

УДК 631.4

DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-5-36

Ссылки для цитирования:

Шилов П.М., Козлов Д.Н. Почвенно-агроэкологическая оценка пахотно-пригодности земель Валдайской возвышенности по материалам генерального межевания // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. Вып. 98. С. 5-36. DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-5-36

Cite this article as:

Shilov P.M., Kozlov D.N., Soil-agro-ecological assessment of the arable land of the Valdai Upland based on the general survey, Dokuchaev Soil Bulletin, 2019, V. 98, pp. 5-36, DOI: 10.19047/0136-1694-2019-98-5-36

**ПОЧВЕННО-АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ПАХОТНОПРИГОДНОСТИ ЗЕМЕЛЬ ВАЛДАЙСКОЙ
ВОЗВЫШЕННОСТИ ПО МАТЕРИАЛАМ
ГЕНЕРАЛЬНОГО МЕЖЕВАНИЯ**

© 2019 г. П. М. Шилов*, Д. Н. Козлов**

*Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Россия,
119017, Москва, Пыжевский пер, 7, стр. 2,*

**<https://orcid.org/0000-0003-4113-6396>, e-mail: www.stromboli@mail.ru,*

***<https://orcid.org/0000-0003-0103-0300>.*

*Поступила в редакцию 10.02.2019, после доработки 01.09.2019,
принята к публикации 05.09.2019*

Предложен методический подход к цифровому картографированию ареала пахотнопригодных земель в зависимости от их почвенно-агроэкологических и позиционных условий. Подход апробирован для модельного участка Валдайской возвышенности площадью 160 тыс. га. Мелкоочаговое земледельческое освоение слабобрасчлененных моренных равнин ограничено широким распространением избыточно увлажненных почв. Средствами канонического дискриминантного анализа рассчитана мера топографически обусловленной продолжительности переувлажнения почв на основе сопоставления морфологической диагностики их водного режима и стокоформирующих свойств рельефа по элементам сетки 30 × 30 м. Определен диапазон дренируемости для реконструированного по материалам Генерального межевания ареала пашни конца XVIII века, что позволило оценить потенциальный ареал пахотнопригодных земель в этот период. Площадь пашни, равновесная благоприятным условиям транспортной доступности и дренируемости

почв, составила 12 %. В то же самое время ее фактическая площадь, реконструированная по материалам Генерального межевания, составила 5 %. В условиях натурального хозяйства XVIII в. больше половины потенциально пригодных земель модельного региона оказались неосвоенными.

Ключевые слова: цифровая почвенная картография, Центрально-Лесной заповедник, природа и общество.

SOIL-AGRO-ECOLOGICAL ASSESSMENT OF THE ARABLE LAND OF THE VALDAI UPLAND BASED ON THE GENERAL SURVEY

P. M. Shilov^{*}, D. N. Kozlov^{}**

¹V.V. Dokuchaev Soil Science Institute,

Russia, 119017, Moscow, Pizhevskiy per., 7, build. 2

^{}<https://orcid.org/0000-0003-4113-6396>, e-mail: www.stromboli@mail.ru,*

*^{**}<https://orcid.org/0000-0003-0103-0300>*

Received 10.02.2019, Revised 01.09.2019, Accepted 05.09.2019

A methodical approach to the digital mapping of the arable lands area depending on their soil-agroecological and positional conditions is proposed. The approach was tested on a model plot located on the Valdai Upland with an area of 160 thousand ha. Small-scale agricultural development of the poorly dissected moraine plains is limited by the wide distribution of overmoistened soils. Using the traditional discriminant analysis, a measure of the topographically determined duration of soil overmoistening was calculated based on a comparison of the morphological diagnostics of water regime and topography runoff properties according to the grid elements of 30 × 30 m. The drainability range was determined for the arable lands of XVIII century, reconstructed according to the materials of the General Survey. This allowed us to determine the potential area of the arable lands for this period. The area of arable lands, which is characterized by favorable conditions of transport accessibility and soil drainability, was 12 %. At the same time, reconstructed area contained 5 %. In the subsistence economy of the XVIII century more than a half of the potential arable lands of the model region turned out to be undeveloped.

Keywords: digital soil mapping, Central Forest Reserve, nature and society.

ВВЕДЕНИЕ

Актуальные исследования по проблеме *land use / cover change (LUCC)* направлены на разработку прогностических моделей трансформации структуры землепользования при разных сценариях климатических и социально-экономических изменений ([Briner et al., 2012](#); [Ellis, 2015](#); [Guest, Lambin, 2001](#); [Hietel et al., 2007](#); [Lobell et al., 2007](#); [Scherer et al., 2018](#); [van Vliet et al., 2015](#)). Помимо описания фундаментальных взаимодействий в системе общество-природа, подобные модели востребованы в задачах территориального планирования и земельной политики ([Briassoulis, 2000](#); [Briassoulis, 2008](#); [Diogo et al., 2015](#); [Terres et al., 2015](#)).

Структура угодий в таких междисциплинарных работах рассматривается как результат совокупного влияния природных и социально-экономических факторов ([Матасов, 2018](#); [Lambin, Geist, 2006](#); [Stolbovoy, McCallum, 2002](#); [Turner et al., 1995](#); [van Vliet et al., 2015](#)). Природное своеобразие естественного ландшафта задает его потенциальные производственные возможности ([Мильков, 1973](#); [Низовцев, 2010](#); [Трапезникова, 2017](#); [Fisher et al., 2005](#); [Lobell et al., 2007](#)), а социально-экономические факторы определяют специализацию и интенсивность хозяйственного использования относительно сложившейся системы расселения, транспортной сети, рынков труда, сбыта и т.п. ([Казьмин, 2017](#); [Люри и др., 2010](#); [Нефедова, 2008](#); [Antonov et al., 2005](#); [Hietel et al., 2007](#); [Friedmann, 1966](#); [Schaller et al., 2018](#)). В ходе исследования каждая группа факторов представляется через набор независимых характеристик (климатических, почвенно-агроэкологических, социально-экономических, экономико-географических и др.) с идентификацией их индивидуального и совокупного вклада в структуру и динамику землепользования в различных пространственно-временных масштабах ([Parker et al., 2003](#)).

Наиболее часто используются региональные сравнения по обобщенным показателям контрастных участков ([Plieninger et al., 2016](#); [Schaller et al., 2018](#)), а также картографическое моделирование структуры землепользования конкретной территории ([Baumann et al., 2011](#); [Prishchepov et al., 2015](#)) и ее трансформации в изменяющихся условиях ([Prishchepov et al., 2013](#); [Schulp et al.,](#)

2019). Основой моделирования выступает пространственная сетка (*grid*) с регулярным шагом, элементам которой сопоставляется, с одной стороны, тип угодья, а с другой – потенциально определяющие его факторы (рис. 1А). Сопоставление вклада факторов в структуру землепользования графически представлено на примере трех гипотетических примеров: 1) угодья строго детерминированы факторами (рис. 1Б); 2) угодья частично детерминированы факторами (рис. 1В); 3) факторы не влияют на территориальную организацию хозяйства (рис. 1Г).

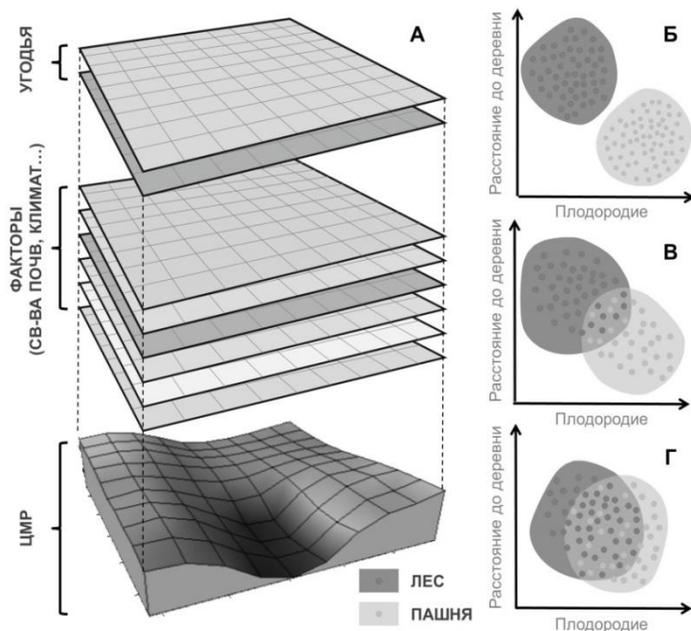


Рис. 1. Схема картографического моделирования взаимодействий в системе “природа – общество”: А – представление данных в виде сеток с регулярным шагом; Б, В, Г – соотношение угодий в пространстве природно-позиционных факторов (оси – факторы, точки – угодья).

Fig. 1. Scheme of cartographic modeling of interactions in the system “nature – society”: А – presentation of data in the form of grids with a regular step; В, С, D – ratio of sites in the space of natural-position factors (axis – factors, points – sites).

