp. 175–191.
53. Müller D., Zeller M. Land Use Dynamics in the Central Highlands of Vietnam: a Spatial Model Combining Village Survey Data with Satellite Imagery Interpretation // *Agricultural Economics*. 2002. Vol. 27. Pp. 333–354.
54. Новоженина О., Бахареv В., Мозутов В. Hard-Окорок // *Gazeta.ru*. 2009. URL: <http://www.gazeta.ru/business/2009/01/23/2928922.shtml>.
55. Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.I.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D'amico J.A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Loucks C.J., Allnutt T.F., Ricketts T.H., Kura Y., Lamoreux J.F., Wettengel W.W., Hedao P., Kassem K.R. Terrestrial Ecoregions of the World: a New Map of Life on Earth // *BioScience*. 2001. Vol. 51. Pp. 933–938.
56. Peterson U., Aunap R. Changes in Agricultural Land Use in Estonia in the 1990 Detected with Multitemporal Landsat MSS Imagery // *Landscape & Urban Planning*. 1998. Vol. 41. Pp. 193–201.
57. Pontius R.G., Schneider L.C. Land-Cover Change Model Validation by an ROC Method for the Ipswich Watershed, Massachusetts, USA // *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2001. Vol. 85. Pp. 239–248.
58. 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.
59. Прищепов А.В., Раделофф Ф.С., Бауманн М., Кюммерле Т., Мюллер Д. Влияние институциональных и социо-экономических изменений после распада СССР на сельскохозяйственное землепользование в Восточной Европе // *Земля из космоса: наиболее эффективные решения*. 2012. № 14. С. 7–14.
60. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Dubinin M., Alcantara C. The Effect of Landsat ETM+/TM+ Image Acquisition Dates on Detection of Agricultural Land Abandonment in Eastern Europe. Remote Sensing of Environment. R Development Core Team // *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria, 2011. URL: <http://www.R-project.org>.
61. Регионы России. Социально-экономические показатели. М.: Росстат, 2002. URL: <http://www.gks.ru>.
62. Sedik D., Trueblood M., Arnade C. Corporate Farm Performance in Russia, 1991–1995: an Efficiency Analysis // *Journal of Comparative Economics*. 1999. Vol. 27. Pp. 511–533.
63. Sileika A.S., Stalnacke P., Kutra S., Gaigalis K., Berankiene L. Temporal and Spatial Variation of Nutrient Levels in the Nemunas River (Lithuania and Belarus) // *Environmental Monitoring and Assessment*. 2006. Vol. 122. Pp. 335–354.
64. Smelansky I. Biodiversity of Agricultural Lands in Russia: Current State and Trends / IUCN – The World Conservation Union. Moscow, 2003. 52 p.
65. Shkolnikov V., McKee M. Le. Changes in Life Expectancy in Russia in the mid-1990s // *The Lancet*. 2001. Vol. 357. Pp. 917–921.
66. Tilman D. Global Environmental Impacts of Agricultural Expansion: the Need for

Sustainable and Efficient practices // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 1999. Vol. 96. Pp. 5995–6000.

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

68. USGS, 2006. Shuttle Radar Topography Mission, 3 Arc Second SRTM Model Unfilled Unfinished 2.0. Global Land Cover Facility, University of Maryland, College Park, MA, 2000. URL: www.landcover.org.

69. Уткин А.И., Гульбе Я.И., Гульбе Т.А., Гульбе А.Я., Ермолова Л.С. Березняки и сероолшаники центра русской равнины – экотон между экосистемами хвойных пород и сельскохозяйственными угодьями // Лесоведение. 2005. № 4. С. 49–66.

70. Van Doorn A.M., Bakke, 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. Pp. 1073–1087.

71. Van Eetvelde V., Antrop M. Analyzing Structural and Functional Changes of Traditional Landscapes – Two Examples from Southern France // Landscape and Urban Planning. 2004. Vol. 67. Pp. 79–95.

72. 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. Pp. 241–249.

73. Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J., Melillo J.M. Human Domination of Earth's Ecosystems // Science. 1997. Vol. 277. Pp. 494–499.

74. Военные топографические карты: м-б: 1:100 000. М.: Военно-топографический отдел Генерального штаба СССР, 1989.