Такая схема способствует внедрению цифровых методов в описание и объяснение пространственных аспектов взаимодействия общества и природы ([Koomen et al, 2007](#); [Noszczyk, 2018](#)) и, в случае выявления достоверных отношений (рис. 1Б, 1В), позволяет прогнозировать трансформацию землепользования при разных сценариях изменений управляющих факторов ([Plieninger et al., 2016](#)). Отдельные методические вопросы отрабатываются в разномасштабных исследованиях с глобальным ([Ellis et al., 2010](#)), региональным ([Климанова, Козлов, 2015](#); [Schulp et al., 2019](#)) и локальным охватом ([Матасов, 2018](#)).

Для комплексного использования данного подхода особенно в целях сценарного прогноза еще предстоит преодолеть ряд методических проблем. К наиболее важным из них относятся: 1) корректное сопоставление факторов разной природы по элементам сетки с сопоставимой детальностью (ретроспективных, актуальных и прогнозных), 2) особенности различных способов вычленения их индивидуального и совокупного вклада в дифференциацию угодий, 3) интерпретация неопределенности выявленных отношений (рис. 1Г) как результата неравновесности причинно-следственных связей в системе землепользования, либо как результата неполноты состава факторной модели, принятой в исследовании.

Цель данной работы – рассмотреть эти и другие методические вопросы на примере цифрового картографирования ареала пахотнопригодных земель Валдайской возвышенности второй половины XVIII в. в зависимости от их почвенно-агроэкологических и позиционных условий.

Интерес именно к этому периоду и региону определен высокой детерминированностью сельского хозяйства природными особенностями Нечерноземья в условиях феодального характера отношений ([Милов, 2006](#); [Трапезникова, 2014](#)), а также доступностью материалов Генерального межевания – самых ранних документальных источников, пригодных для картографических реконструкций структуры землепользования ([Гедымин, 1960](#); [Кусов, 1993](#)). На основании выполненного анализа дан прогноз пахотнопригодных земель и проведено их сопоставление с фактически реконструированной площадью пашни.

В методическом плане решаются вопросы: 1) цифрового выражения почвенно-агроэкологических условий для элементов сетки на основе совместного анализа массива почвенных описаний и топографических условий, 2) оценки индивидуального и совокупного вклада двух независимых факторов в объяснение фактической структуры пашни на основе дискриминантного анализа, 3) выделение земель с различной пригодностью для пашни.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Анализ выполнен для участка Валдайской возвышенности площадью 160 тыс. га, охватывающего Центрально-Лесной государственный природный биосферный заповедник и его охранную зону. В его ландшафтной структуре доминируют плоские и пологоволнистые слаборасчлененные вторичные моренные равнины (рис. 2) с широколиственно-еловыми лесами на дерново-подзолистых и торфянисто-подзолистых почвах и крупными массивами верховых болот ([Структура и продуктивность..., 1973](#)).

Согласно агроприродному и сельскохозяйственному районированию Нечерноземья регион относится к Валдайскому округу Западной прохладной провинции ([Агроприродное..., 1987](#)). В условиях относительно короткого вегетационного периода (105–155 дней) и низкой теплообеспеченности (сумма активных температур 1600–2000 °С) возможно выращивание скудного набора зерновых и технических культур: рожь, ячмень, гречиха, овес, лен-долгунец. Относительно большое среднегодовое количество атмосферных осадков (747 мм), низкая испаряемость (значение гидротермического коэффициента Селянинова составляет 1.8), плохой дренаж способствуют накоплению избыточной влаги в почве и их переувлажнению. В конце XVIII в. климатическая обстановка Северной Евразии определяла более ограниченные агроклиматические ресурсы ведения сельского хозяйства ([Mann et al., 2009](#)). По существующим оценкам в течение Малого ледникового периода летние температуры западных и центральных районов Русской равнины были ниже на 2 °С, а сумма осадков была выше на 25–100 мм относительно современных ([Климанов и др., 1995; Новенко, 2016](#)).

Наряду с агроклиматическими условиями развитие земледелия в регионе ограничивалось его экономико-географическим положением. В конце XVIII в. территория оставалась удаленной от основных центров социально-экономической активности Российской империи и располагалась на стыке Смоленской, Тверской и Псковской губерний. В данный период межрегиональный рыночный обмен еще не сформировался ([Ковальченко, Милов, 1974](#)). В связи с этим земледелие составляло основу натурального хозяйства и практически полностью обеспечивало потребности в продовольствии и кормах. Другие типы землепользования (заготовка древесины, сбор грибов и ягод, рыболовство) имели подчиненное значение, как и тяготеющие к пригородам кустарные промыслы и ремесла ([Каримов, Носова, 1999](#)).

Природные и социально-экономические условия определили для модельного участка более низкую плотность населения (0.02 чел/км²) и долю пашни в структуре угодий (5 %), чем в среднем по Осташковскому (4 чел/км², 15 %), Бельскому (3.9 чел/км², 16 %) и Ржевскому (7.6 чел/км², 44 %) уездам. Высокая степень детерминированности земледелия природными условиями Валдайского водораздела определила выбор данного региона для апробирования методики количественного анализа природно-позиционных факторов внутриландшафтной дифференциации земледелия.

В работе принято, что ареал пашни соответствует землям с благоприятными почвенно-агроэкологическими и позиционными условиями (рис. 1). Плодородие почв определяет потенциальную площадь пахотнопригодных земель, а их удаленность от сложившейся сети поселений и дорог сокращает ареал пашни до доступного для возделывания ([Милов, 2006](#)). При этом область фактической пашни в пространстве двух факторов определяет пригодный для земледелия диапазон почвенно-агроэкологических и позиционных условий. Все территориальные единицы внутри этой области с иным видом хозяйственного использования потенциально пригодны для земледелия и могут быть идентифицированы числовыми методами.

Общий порядок исследования включает четыре этапа:

- 1) реконструкция системы расселения и структуры землепользования времен Генерального межевания (рис. 2);

- 2) оценка почвенно-агроэкологических и позиционных условий земель по элементам регулярной сетки (рис. 3);
- 3) анализ природно-позиционной обусловленности фактического ареала пашни (рис. 4);
- 4) оценка пахотнопригодности земель по совокупности их природно-позиционных условий (рис. 5).

Реконструкция системы расселения и структуры землепользования выполнена в среде ГИС на основе планов Генерального межевания (1778–1779) масштаба 1 : 8 400¹ в несколько этапов ([Козлов и др., 2013](#); [Матасов, 2016](#)): 1) создание по межевым измерениям сводной схемы границ землевладений; 2) сведение планов землевладений (91 шт.) в единое покрытие; 3) трансформация сводного изображения к современной географической основе по 267 опорным точкам; 4) реконструкция системы расселения и структуры угодий в масштабе 1 : 10 000.

Система расселения включает положение населенных пунктов, численность их жителей, сеть проселочных дорог (рис. 2). Структура землепользования представлена категориями – пашня, лес, сенокосы и болота. Под пашней в практике Генерального межевания понимается общая площадь периодически возделываемых земель ([Милов, 1965](#)). При реконструкции их ареала помимо глазомерных контуров межевых планов учитывались указания экономических примечаний о суммарной площади пашни в составе землевладений ([Милов, 1965](#); [Кусов, 1993](#)).

Структура землепользования приведена к растровой сетке 30 × 30 м. Позиционные условия ее каждого элемента выражены через кратчайшее расстояние от него до проселочной дороги. Почвенно-агроэкологическая оценка элементов сетки базируется на выявлении степени дренируемости почв как важнейшего показателя их плодородия.

В условиях избыточного атмосферного увлажнения Нечерноземья для пахоты пригодны наиболее дренируемые почвы, где за счет оттока влаги формируется благоприятный водно-воздушный режим корнеобитаемого слоя ([Зайдельман, 1975](#); [Прохорова, Сорокина, 1975](#); [Романова и др., 2011](#)). Сезонное или по-

¹ РГАДА, ф. 1354, оп. 504, 503, 446

стоянное переувлажнение почв негативно влияет на развитие сельскохозяйственных культур и условия их возделывания. За счет поздних сроков наступления физической готовности почвы сокращается длительность вегетационного периода, вымокают посевы, что в условиях натурального хозяйства XVIII в. означало некомпенсируемую потерю урожая ([Рубинштейн, 1957](#); [Милов, 2006](#)).

Степень дренируемости почв определена на основе морфологической диагностики продолжительности их переувлажнения ([Романова и др., 2011](#)). Глееватые и глеевые горизонты свидетельствуют о сезонном либо постоянном застое влаги в зависимости от геоморфологических, литологических и гидрогеологических условий. Представительный массив полевых описаний сведен к четырем категориям почв шкалы возрастающей длительности избыточного увлажнения ([Общесоюзная инструкция..., 1973](#); [Указания по диагностике..., 1982](#); [Оглезнев, Сапожников, 2018](#)):

- дерново-подзолистые без оглеения (*Пд*) – дренируемые почвы без признаков гидроморфизма (нормальное увлажнение);
- дерново-подзолистые глееватые (*Пд_г*) – временно избыточно увлажненные почвы, сроки их поспевания весной запаздывают на 5–10 дней, а в особо влажные годы – до 15–20 дней;
- дерново-подзолистые глеевые (*ПдГ*) – длительно избыточно увлажненные почвы в течение значительной части вегетационного периода, в отдельные годы вода стоит на поверхности до конца мая;
- торфяно-подзолистые глеевые (*Пб*) – избыточно увлажненные почвы в течение всего вегетационного периода.

Однородный чехол пылеватых покровных суглинков модельного участка нивелирует литологическую неоднородность моренных равнин и определяет геоморфологический фактор ([Пузаченко, Козлов, 2005](#)) в качестве ведущего в отношении внутриландшафтного разнообразия степени увлажнения и водного режима почв ([Пузаченко и др., 2006](#)). Картографическое выражение согласованной изменчивости почвенного гидроморфизма и стокоформирующих свойств рельефа ([Козлов, Сорокина, 2012](#)) получе-

но на основе сопряженного анализа более 1500 ранжированных описаний с топографическими особенностями земной поверхности. Использована цифровая модель рельефа (ЦМР), построенная по высотным отметкам крупномасштабной топографической карты. При пространственном разрешении ЦМР 30×30 м расчетные морфометрические величины ([Сысуев, 2003](#); [Florinsky, 2016](#)) передают особенности элементов земной поверхности с размерами более 90×90 м, что соответствует масштабному уровню мезорельефа.

Заведомо не полный состав картографической модели позволяет объяснить только часть пространственной изменчивости целевых свойств. Совокупное влияние микрорельефа, литологической неоднородности почвообразующих пород, а также ошибки почвенной диагностики и искажения ЦМР определяют пересечение *Пд*, *Пдг*, *ПдГ* и *Пб* почв в пространстве морфометрических характеристик рельефа по аналогии с пересечением угодий в пространстве природных и социально-экономических факторов (рис. 1В, 1Г). Степень изолированности категорий в признаковом пространстве может служить мерой детерминированности модели и ее прогностической силы, как в отношении пространственной структуры гидроморфизма почв, так и в отношении структуры землепользования.

При высоком разнообразии численных методов описания геометрии признакового пространства в данной работе использован канонический дискриминантный анализ ([Джонгман, 1999](#); [Пузаченко, 2004](#)). Благодаря простоте математической модели метод отличается высокой интерпретируемостью получаемых результатов ([Webster, Burrough, 1974](#); [Пузаченко и др., 2006](#); [Козлов и др., 2008](#); [Сорокина, Козлов, 2009](#); [Солодовников, Рожков, 2019](#)). С его помощью в отношении категорий почвенного увлажнения получены: 1) сравнительные оценки информативности различных стокоформирующих признаков, 2) степень разделимости *Пд*, *Пдг*, *ПдГ* и *Пб* почв в пространстве наиболее значимых из них, 3) условные вероятности встречаемости каждой категории при сочетании значений факторов.

Кроме того, метод позволяет численно выразить совместное участие нескольких признаков в разделимость дискриминируемых

категорий ([Козлов, Сорокина, 2012](#)). Например, форма и наклон, являясь независимыми стокоформирующими свойствами земной поверхности ([Сысуев, 2003](#)), в отношении почвенного увлажнения дополняют друг друга. Дренируемые почвы характерны для рассеивающих сток выпуклых склонов, а гидроморфные – для субгоризонтальных вогнутых понижений, концентрирующих сток. Канонический анализ позволяет найти линейную комбинацию показателей формы и наклона (оси канонических координат), в диапазоне которой средние значения P_d , $P_{d\gamma}$, $P_{d\Gamma}$ и P_b почв наиболее отличаются (рис. 3Б). При соответствующем обосновании канонические переменные могут трактоваться как интегральные топографические факторы дифференциации почвенного увлажнения. В разных региональных условиях число и состав факторов может различаться.

На следующем этапе проведен дискриминантный анализ природно-позиционной обусловленности фактического ареала пашни. Пахотные угодья противопоставлялись лесу (рис. 4) с оценкой разделимости двух видов хозяйственного использования в пространстве топографической дренируемости и удаленности от дорог, а также сравнительной оценкой их значимости.

Итоговая оценка пахотнопригодности земель по совокупности их природно-позиционных условий (рис. 5) рассчитана для каждого пикселя на основе сравнения дистанций Махаланобиса от него до центра области каждого вида землепользования в пространстве факторов (рис. 4).

$$P_{\pi} = \frac{e^{(0,5 \cdot D_{\pi}^2)}}{e^{(0,5 \cdot D_{\pi}^2)} + e^{(0,5 \cdot D_{\pi}^2)}}, \text{ где} \quad (1)$$

$D_{\pi, \lambda} = \sqrt{(x_i - \bar{x}_{\pi, \lambda})(y_i - \bar{y}_{\pi, \lambda})} S^{-1}$ – дистанция пикселя до центра класса пашня (π) и лес (λ) в пространстве факторов,

x_i, y_i – значения фактора в точке i ,

\bar{x}, \bar{y} – средние значения массива факторов,

S^{-1} – обратная ковариационная матрица.

Условная вероятность пахотнопригодности (P_{π}) изменяется в непрерывной шкале от 0 до 1: 0 – лес, 1 – пашня (рис. 5). Степень пригодности задана градациями: 0–0.25 (непригодные); 0.25–0.50 (малопригодные); 0.50–0.75 (ограниченно пригодные); 0.75–1

(пригодные). Итоговая карта пахотнопригодности сравнивалась с фактически реконструированным ареалом пашни конца XVIII в.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Ареал реконструированной пашни конца XVIII в. представлен на рисунке 2. Общая площадь пашни 11 тыс. га или 5 % площади междуречных равнин. Структура сельскохозяйственных угодий имела очаговый характер, концентрирующихся вокруг деревень. Средняя численность их жителей 43 человека, средний размер возделываемого участка 30 га.

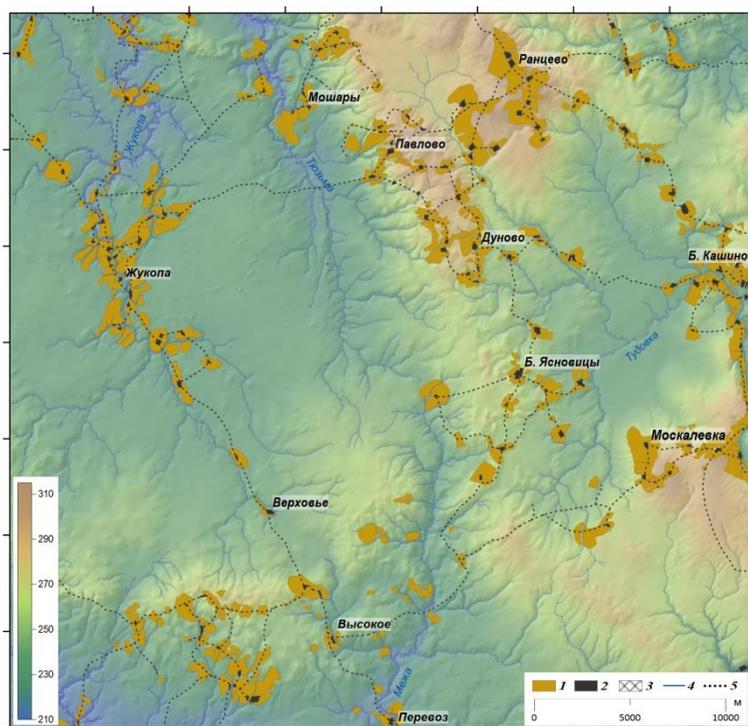


Рис. 2. Реконструкция структуры пахотных земель конца XVIII в. по материалам Генерального межевания: 1 – ареал пашни, 2 – населенные пункты, 3 – водотоки, 4 – проселочные дороги.

Fig. 2. Reconstruction of arable land structure at the end of the 18th century based on the materials of the General Land Survey: 1 – arable land area, 2 –

settlements, 3 – watercourses, 4 – country roads.

Очаговый характер земледелия обусловлен спорадическим распространением дренируемых почв на фоне регионального избыточного атмосферного увлажнения Валдайской возвышенности (Каримов, Носова, 1999). Топографические условия объясняют лишь 63 % их изменчивости, остальные 37 % связаны с особенностями литологических и гидрогеологических условий (мощность и состав покровных четвертичных отложений, разгрузки грунтовых вод), особенностями микрорельефа и демутационными сукцессиями растительных сообществ. Из пятнадцати использованных топографических характеристик наиболее значимы (табл. 1) – крутизна и форма земной поверхности, а также площадь и средний уклон водосборного бассейна (топографический индекс влажности).

Дренируемые дерново-подзолистые почвы характерны для полого-покатых, выпуклых придолинных склонов (рис. 3А). Длительный застой влаги характерен для почв субгоризонтальных моренных и водно-ледниковых равнин с дерново-подзолистыми глеевыми и торфянисто-подзолистыми почвами. Промежуточное положение занимают слабонаклонные моренные равнины с замедленным дренажом и дерново-подзолистыми глееватыми почвами.

Разнообразие факторов сточно-натеchnого увлажнения представлено одной интегральной переменной (ТФД – топографический фактор дренируемости почв), объясняющей 52 % изменчивости водного режима почв:

$$\text{ТФД} = 0.4 \times \text{SLP} + 0.15 \times \text{TPI}_{50\text{м}} + 0.35 \times \text{TPI}_{100\text{м}} - 0.57 \times \text{TWI} \quad (2)$$

Расчетные значения ТФД упорядочивают почвы возрастающего ряда увлажнения (рис. 3Б). Область положительных значений соответствует дренируемым дерново-подзолистым (1.2...2.0) и дерново-подзолистым глееватым почвам (0.3...1.2), отрицательные значения (-2...-0.6) – торфянисто-подзолистым (рис. 3А, 3Б). Промежуточное положение (-0.6...0.3) занимают дерново-подзолистые глеевые почвы. Степень дренируемости почв (I) прямо пропорциональна крутизне склона, выпуклости элементов макро- и мезорельефа и обратно пропорциональна отношению водосборной площади и крутизны водосбора.