75. Военные топографические карты: м-б: 1:500 000. М.: Военно-топографический отдел Генерального штаба СССР, 1989.

76. Vuichard N., Ciais P., Wolf A. Soil Carbon Sequestration or Biofuel Production: new Land-Use Opportunities for Mitigating Climate over Abandoned Soviet Farmlands // Environmental Science and Technology. 2009. Vol. 43. Pp. 8678–8683.

77. White H. Maximum Likelihood Estimation of Misspecified Models // Econometrica. 1982. Vol. 50. Pp. 1–25.

78. World Bank. World Development Indicators. The World Bank Development Data Group, Washington, DC, 2008. URL: <http://data.worldbank.org>.

DETERMINANTS OF THE SPATIAL DISTRIBUTION OF ABANDONED AGRICULTURAL LANDS IN THE EUROPEAN PART OF RUSSIA

A.V. Prishchepov, D. Müller, M. Dubinin, M. Baumann, V.C. Radeloff

Prishchepov Alexander Vladimirovich – Ph. D., Leibniz Institute of Agricultural Development in Central and Eastern Europe (IAMO), Theodor-Lieser-Strasse 2, 06120 Halle (Saale), Germany. Department of Forest and Wildlife Ecology, University of Wisconsin-Madison, 1630 Linden Drive, Madison, WI 53706-1598, USA. E-mail: prishchepov@iamo.de.

Müller Daniel – Ph. D., Department of Forest and Wildlife Ecology, University of Wisconsin-Madison, 1630 Linden Drive, Madison, WI 53706-1598, USA. E-mail: mueller@iamo.de.

Dubinin Maxim – Ph. D., Biodiversity Conservation and Bioresources Use Laboratory, Institute of Ecology and Evolution of Russian Academy of Sciences, 33 Leninsky Prospect, Moscow, Russia, 117071. E-mail: sim@gis-lab.info.

Baumann Mattias – Dipl. Geogr., Department of Forest and Wildlife Ecology, University of Wisconsin-Madison, 1630 Linden Drive, Madison, WI 53706-1598, USA. E-mail: mbaumann3@wisc.edu.

Radeloff Volker C. – Ph. D., Department of Forest and Wildlife Ecology, University of Wisconsin-Madison, 1630 Linden Drive, Madison, WI 53706-1598, USA. E-mail: radeloff@wisc.edu.

The breakdown of socialism caused massive socio-economic and institutional changes that led to substantial agricultural land abandonment. The goal of our study was to identify the determinants of agricultural land abandonment in post-Soviet Russia during the first decade of transition from a state-controlled economy to a market-driven economy (1990–2000). We analyzed the determinants of agricultural land abandonment for approximately 150 550 km² of land area in the provinces (oblasts) of Kaluga, Rjazan, Smolensk, Tula and Vladimir in European Russia. Based on the economic assumptions of profit maximization, we integrated maps of abandoned agricultural land from five 185 km × 185 km Landsat TM/ETM+ footprints with socio-economic, environmental and geographic variables, and we estimated logistic regressions at the pixel level to identify the determinants of agricultural land abandonment. Our results showed that a higher likelihood of agricultural land abandonment was significantly associated with lower average grain yields in the late 1980s and with higher distances from the nearest settlements, municipality centers, and settlements with more than 500 citizens. Hierarchical partitioning showed that the average grain yields in the late 1980s had the greatest power to explain agricultural land abandonment in our models, followed by the locational attributes of the agricultural land. We hypothesize that the termination of 90% of state subsidies for agriculture from 1990 to 2000 was an important underlying cause for the decrease of cultivation in economically and environmentally marginal agriculture areas. Thus, whereas the spatial patterns corresponded to the land rent theory of von Thünen, it was primarily the macro-scale driving forces that fostered agricultural abandonment. Our study highlighted the value of spatially explicit statistical models for studying the determinants of land-use and land-cover change in large areas.

Keywords: agricultural land abandonment, Institutional change, Land use change, Spatial analysis, Logistic regression, Remote sensing, Russia.