Таблица 1. Значимые топографические факторы сточно-натежного увлажнения
Table 1. Significant topographic factors of in-situ humidification

Морфометрическая величина	Формула	F-критерий*	Уровень значимости	Почвы			
				Пд	Пдг	Пб	
Крутизна (SLP), ° (Florinsky, 2016)	$\arctan\sqrt{p^2 + q^2}$ p, q – частные производные поверхности по x и y	15.1	0.00	1.24	1.08	1.07	0.28
Топографический индекс превышений (ТРИ) в окрестности..., м (Weiss, 2000)	50	25.8	0.00	0.1	0.02	-0.04	-0.02
	1000	25.5	0.00	4.22	0.68	-0.54	-0.69
Топографический индекс влажности (TWI), безразмерный (Florinsky, 2016)	$\ln\left(\frac{\alpha}{\tan\beta}\right)$ α – площадь водосборного бассейна, β – крутизна	32.1	0.00	11.99	12.8	13.32	14.88

Примечание: *F-критерий (критерий Фишера) – параметрический критерий оценки значимости факторов; рассчитывается как отношение межгрупповой и внутригрупповой дисперсий ([Дэвис, 1990](#)).

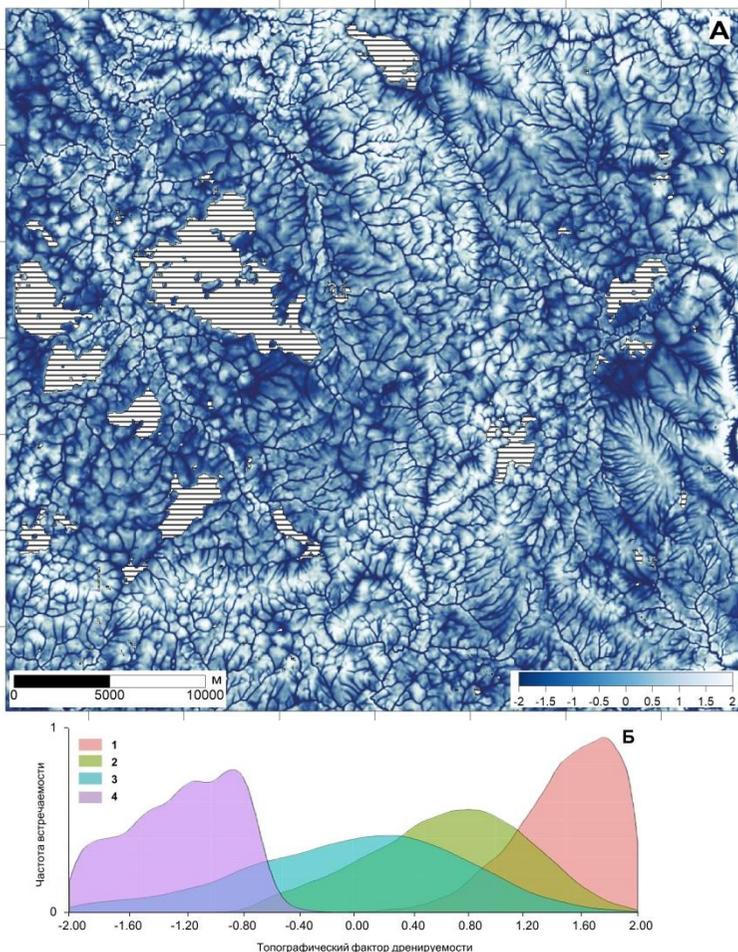


Рис. 3. Топографически обусловленная дренируемость почв. А – карта дренируемости почв; Б – распределение категорий гидроморфизма почв на шкале дренируемости: 1 – Пд, 2 – ПдГ, 3 – ПдГ, 4 – Пб. Болота обозначены штриховкой.

Fig. 3. Topographically conditioned soil drainability. А – soil drainability map; Б – soil hydromorphism categories distribution on the drainage scale: 1 – Пд, 2 – ПдГ, 3 – ПдГ, 4 – Пб. Swamps are marked with hatching.

Выражение [2] позволяет рассчитать значения топографиче-

ского фактора дренируемости для каждого элемента регулярной сетки. Полученная карта (рис. 3А) отражает топографически обусловленное разнообразие водного режима почв. Формирование почв с застойным водным режимом (*ПдГ* и *Пб*) соответствует недренируемым участкам с замедленным оттоком влаги, а также водосборным понижениям и ложбинам концентрирующим сток.

Общая доля таких участков (значения ТФД < 0.3) составляет 70 %. Напротив, полого-покатые рассеивающие склоны моренных гряд с *Пдг* и *Пд* почвами обладают максимальной степенью дренируемости. На их долю приходится 30 %. Отчетливо проявляется густая сеть ложбин, рассекающих дренируемые склоны и определяющих мелкоочаговый характер земледелия.

Совместно удаленность от дорог и пространственные различия водного режима почв объясняют 68 % структуры землепользования (рис. 4), причем точность описания ареала пашни (90 %) выше, чем лесных угодий (63 %). Т. е. пашня практически полностью изолирована в пространстве дискриминирующих факторов (рис. 4), в то время как 27 % площади лесов обладают той же совокупностью признаков, что и пашня, и потенциально пригодна к распашке.

В целом непригодные земли занимают 51 % пространства междуречных равнин, малопригодные – 23 %, ограниченно пригодные – 14 %, пригодные – 12 %.

Площадь пахотнопригодных земель (12 %) в два раза превышает площадь фактической пашни конца XVIII в. (5 %). Недоиспользованная емкость пахотных земель связана с влиянием региональных социально-экономических факторов, не учитываемых при агроэкологической оценке земель в локальном масштабе. К числу таких факторов относится периферийное положение региона относительно крупных центров социально-экономической активности (Ржев, Осташков, Торопец), определивших низкую плотность населения в исследуемом регионе.

Позиционные условия значимее фактора дренируемости (56 % против 44 %). В условиях низкого уровня агротехнологий XVIII в. затраты на обработку зависели от транспортной доступности участка. Чем поле ближе к проселочной дороге, тем меньше трудозатрат несли крестьяне при его возделывании. Основная до-

ля пашни (80 %) сосредоточена на расстоянии 500 м от дороги. Следует учитывать, что сложившаяся сеть расселения и связующих их дорог вторична по отношению к почвенно-агроэкологическим условиям, и высокая значимость транспортной доступности не более чем следствие принятой схемы анализа.

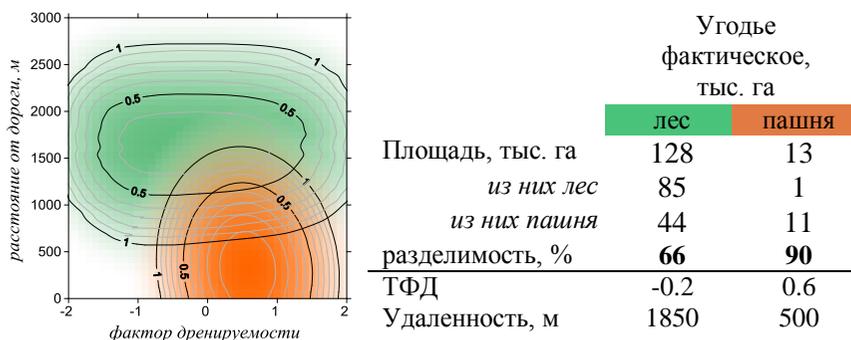


Рис. 4. Положение видов землепользования в пространстве факторов и оценка их разделимости.

Fig. 4. Position of land uses in the space of factors and assessment of their separability.

При расчете пахотнопригодности без учета транспортной удаленности от сети проселочных дорог благоприятная для пашни площадь сокращается до 6 %. Это подчеркивает фактическое использование под пашню не только самых дренируемых почв, но и ограниченно-пригодных, хотя и транспортно доступных участков.

Полученные результаты демонстрируют возможности предложенного методического подхода к цифровому моделированию степени пригодности земель под пашню (рис. 5). За границами исследования пока остаются вопросы ретроспективного анализа и сценарного прогноза трансформации структуры землепользования под воздействием внешних климатических и социально-экономических изменений.

В работе современные почвенно-агроэкологические условия сопоставлены структуре землепользования более чем 200-летней давности. В отсутствие достоверных сведений о климатических и почвенно-агроклиматических условиях Малого ледникового пе-

риода такое допущение корректно в случае линейной зависимости между ТФД (рис. 3) и климатом, когда изменение единицы тепловлагообеспеченности приводит к одинаковому изменению значений на всем диапазоне ТФД.

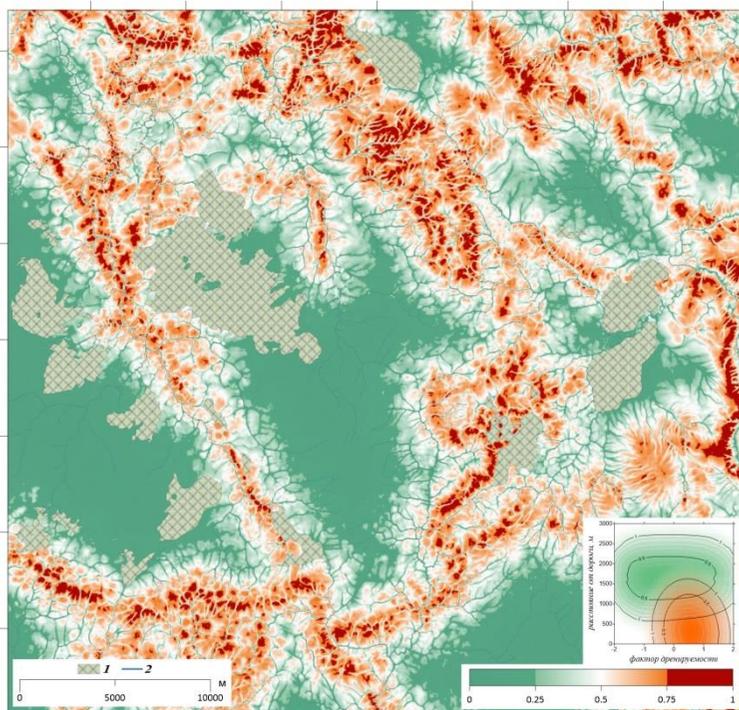


Рис. 5. Степень пригодности земель под пашню. Болота обозначены штриховкой.

Fig. 5. Suitability of the territory for using as arable land. Swamps are marked with hatching.

В противном случае, полученные оценки будут искажены, поскольку условная вероятность пахотнопригодности в выражении [2] учитывает положение каждого пикселя относительно центров видов землепользования в интервале значений ТФД, взаиморасположение которых будет меняться. Безусловно, задачи ретроспективного анализа и сценарного прогноза изменения ареала пашни

под воздействием климата требуют дополнительных исследований, и сама схема анализа должна требовать синхронизации периодов оценки почвенно-агроэкологических условий и фактического использования земель.

Вместе с тем за прошедшие 240 лет площадь пашни в пределах модельного региона многократно сократилась в результате социально-экономических причин регионального и глобального масштаба ([Люри и др., 2010](#)). Учет этих руководящих особенностей требует включения в ретроспективную модель показателей демографической ситуации, производительности труда, удаленных связей с центрами социально-экономической активности и др. ([Lambin, Geist, 2006](#)). Дополнительный предмет исследований составляет учет функциональных связей разных видов землепользования в структуре хозяйства различных укладов и, в частности, соотношение натуральной и товарной продукции растениеводства, животноводства, ремесел и отхожих промыслов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что структура пахотных угодий Валдайской возвышенности конца XVIII в. детерминирована на 90 % природно-позиционными факторами. Совокупность условий переувлажнения почв сведена к одной непрерывной переменной – топографическому фактору дренируемости. Данный подход к почвенно-агроэкологической оценке обеспечивает простоту и сопоставимость расчетов топографически обусловленной пашни в условиях широкого распространения гидроморфизма почв Нечерноземья.

Некомпенсируемые потери урожая на полугидроморфных и гидроморфных землях ограничивают их освоение. Фактическая площадь пашни конца XVIII в. составила 5 %. Площадь пахотно-пригодных земель с преобладанием дренируемых дерново-подзолистых почв составляет 12 %. В условиях жесткой детерминированности природно-позиционными условиями и ограниченного обмена продуктами больше половины потенциально пригодных земель остались неосвоенными.

Преимущество предложенного подхода заключается в возможности цифрового картографического моделирования ареала земель при совокупном влиянии разнообразных факторов. Даль-

нейшее развитие подхода связано с учетом удаленных связей в региональном и глобальном масштабе, ретроспективным анализом и сценарным прогнозом трансформации структуры угодий в зависимости от совместного действия природных, экономико-географических, социальных, технологических и политических факторов. Совершенствование знаний о фундаментальных взаимодействиях в системе общество-природа позволит снизить риски при управлении землепользованием в системе территориального планирования.

БЛАГОДАРНОСТЬ

Авторы благодарят А.А. Голубинского за помощь в выявлении и подготовке к копированию материалов Генерального межевания в РГАДА, проф. Н.В. Козлову за ценные консультации в области общественных и экономических отношений в России XVIII в. Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ №19-05-00233-а, №14-05-00568-а и №12-06-33035-мол-а-вед.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агроприродное и сельскохозяйственное районирование Нечерноземной зоны европейской части РСФСР. М.: Изд-во МГУ, 1987. 270 с.
2. *Гедымин А.В.* Опыт использования материалов русского межевания в географических исследованиях для сельскохозяйственных целей // Вопросы географии. 1960. Т. 50. С. 147–171.
3. *Джонгман Р.Г.Г.* Анализ данных в экологии сообществ и ландшафтов. М.: РАСХН, 1999. 306 с.
4. *Дэвис Дж.С.* Статистический анализ данных в геологии, книга 1. М.: Недра, 1990. 319 с.
5. *Зайдельман Ф.Р.* Режим и условия мелиорации заболоченных почв. М.: Колос, 1975. 321 с.
6. *Казьмин М.А.* Трансформация сельскохозяйственного землепользования в регионах России (вторая половина XIX – начало XXI вв.): Дис. ... д.г.н. М., 2017. 401 с.
7. *Каримов А.Э., Носова М.Б.* Использование земель и воздействие на природу Центрально-Лесного заповедника (конец 16 начало 20 вв.) // Сукцессионные процессы в лесах заповедников России и сохранение биологического разнообразия. СПб.: РБО, 1999. С. 299–310.

8. *Климанов В.А., Хотинский Н.А., Благовещенская Н.В.* Колебания климата за исторический период в центре Русской равнины // Изв. РАН. Сер. геогр. 1995. № 1. С. 89–96.
9. *Климанова О.А., Козлов Д.Н.* Формализованные подходы к оценке неопределенности географического районирования // Вестник Московского университета. География. 2015. № 3. С. 3–11.
10. *Ковальченко И.Д., Милов Л.В.* Всероссийский аграрный рынок. XVIII – начало XX века. Опыт количественного анализа. М.: Наука, 1974. 399 с.
11. *Козлов Д.Н., Пузаченко М.Ю., Федяева М.В., Пузаченко Ю.Г.* Отображение пространственного варьирования свойств ландшафтного покрова на основе дистанционной информации и цифровой модели рельефа // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2008. № 4. С. 112–124.
12. *Козлов Д.Н., Глухов А.В., Голубинский А.А., Хитров Д.А.* Роль природно-позиционных условий в дифференциации землепользования Европейской России конца XVIII в. – методика цифрового анализа материалов Генерального межевания // Русь, Россия: Средневековье и Новое время. Выпуск 3: Третьи чтения памяти академика Л.В. Милова. М. 2013. С. 26–33.
13. *Козлов Д.Н., Сорокина Н.П.* Традиции и инновации в крупномасштабной почвенной картографии // Цифровая почвенная картография: теоретические и экспериментальные исследования. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2012. С. 35–57.
14. *Кусов В.С.* Качество карт межеваний и возможности их использования для ретроспективного картографирования // Вестник Московского университета. География. 1993. № 3. С. 66–76.
15. *Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г.* Динамика сельскохозяйственных земель в России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
16. *Матасов В.М.* Методические аспекты анализа пространственной структуры угодий Касимовского уезда в конце XVIII в. // Геодезия и картография. 2016. № 3. С. 59–64. DOI: [10.22389/0016-7126-2016-909-3-56-61](https://doi.org/10.22389/0016-7126-2016-909-3-56-61).
17. *Матасов В.М.* Изменение структуры землепользования в ландшафтах Рязанской Мещеры с конца XVIII века: Дис. ... к.г.н.: М., 2018. 220 с.
18. *Милов Л.В.* Исследование об “экономических примечаниях” к Генеральному межеванию. М.: Изд-во МГУ, 1965. 152 с.
19. *Милов Л.В.* Великорусский пахарь и особенности российского исторического процесса. М.: Российская политическая энциклопедия (РОССПЭН), 2006. 576 с.