REFERENCES

1. Afonin A.N., Greene S.L., Dzyubenko N.I., Frolov A.N. Interactive Agricultural Ecological Atlas of Russia and Neighboring Countries. *Economic Plants and their Diseases, Pests and Weeds*, 2008. Available at: <http://www.agroatlas.ru>.
2. Alcantara C., Kuemmerle T., Prishchepov A.V., Radeloff V.C. Mapping Abandoned Agriculture with Multi-temporal MODIS Satellite Data. *Remote Sensing of Environment* 124, 2012, 334–347.
3. Alexandrova V.D., Yurkovskaya T.K. *Geobotanical Zoning of Non-black Soil Area of the European Part of the RSFSR*, Komarov Botanical Institute, USSR Academy of Science, Leningrad, 1989, 62 p. (in Russian).
4. Baldock D., Beaufoy G., Selby A., Guiheneuf P.I., Manterola J.J. *Farming at the Margins: Abandonment or Redeployment of Agricultural Land in Europe*. IEEP and LEI-DLO, London, UK, 1996, 202 p.
5. Batjes N.H. Soil Data Resources for Land Suitability Assessment and Environmental Protection in Central and Eastern Europe: the 1:2,500,000 scale SOVEUR project. *The Land*, vol. 5, 2001, pp. 51–68.
6. 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*, vol. 28, 2011, pp. 552–562.

7. Benjamin K., Bouchard A., Domon G. Abandoned Farmlands as Components of Rural Landscapes: an Analysis of Perceptions and Representations. *Landscape and Urban Planning*, vol. 83, 2007, pp. 228–244.
8. Bergen K.M., Zhao T., Kharuk V., Blam Y., Brown D.G., Peterson L.K., Miller N. Changing Regimes: Forested Land Cover Dynamics in Central Siberia 1974 to 2001. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, vol. 74, 2008, pp. 787–798.
9. Chevan A., Sutherland M. Hierarchical Partitioning. *The American Statistician*, vol. 45, 1991, pp. 90–96.
10. Chomitz K.M., Gray D. Roads, Lands Use, and Deforestation: a Spatial Model Applied to Belize. *World Bank Economic Review*, vol. 10, 1996, pp. 487–512.
11. DeLeo J. Receiver Operating Characteristic Laboratory ROCLAB: Software for Developing Decision Strategies that Account for Uncertainty. *Proceedings of the Second International Symposium on Uncertainty, Modeling and Analysis*, College Park, MD, USA, 1993, pp. 318–325.
12. Dubinin M., Potapov P., Lushchekina A., Radeloff V.C. Reconstructing Long Time Series of Burned Areas in Arid Grasslands of Southern Russia by Satellite Remote Sensing. *Remote Sensing of Environment*, vol. 114, 2010, pp. 1638–1648.
13. Elbakidze M., Angelstam P. Implementing Sustainable Forest Management in Ukraine's Carpathian Mountains: the Role of Traditional Village Systems. *Forest Ecology and Management*, vol. 249, 2007, pp. 28–38.
14. The World's Next Breadbasket. *Unleashing Eastern Europe and Central Asia's agricultural potential*. Media Centre of Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2010. Available at: <http://www.fao.org/news/story/en/item/46401/icode/>.
15. Folch R. *Encyclopedia of the Biosphere: Deciduous Forests*, Gale Group, Detroit, Mi, USA, 2000, 438 p.
16. Frühauf M., Keller T. Development of Land Use, Soil Degradation and Their Consequences for the Forest Steppe Zone of Bashkortostan. *Basic and Applied Dryland Research*, vol. 4, 2010, pp. 1–22.
17. Gataulina G.G. *Small-grain Cereal Systems in the Soviet Union*. Edited by C.J. Pearson. Field Crop Systems (Ecosystems of the World). Elsevier, Amsterdam, Netherlands, 1992, pp. 385–400.
18. 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 and Environment*, vol. 118, 2007, pp. 93–108.
19. *Agriculture in Russia*. State Committee of Statistics of Russia, Moscow, Russia, 2000, 414 p. (in Russian).
20. *National Economy of RSFSR in 1989*. Annual Yearbook State Committee of Statistics of RSFSR, 1990, 692 p. (in Russian).
21. Grau H.R., Aide T.M., Zimmerman J.K., Thomlinson J.R., Helmer E., Zou X.M. The Ecological Consequences of Socioeconomic and Land-use Changes in Postagriculture Puerto Rico. *Bioscience*, vol. 53, 2003, pp. 1159–1168.
22. Grinfelde I., Mathijs E. Agricultural Land Abandonment in Latvia: an Econometric Analysis of Farmers' Choice. *Agricultural Economics Society Annual Conference*, Imperial College, South Kensington, London, UK, 2004, pp. 1–24.
23. Hostert P., Kuemmerle T., Prishchepov A.V., Sieber A., Lambin E.F., Radeloff V.C. Rapid Land-Use Change after Socio-Economic Disturbances: the Collapse of the Soviet Union versus Chernobyl. *Environmental Research Letters*, vol. 6, 045201, 2011, 8 p.
24. Huber P.J. The Behavior of Maximum Likelihood Estimates under Nonstandard Conditions. *Proceedings of the Fifth Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability*, Berkeley, CA, USA, 1967, pp. 221–233.

25. *International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA). Global Agro- Ecological Zones (Global-AEZ) CD-ROM FAO/IIASA2008*, 2000. Available at: <http://www.iiasa.ac.at/Research/LUC/GAEZ/index.htm>.
26. Ioffe G., Nefedova T., Zaslavsky I.. *The End of Peasantry? Disintegration of Rural Russia*. University of Pittsburgh Press, Pittsburgh, PA, USA, 2006, 272 p.
27. Ioffe G., Nefedova T. Marginal Farmland in European Russia. *Eurasian Geography and Economics*, vol. 45, 2004, pp. 45–59.
28. Ioffe G., Nefedova T., Zaslavsky I. From Spatial Continuity to Fragmentation: the Case of Russian farming. *Annals of Association of American Geographers*, vol. 94, 2004, pp. 913–943.
29. Irwin E.G., Geoghegan J. Theory, Data, Methods: Developing Spatially Explicit Economic Models of Land Use Change. *Agriculture Ecosystems and Environment*, vol. 85, 2001, pp. 7–23.
30. Jasny N. *Economic Geography of the USSR*. Stanford University Press, Stanford, CA, USA, 1949, 837 p.
31. Kaimowitz D., Mertens B., Wunder S., Pacheco P. *Hamburger Connection Fuels Amazon Destruction: Cattle Ranching and Deforestation in Brazil's Amazon*, 2004. Available at: <http://www.cifor.cgiar.org/publications/pdf files/media/Amazon.pdf>.
32. Karlsson A., Albrektson A., Forsgren A., Svensson L. An Analysis of Successful Natural Regeneration of Downy and Silver Birch on Abandoned Farmland in Sweden. *Silva Fennica*, vol. 32, 1998, pp. 229–240.
33. Kashtanov A.N., Gaydamaka E.I., Rozov D.I., Shashko D.I. *The natural-agricultural zoning and use of the land Fund of the USSR*. Edited by A.N. Kashtanov. Moscow, 1983, 336 p. (in Russian).
34. Kontorovich V. The Russian Health Crisis and the Economy. *Communist and Post-Communist Studies*, vol. 34, 2001, pp. 221–240.
35. Kristensen L.S., Thenail C., Kristensen S.P. Landscape Changes in Agrarian Landscapes in the 1990: the Interaction between Farmers and the Farmed Landscape. A Case Study from Jutland, Denmark. *Journal of Environmental Management*, vol. 71, 2004, pp. 231–244.
36. Kuemmerle T., Hostert P., Radeloff V., van der Linden S., Perzanowski K., Kruhlov I. Cross-Border Comparison of Post-Socialist Farmland Abandonment in the Carpathians. *Ecosystems*, vol. 11, 2008, pp. 614–628.
37. Lambin E.F., Meyfroidt P. Global Land-Use Change, Economic Globalization, and the Looming Land Scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 108, 2011, pp. 3465–3472.
38. Larsson S., Nilsson C. A Remote Sensing Methodology to Assess the Costs of Preparing Abandoned Farmland for Energy Crop Cultivation in Northern Sweden. *Biomass and Bioenergy*, vol. 28, 2005, pp. 1–6.
39. Lavrishchev A. *Economic Geography of the USSR*. Central Books Ltd., London, UK, 1969, 380 p.
40. Lerman Z., Csaki C., Feder G. *Agriculture in Transition: Land Policies and Evolving Farm Structures in Post-Soviet Countries* Lexington Books. Lanham, Boulder, New York, Toronto, Oxford, 2004, 254 p.
41. Lerman, Z., Shagaida, N. Land Olicies and Agricultural Land Markets in Russia. *Land Use Policy*, vol. 24, 2007, pp. 14–23.
42. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G. *Dynamics of Agricultural Lands in Russia in the Twentieth Century and Postagrogenic Restoration of Vegetation and Soils*. GEOS, Moscow, Russia, 2010, 416 p. (in Russian).
43. 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*, vol. 59, 2000, pp. 47–69.