20. *Мильков Ф.Н.* Человек и ландшафты: очерки антропогенного ландшафтоведения. М.: Мысль, 1973. 224 с.
21. *Нефедова Т.Г.* Российская периферия как социально-экономический феномен // Региональные исследования. 2008. № 5. С. 14–31.
22. *Низовцев В.А.* К теории антропогенного ландшафтогенеза // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 5–10.
23. *Новенко Е.Ю.* Изменения растительности и климата Центральной и Восточной Европы в позднем плейстоцене и голоцене в межледниковые и переходные этапы климатических макроциклов. М.: ГЕОС, 2016. 228 с.
24. *Общесоюзная инструкция по почвенным обследованиям и составлению крупномасштабных почвенных карт землепользований.* М.: Колос, 1973. 96 с.
25. *Оглезнев А.К., Сапожников П.М.* Оценка влияния контрастной структуры почвенного покрова на нормативную урожайность сельскохозяйственных культур // Вопросы оценки. 2018. № 3. С. 36–47.
26. *Прохорова З.А., Сорокина Н.П.* Влияние компонентов элементарной структуры дерново-подзолистых почв на продуктивность сельскохозяйственных растений // Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 1975. № 8. С. 178–190.
27. *Пузаченко Ю.Г.* Математические методы в экологических и географических исследованиях. М.: Издательский центр “Академия”, 2004. 416 с.
28. *Пузаченко Ю.Г., Козлов Д.Н.* Геоморфологическая история развития территории Центрально-Лесного заповедника // Летопись природы Центрально-Лесного государственного природного биосферного заповедника. Книга 44 за 2004 год. Пос. Заповедный, 2005. с. 33–54.
29. *Пузаченко М.Ю., Пузаченко Ю.Г., Козлов Д.Н., Федяева М.В.* Картографирование мощности органогенного и гумусового горизонтов лесных почв и болот южнотаежного ландшафта (юго-запад Валдайской возвышенности) на основе трехмерной модели рельефа и дистанционной информации (Landsat 7) // Исследование Земли из космоса. 2006. № 4. С. 70–79.
30. *Романова Т.Г., Ефимова И.А., Ивахненко Н.Н., Каплевич Ж.А.* Парадоксы полугидроморфных почв // Почвоведение и агрохимия. 2011. № 46. С. 62–70.
31. *Рубинштейн Н.Л.* Сельское хозяйство России во второй половине XVIII в. (Историко-экономический очерк). М.: Политиздат, 1957. 496 с.
32. *Солодовников А.Н., Рожков В.А.* Исследование влияния древесной породы на почву методом дискриминантного анализа. Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева. 2019. № 96. С. 22–46. DOI: [10.19047/0136-1694-2019-96-22-46](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-96-22-46).

33. *Сорокина Н.П., Козлов Д.Н.* Возможности цифрового картографирования структуры почвенного покрова // Почвоведение. 2009. № 2. С. 198–210.
34. Структура и продуктивность еловых лесов южной тайги. Л.: Изд-во Наука, 1973. 311 с.
35. *Сысуев В.В.* Морфометрический анализ геофизической дифференциации ландшафтов // Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2003. № 4. С. 36–50.
36. *Трапезникова О.Н.* Исторические типы агроландшафтов лесной зоны Восточно-Европейской равнины и природные факторы их пространственной организации // Вопросы географии: Горизонты ландшафтоведения. 2014. Т. 138. С. 384–408.
37. *Трапезникова О.Н.* Структура и эволюция агроландшафтов Нечерноземной зоны Восточно-Европейской равнины: Дис. ... д.г.н. М., 2017. 360 с.
38. Указания по диагностике подзолистого и болотно-подзолистого типов почв по степени оглеенности. М.: Картофилиал Росземпроекта, 1982. 10 с.
39. *Antonov S.I., Danshin A.I., Kazmin M.A.* Change in land-cover and cultural landscapes in south-western part of moscow region under the influence of natural and anthropogenic factors // Understanding Land-Use and Land-Cover Change in global and Regional Context. Enfield (NH): Science Publishers. 2005. P. 97–105.
40. *Baumann M., Kuemmerle T., Elbakidze M., Ozdogan M., Radeloff V.C., Keuler N.S., Prishchepov A., Kruhlov I., Hostert P.* Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine // Land use policy. 2011. Vol. 28, No. 3, P. 552–562. DOI: [10.1016/j.landusepol.2010.11.003](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.11.003).
41. *Briassoulis H.* Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches. Wholbk. Regional Research Institute. West Virginia University. 2000. No. 17.
42. *Briassoulis H.* Land-Use Policy and Planning, Theorizing, and Modeling: Lost in Translation, Found in Complexity? // Environment and Planning B: Planning and Design. 2008. Vol. 35. No. 1. P. 16–33. DOI: [10.1068/b32166](https://doi.org/10.1068/b32166).
43. *Briner S., Elkin C., Huber R., Gret-Regamey A.* Assessing the impacts of economic and climate changes on land-use in mountain regions: A spatial dynamic modeling approach // Agriculture, Ecosystems & Environment. 2012. Vol. 149. P. 50–63.
44. *Diogo V., Koomen E., Kuhlman, T.* An economic theory-based explanatory model of agricultural land-use patterns: The Netherlands as a case study // Agricultural Systems. 2015. Vol. 139. P. 1–16.

45. *Ellis E.C., Goldewijk Klein K., Siebert S., Lightman D., Ramankutty N.* Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000 // *Global Ecology and Biogeography*. 2010. Vol. 19. No. 5. P. 589–606.
46. *Ellis E.C.* Ecology in an anthropogenic biosphere // *Ecological Monographs*. 2015. Vol. 85, No. 3. P. 287–331.
47. *Florinsky I.* Digital terrain analysis in soil science and geology. Puschino, Academic Press, 2016. 486 p.
48. *Friedmann J.* Regional development policy: a case study of Venezuela. Boston, MIT Press., 1966. 279 p.
49. *Guest H.J., Lambin E.F.* What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence. LUCR Report Series. Vol. 4. 2001. 136 p.
50. *Hietel E., Waldhardt R., Otte A.* Statistical modeling of land-cover changes based on key socio-economic indicators // *Ecological Economics*. 2007. Vol. 62. No. 3–4. P. 496–507.
51. *Fischer G., Shah M., Tubiello F. N., van Velhuizen H.* Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080 // *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2005. Vol. 360. No. 1463. P. 2067–2083.
52. *Koomen E., Stillwell J., Bakema A., Scholten H.J.* Modelling land-use change: Progress and Applications. Dordrecht, Springer. 2007. 391 p.
53. *Lambin E.F., Geist H.* Land-Use and Land-Cover Change: Local processes and global impacts. Berlin Heidelberg, Springer, 2006. 222 p.
54. *Lobell D. B., Field C. B.* Global scale climate – crop yield relationships and the impacts of recent warming // *Environmental Research Letters*. 2007. Vol. 2. No. 1. P. 014002.
55. *Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G. Ni F.* Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly // *Science*. 2009. Vol. 326. No. 5957. P. 1256–1260.
56. *Noszczyk T.* A review of approaches to land use changes modeling // *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2018. P. 1–29.
57. *Parker D.C., Manson S.M., Janssen M.A., Hoffmann M.J., Deadman P.* Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review // *Annals of the association of American Geographers*. 2003. Vol. 93. No. 2. P. 314–337.
58. *Scherer L.A., Verburg P.H., Schulp C.J.E.* Opportunities for sustainable intensification in European agriculture // *Global Environmental Change*. 2018. Vol. 48. P. 43–55.

59. *Plieninger T., Draux H., Fagerholm N., Bieling C., Bürgi M., Kizos T., Verburg P.H.* The driving forces of landscape change in Europe: a systematic review of the evidence // *Land Use Policy*. 2016. Vol. 57. P. 204–214.
60. *Schaller L., Targetti S., Villanuev A.J., Zasada I., Kantelhardt J., Arriazaf M., Balg T., Fedrigottih V.B., Girayi F.H., Häfner K., Majewskij E., Malak-Rawlikowskaj A., Nikolovk D., Paolil J.-K., Piorre A., Rodríguez-E M.* Agricultural landscapes, ecosystem services and regional competitiveness – Assessing drivers and mechanisms in nine European case study areas // *Land Use Policy*. 2018. Vol. 76. P. 735–745.
61. *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. No. 1. P. 873–884. DOI: [10.1016/j.landusepol.2012.06.011](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.06.011).
62. *Prishchepov A.V., Kraemer R., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Friihauf M.* Dynamics and biophysical determinants of agricultural land-use change in the former virgin lands campaign area of Kazakhstan // *Potential of idle agricultural lands of the post-soviet area to mitigate the climate changes and improve an environment*. Pushchino: IPBSS RAS, 2015. P. 59–64.
63. *Schulp C.J.E., Levers C., Kuemmerle T., Tieskens K.F., Verburg P.H.* Mapping and modelling past and future land use change in Europe’s cultural landscapes // *Land Use Policy*. 2019. Vol. 80. P. 332–344. DOI: [10.1016/j.landusepol.2018.04.030](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.030).
64. *Stolbovoi V., McCallum I.* CD-ROM. Land resources of Russia // *International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science*. Laxenburg, Austria. 2002.
65. *Terres J.M., Scacciafichi L.N., Wania A., Ambar M., Anguiano E., Buckwell A., Coppola A., Gocht A., Nordström Källström H., Pointereau P., Strijker D., Visek L., Vranken L., Zobena A.* Farmland abandonment in Europe: Identification of drivers and indicators, and development of a composite indicator of risk // *Land Use Policy*. 2015. Vol. 49. P. 20–34.
66. *Turner B.L. II, Skole D., Sanderson S., Fischer G., Fresco L., Leemans R.* Land-Use and Land-Cover Change; Science // *Research Plan*. IGBP Report No. 35, HDP Report No. 7. IGBP and HDP, Stockholm and Geneva. 1995.
67. *Van Vliet J., de Groot H.L.F., Rietveld P., Verburg P.H.* Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe // *Landscape and Urban Planning*. 2015. Vol. 133. P. 24–36. DOI: [10.1016/j.landurbplan.2014.09.001](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001).
68. *Webster R., Burrough P.A.* Multiple discriminant analysis in soil survey. *European Journal of Soil Science*. 1974. Vol. 25. No. 1. P. 120–134.