44. Mac Nally R. Hierarchical Partitioning as an Interpretative Tool in Multivariate Inference. *Australian Journal of Ecology*, vol. 21, 1996, pp. 224–228.

45. Maddala G.S., Lahiri K. *Introduction to Econometrics*, 4th ed. Wiley, New York, NY, USA, 2006, 654 p.

46. Meyfroidt P., Lambin E.P. The Causes of the Reforestation in Vietnam. *Land Use Policy*, vol. 25, 2008, pp. 182–197.

47. Milanova E.V., Lioubimtseva E., Yu Tcherkashin P.A., Yanvareva L.F. Land Use/Cover Change in Russia: Mapping and GIS. *Land Use Policy*, vol. 16, 1999, pp. 153–159.

48. Millington J., Perry G., Romero-Calcerrada R. Regression Techniques for Examining Land Use/Cover Change. A case study of a Mediterranean Landscape. *Ecosystems*, vol. 10, 2007, pp. 562–578.

49. Müller D., Kuemmerle T., Rusu M., Griffiths P. Lost in Transition: Determinants of Post-Socialist Cropland Abandonment in Romania. *Journal of Land Use Science*, vol. 4, 2009, pp. 109–129.

50. Müller D., Munroe D.K. Changing Rural Landscapes in Albania: Cropland Abandonment and Forest Clearing in the Postsocialist Transition. *Annals of the Association of American Geographers*, vol. 98, 2008, pp. 855–876.

51. Müller D., Munroe D.K. Tradeoffs Between Rural Development Policies and Forest Protection: Spatially-Explicit Modeling in the Central Highlands of Vietnam. *Land Economics*, vol. 81, 2005, pp. 412–425.

52. Müller D., Sikor T. Effects of Postsocialist Reforms on Land Cover And Land Use in South-Eastern Albania. *Applied Geography*, vol. 26, 2006, pp. 175–191.

53. Müller D., Zeller M. Land Use Dynamics in the Central Highlands of Vietnam: a Spatial Model Combining Village Survey Data with Satellite Imagery Interpretation. *Agricultural Economics*, vol. 27, 2002, pp. 333–354.

54. Novozhenina O., Baharev I., Mollicone D. Hard-hock. *Gazeta.ru*, 2009. Available at: <http://www.gazeta.ru/business/2009/01/23/2928922.shtml>. (In Russian).

55. Olson D.M., Dinerstein E., Wikramanayake E.D., Burgess N.I.D., Powell G.V.N., Underwood E.C., D'amico J.A., Itoua I., Strand H.E., Morrison J.C., Loucks C.J., Allnutt T.F., Ricketts T.H., Kura Y., Lamoreux J.F., Wettengel W.W., Hedao P., Kassem K.R.. Terrestrial Ecoregions of the World: a New Map of Life on Earth. *BioScience*, vol. 51, 2001, pp. 933–938.

56. Peterson U., Aunap R. Changes in Agricultural Land Use in Estonia in the 1990 Detected with Multitemporal Landsat MSS Imagery. *Landscape & Urban Planning*, vol. 41, 1998, pp. 193–201.

57. Pontius R.G., Schneider L.C., 2001. Land-Cover Change Model Validation by an ROC Method for the Ipswich Watershed, Massachusetts, USA. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 85, pp. 239–248.

58. 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*, vol. 7, 2012, 024021.