69. Weiss A. Topographic position and landforms analysis // Poster presentation. Proc. ESRI user conference. San Diego, CA. 2001. Vol. 200.

REFERENCES

1. Gvozdetskii N.A., Zvorykin K.V., *Agroprirodnoe i sel'skokhozyaistvennoe raionirovanie Nechernozemnoi zony evropeiskoi chasti RSFSR* (Agri-natural and agricultural zoning of Non-Chernozemic zone of the European part of the RSFSR), Moscow: Izd-vo MGU, 1987, 270 p.
2. Gedymin A.V., *Opyt ispol'zovaniya materialov russkogo mezhevaniya v geograficheskikh issledovaniyakh dlya sel'skokhozyaistvennykh tselei* (Experience of the application of the Russian land survey materials in geographical studies for agricultural purposes), *Voprosy geografii*, 1960, Vol. 50, pp. 147–171.
3. Jongman R.H.G., *Analiz dannykh v ekologii soobshchestv i landshaftov* (Data analysis in community and landscape ecology), Moscow: RASKhN, 1999, 306 p.
4. Davis J.C., *Statisticheskii analiz dannykh v geologii* (Statistics and data analysis in geology), Vol. 1, Moscow: Nedra, 1990, 319 p.
5. Zaidel'man F.R., *Rezhim i usloviya melioratsii zabolochennykh pochv* (Regime and conditions of reclamation of boggy soils), Moscow: Kolos, 1975, 321 p.
6. Kaz'min M.A., *Transformatsiya sel'skokhozyaistvennogo zemlepol'zovaniya v regionakh Rossii (vtoraya polovina XIX – nachalo XXI vv): Diss. ... doct. geogr. nauk* (Transformation of agricultural land use in Russian regions (second half of 19th – beginning of 21st centuries), Dr. geogr. sci. thesis), Moscow: MGU, 2017, 401 p.
7. Karimov A.E., Nosova M.B., *Ispol'zovanie zemel' i vozdeistvie na prirodu Tsentral'no-Lesnogo zapovednika (konets 16 nachalo 20 vv.)* (Land use and impact on the nature of the Central Forest Reserve (late 16th and early 20th centuries)), In: *Suktsessionnye protsessy v lesakh zapovednikov Rossii i sokhranenie biologicheskogo raznoobraziya* (Forest successions in protected areas of Russia and problems of biodiversity conservation), St. Petersburg: RBO, 1999, pp. 299–310.
8. Klimanov V.A., Khotinskii N.A., Blagoveshchenskaya N.V., *Kolebaniya klimata za istoricheskii period v tsentre Russkoi ravniny* (Climate fluctuations over the historical period in the center of the Russian Plain), *Izv. RAN, Ser. Geogr.*, 1995, No. 1, pp. 89–96.
9. Klimanova O.A., Kozlov D.N., *Formalizovannye podkhody k otsenke neopredelennosti geograficheskogo raionirovaniya* (Formal approaches to the

evaluation of non-uniqueness of the delimitation of geographical regions), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geografiya*, 2015, No. 3, pp. 3–11.

10. Koval'chenko I.D., Milov L.V., *Vserossiiskii agrarnyi rynek. XVIII – nachalo XX veka. Opyt kolichestvennogo analiza* (Russian agrarian market. 18th – beginning of 20th centuries. Experience of quantitative analysis), Moscow: Nauka, 1974, 399 p.

11. Kozlov D.N., Puzachenko M.Yu., Fedyaeva M.V., Puzachenko Yu.G., *Otobrazhenie prostranstvennogo var'irovaniya svoistv landshaftnogo pokrova na osnove distantsionnoi informatsii i tsifrovoy modeli rel'efa* (Representation of spatial variation of landscape cover properties on the basis of remote sensing data Landsat and digital elevation model), *Izvestiya Rossiiskoi akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2008, No. 4, pp. 112–124.

12. Kozlov D.N., Glukhov A.V., Golubinskii A.A., Khitrov D.A., *Rol' prirodno-pozitsionnykh uslovii v differentsiatsii zemlepol'zovaniya Evropeiskoi Rossii kontsa XVIII v. – metodika tsifrovogo analiza materialov General'nogo mezhevaniya* (The role of natural and positional conditions in the differentiation of land use in European Russia in the late XVIII. – Method of digital analysis of General Land Survey materials), (Proc. Intern. Conf. Devoted to the Memory for Academician L.V. Milov “Russia: the Middle Ages and modern times, Vol. 3”, Moscow, 2013, pp. 26–33.

13. Kozlov D.N., Sorokina N.P., *Traditsii i innovatsii v krupnomasshtabnoi pochvennoi kartografii* (Traditions and innovations in the area of the large-scale soil mapping), In: *Tsifrovaya pochvennaya kartografiya: teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya* (Digital soil mapping: theoretical and experimental studies), Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute, 2012, pp. 35–57.

14. Kusov V.S., *Kachestvo kart mezhevanii i vozmozhnosti ikh ispol'zovaniya dlya retrospektivnogo kartografirovaniya* (Quality of land survey maps and the possibility of their use for retrospective mapping), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Geografiya*, 1993, No. 3, pp. 66–76.

15. Lyuri D.I., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Denisenko E.A., Nefedova T.G., *Dinamika sel'skokhozyaistvennykh zemel' v Rossii v KhKh veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv* (Dynamics of agricultural lands of Russia in 20th century and postagrogenic restoration of vegetation and soils), Moscow: GEOS, 2010, 416 p.

16. Matasov V.M., *Metodicheskie aspekty analiza prostranstvennoi struktury ugodii Kasimovskogo uyezda v kontse XVIII v.* (Methodological aspects of the spatial analysis of the land use structure in the Kasimov district at the end of the XVIII century), *Geodeziya i kartografiya*, 2016, No. 3. pp. 59–64, DOI: [10.22389/0016-7126-2016-909-3-56-61](https://doi.org/10.22389/0016-7126-2016-909-3-56-61).

17. Matasov V.M., *Izmenenie struktury zemlepol'zovaniya v landshaftakh Ryazanskoj Meshchery s kontsa XVIII veka: Diss. ... kand. geogr. nauk* (Changing the structure of land use in the landscapes of the Ryazan Meschera from the end of the 18th century, Cand. geogr. sci. thesis), Moscow: MGU, 2018, 220 p.

18. Milov L.V., *Issledovanie ob "ekonomicheskikh primechanijakh" k General'nomu mezhevaniyu* (Study on "Economic Notes" to the General Land Survey), Moscow: Izd-vo MGU, 1965, 152 p.

19. Milov L.V., *Velikorusskij pakhar' i osobennosti rossijskogo istoricheskogo protsessa* (The Great Russian plowman and specific features of the Russian historical process), Moscow: ROSSPEN, 2006, 576 p.

20. Mil'kov F.N., *Chelovek i landshafty: ocherki antropogennogo landshaftovedeniya* (Man and landscapes: essays on anthropogenic landscape science), Moscow: Mysl', 1973, 224 p.

21. Nefedova T.G., Rossijskaya periferiya kak sotsial'no-ekonomicheskii fenomen (Russia's periphery as a socio-economic phenomenon), *Regional'nye issledovaniya*, 2008, No. 5, pp. 14–31.

22. Nizovtsev V.A., K teorii antropogennogo landshaftogeneza (Toward the theory of anthropogenic landscape genesis), *Geografiya i prirodnye resursy*, 2010, No. 2, pp. 5–10.

23. Novenko E.Yu., *Izmeneniya rastitel'nosti i klimata Tsentral'noi i Vostochnoi Evropy v pozdnem pleistotsene i golotsene v mezhlednikovye i perekhodnye etapy klimaticeskikh makrotsiklov* (Vegetation and climate changes in the Central and Eastern Europe in the Late Pleistocene and Holocene at the Interglacial and transitional stages of climatic macro-cycles), Moscow: GEOS, 2016, 228 p.

24. Ishchenko T.A., *Obshchesoyuznaya instruktsiya po pochvennym obsledovaniyam i sostavleniyu krupnomasshtabnykh pochvennykh kart zemlepol'zovaniya* (All-Union instruction on soil surveys and the compilation of large-scale soil maps of land use), Moscow: Kolos, 1973, 96 p.

25. Ogleznev A.K., Sapozhnikov P.M., Otsenka vliyaniya kontrastnoi struktury pochvennogo pokrova na normativnyu urozhainost' sel'skokhozyaistvennykh kul'tur (Assessment of the impact of the contrasting patterns of soil cover on the normative yield of agricultural crops), *Voprosy otsenki*, 2018, No. 3, pp. 36–47.

26. Prokhorova Z.A., Sorokina N.P., Vliyanie komponentov elementarnoi struktury dervno-podzolistykh pochv na produktivnost' sel'skokhozyaistvennykh rastenii (The influence of the components of the elemental structure of sod-podzolic soils on the productivity of agricultural plants), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 1975, No. 8, pp. 178–190.