59. 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. *Zemlya iz kosmosa – naibolee effektivnye resheniya – Earth from Space – the Most Effective Solutions*, 2012, no. 14, pp. 7–14. (In Russian).

60. Prishchepov A.V., Radeloff V.C., Dubinin M., Alcantara C. *The Effect of Landsat*

ETM/TM+ Image Acquisition Dates on Detection of Agricultural Land Abandonment in Eastern Europe. Remote Sensing of Environment. R Development Core Team, 2011, R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria. Available at: <http://www.R-project.org>.

61. *Regions of Russia. Socio-economic Indicators*. Russian Federal Service of State Statistics, Moscow, Russia, 2002. Available at: <http://www.gks.ru>.

62. Sedik D., Trueblood M., Arnade C. Corporate Farm Performance in Russia, 1991–1995: an Efficiency Analysis. *Journal of Comparative Economics*, vol. 27, 1999, pp. 511–533.

63. Sileika A.S., Stalnacke P., Kutra S., Gaigalis K., Berankiene L. Temporal and Spatial Variation of Nutrient Levels in the Nemunas River (Lithuania and Belarus). *Environmental Monitoring and Assessment*, vol. 122, 2006, pp. 335–354.

64. Smelansky I. *Biodiversity of Agricultural Lands in Russia: Current State and Trends*. IUCN – The World Conservation Union. Moscow, 2003, 52 p.

65. Shkolnikov V., McKee M. Le. Changes in Life Expectancy in Russia in the mid-1990s. *The Lancet*, vol. 357, 2001, pp. 917–921.

66. Tilman D. Global Environmental Impacts of Agricultural Expansion: the Need for Sustainable and Efficient Practices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 96, 1999, pp. 5995–6000.

67. Trueblood M.A., Arnade C. Crop Yield Convergence: How Russia's Yield Performance Has Compared to Global Yield Leaders. *Comparative Economic Studies*, vol. 43, 200159–81.

68. USGS, 2006. *Shuttle Radar Topography Mission, 3 Arc Second SRTM Model Unfilled Unfinished 2.0. Global Land Cover Facility*, University of Maryland, 2000, College Park, MA, USA, Available at: www.landcover.org.

69. Utkin A.I., Gulbe Y.I., Gulbe T.A., Ermolova L.S. Birch and Grey Alder Forests is Ecotone between Coniferous Forest Ecosystems and Agricultural Lands in the Central Region of the Russian Plain. *Lesovedenie – Russian Forest Sciences*, vol. 4, 2005, pp. 49–66 (in Russian).

70. 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*, vol. 22, 2007, pp. 1073–1087.

71. Van Eetvelde V., Antrop M. Analyzing Structural and Functional Changes of Traditional Landscapes – Two Examples from Southern France. *Landscape and Urban Planning*, vol. 67, 2004, pp. 79–95.

72. Vanwambeke S.O., Meyfroidt P., Nikodemus O. From USSR to EU: 20 years of Rural Landscape Changes in Vidzeme, Latvia. *Landscape and Urban Planning*, vol. 105, 2012, pp. 241–249.

73. Vitousek P.M., Mooney H.A., Lubchenco J., Melillo J.M. Human Domination of Earth's Ecosystems. *Science*, vol. 277, 1997, pp. 494–499.

74. VTU GSh, 1989a. *Military 1:100 000 Topographic Maps. Military-Topographic Department of the General Staff of the USSR*, Moscow, USSR. (in Russian).

75. VTU GSh, 1989b. *Military 1:500 000 Topographic Maps. Military-Topographic Department of the General Staff of the USSR*, Moscow, USSR. (in Russian).

76. Vuichard N., Ciais P., Wolf A. Soil Carbon Sequestration or Biofuel Production: New Land-Use Opportunities for Mitigating Climate over Abandoned Soviet Farmlands. *Environmental Science and Technology*, vol. 43, 2009, pp. 8678–8683.

77. White H. Maximum Likelihood Estimation of Misspecified Models. *Econometrica*, vol. 50, 1982, pp. 1–25.

78. *World Development Indicators*. The World Bank Development Data Group, Washington, DC, USA, 2008. Available at: <http://data.worldbank.org>.