27. Puzachenko Yu.G., *Matematicheskie metody v ekologicheskikh i geograficheskikh issledovaniyakh* (Mathematical methods in environmental and geographical researches), Moscow: Izd-vo "Akademiya", 2004, 416 p.
28. Puzachenko Yu.G., Kozlov D.N., Geomorfologicheskaya istoriya razvitiya territorii Tsentral'no-Lesnogo zapovednika (Geomorphological history of the Central Forest Reserve), *Letopis' prirody Tsentral'no-Lesnogo gosudarstvennogo prirodnogo biosfernogo zapovednika. Kniga 44 za 2004 god* (Nature record of Central Forest Reserve, Vol. 44 for 2004 year), Zapovednyi, 2005, pp. 33–54.
29. Puzachenko M.Yu., Puzachenko Yu.G., Kozlov D.N., Fedyaeva M.V., Kartografirovaniye moshchnosti organogennoy i gumusovoy gorizontov lesnykh pochv i bolot yuzhnotaevzhnogo landshafta (yugo-zapad Valdaiskoy vozvysheynosti) na osnove trekhmernoj modeli rel'efa i distantsionnoj informatsii (landsat 7) (The mapping of the thickness of organic matter and humus horizons of soils and bogs in the southern taiga (Valdai hills) on the basis of digital elevation model and remote sensing data (Landsat-7)), *Issledovanie Zemli iz kosmosa*, 2006, No. 4, pp. 70–79.
30. Romanova T.G., Efimova I.A., Ivakhnenko N.N., Kapilevich Zh.A., Paradoxy polugidromorfnykh pochv (The paradoxes of the semi-hydromorphic soils), *Pochvovedeniye i agrokhimiya*, 2011, No. 46, pp. 62–70.
31. Rubinshtein N.L., *Sel'skoye khozyaystvo Rossii vo vtoroy polovine XVIII v. (Istoriko-ekonomicheskii ocherk)* (Agriculture of Russia in the second half of the 18th century (Historical and economic essay)), Moscow: Politizdat, 1957, 496 p.
32. Solodovnikov A.N., Rozhkov V.A., Issledovaniye vliyaniya drevesnoy porody na pochvu metodom diskriminantnogo analiza (Study of the tree species effect on the soil by means of discriminant analysis), *Dokuchaev Soil Bulletin*, 2019, Vol. 96, pp. 22–46, DOI: [10.19047/0136-1694-2019-96-22-46](https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-96-22-46).
33. Sorokina N.P., Kozlov D.N., Vozmozhnosti tsifrovogo kartografirovaniya struktury pochvennogo pokrova (Possibilities of digital mapping of soil cover structure), *Pochvovedeniye*, 2009, No. 2, pp. 198–210.
34. Karpov V.G., *Struktura i produktivnost' elovykh lesov yuzhnoy taiga* (Structure and productivity of spruce forest of the southern taiga), Leningrad: Izd-vo Nauka, 1973, 311 p.
35. Sysuev V.V., Morfometricheskii analiz geofizicheskoy differentsiatsii landshaftov (Morphometric analyses of geophysical differentiation of the landscapes), *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*, 2003, No. 4, pp. 36–50.
36. Trapeznikova O.N., Istoricheskie tipy agrolandshaftov lesnoy zony Vostochno-Evropейskoy ravniny i prirodnye faktory ikh prostranstvennoy organizatsii (Geoenvironmental principles of agrolandscape investigation by

the example of forest zone in the East European), *Voprosy geografii: Gorizonty landshaftovedeniya*, 2014, Vol. 138, pp. 384–408.

37. Trapeznikova O.N., *Struktura i evolyutsiya agrolandshaftov Nechernozemnoi zony Vostochno-Evropeiskoi ravniny: Diss. ... doct. geogr. nauk* (Structure and evolution of agrolandscapes of the Non-Chernozemic Zone of the Eastern European plain, Dr. geogr. sci. thesis), Moscow: IGRAN, 2017, 360 p.

38. Satalkin A.I., Zhirov A.A., Ogleznev A.K., Shilova M.S., Nogina N.A., Romanova T.V., Zaks V.G., Fedorin Yu.V., Friev T.A., Ksenofontova V.A., *Ukazaniya po diagnostike podzolistogo i bolotno-podzolistogo tipov pochv po stepeni ogleennosti* (Guidelines for the diagnosis of podzolic and bog-podzolic soil types according to the degree of gleying), Moscow: Kartfilial Roszemproekta, 1982, 10 p.

39. Antonov S.I., Danshin A.I., Kazmin M.A., Change in land-cover and cultural landscapes in south-western part of moscow region under the influence of natural and anthropogenic factors, *Understanding Land-Use and Land-Cover Change in global and Regional Context, Enfield (NH): Science Publishers*, 2005, pp. 97–105.

40. Baumann M., Kuemmerle T., Elbakidze M., Ozdogan M., Radeloff V.C., Keuler N.S., Prishchepov A., Kruhlov I., Hostert P., Patterns and drivers of post-socialist farmland abandonment in Western Ukraine, *Land use policy*, 2011, Vol. 28, No. 3, pp. 552–562, DOI: [10.1016/j.landusepol.2010.11.003](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2010.11.003).

41. Briassoulis H., Analysis of Land Use Change: Theoretical and Modeling Approaches, *Wholbk, Regional Research Institute, West Virginia University*, 2000, No. 17.

42. Briassoulis H., Land-Use Policy and Planning, Theorizing, and Modeling: Lost in Translation, Found in Complexity, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 2008, Vol. 35, No. 1, pp. 16–33, DOI: [10.1068/b32166](https://doi.org/10.1068/b32166).

43. Briner S., Elkin C., Huber R., Gret-Regamey A., Assessing the impacts of economic and climate changes on land-use in mountain regions: A spatial dynamic modeling approach, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 2012, Vol. 149, pp. 50–63.

44. Diogo V., Koomen E., Kuhlman T., An economic theory-based explanatory model of agricultural land-use patterns: The Netherlands as a case study, *Agricultural Systems*, 2015, Vol. 139, pp. 1–16.

45. Ellis E.C., Goldewijk Klein K., Siebert S., Lightman D., Ramankutty N., Anthropogenic transformation of the biomes, 1700 to 2000, *Global Ecology and Biogeography*, 2010, Vol. 19, No. 5, pp. 589–606.

46. Ellis E.C., Ecology in an anthropogenic biosphere, *Ecological Monographs*, 2015, Vol. 85, No. 3, pp. 287–331.

47. Florinsky I., *Digital terrain analysis in soil science and geology*, Puschino, Academic Press, 2016, 486 p.
48. Friedmann J., *Regional development policy: a case study of Venezuela*, Boston, MIT Press, 1966, 279 p.
49. Guest H.J., Lambin E.F., What drives tropical deforestation? A meta-analysis of proximate and underlying causes of deforestation based on subnational case study evidence, *LUCC Report Series*, Vol. 4, 2001, 136 p.
50. Hietel E., Waldhardt R., Otte A., Statistical modeling of land-cover changes based on key socio-economic indicators, *Ecological Economics*, 2007, Vol. 62, No. 3–4, pp. 496–507.
51. Fischer G., Shah M., Tubiello F. N., van Velhuizen H., Socio-economic and climate change impacts on agriculture: an integrated assessment, 1990–2080, *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 2005, Vol. 360, No. 1463, pp. 2067–2083.
52. Koomen E., Stillwell J., Bakema A., Scholten H.J., *Modelling land-use change: Progress and Applications*, Dordrecht, Springer, 2007, 391 p.
53. Lambin E.F., Geist H., *Land-Use and Land-Cover Change: Local processes and global impacts*, Berlin Heidelberg, Springer, 2006, 222 p.
54. Lobell D. B., Field C. B., Global scale climate – crop yield relationships and the impacts of recent warming, *Environmental Research Letters*, 2007, Vol. 2, No. 1, pp. 014002.
55. Mann M.E., Zhang Z., Rutherford S., Bradley R.S., Hughes M.K., Shindell D., Ammann C., Faluvegi G., Ni F., Global signatures and dynamical origins of the Little Ice Age and Medieval Climate Anomaly, *Science*, 2009, Vol. 326, No. 5957, pp. 1256–1260.
56. Noszczyk T., A review of approaches to land use changes modeling, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 2018, pp. 1–29.
57. Parker D.C., Manson S.M., Janssen M.A., Hoffmann M.J., Deadman P., Multi-agent systems for the simulation of land-use and land-cover change: a review, *Annals of the association of American Geographers*, 2003, Vol. 93, No. 2, pp. 314–337.
58. Scherer L.A., Verburg P.H., Schulp C.J.E., Opportunities for sustainable intensification in European agriculture, *Global Environmental Change*, 2018, Vol. 48, pp. 43–55.
59. Plieninger T., Draux H., Fagerholm N., Bieling C., Bürgi M., Kizos T., Verburg P.H., The driving forces of landscape change in Europe: a systematic review of the evidence, *Land Use Policy*, 2016, Vol. 57, pp. 204–214.
60. Schaller L., Targetti S., Villanuev A.J., Zasada I., Kantelhardt J., Arriazaf M., Balg T., Fedrigottih V.B., Girayi F.H., Häfner K., Majewskij E., Malak-Rawlikowskaj A., Nikolovk D., Paolil J.-K., Piorre A., Rodriguez-E M.,

Agricultural landscapes, ecosystem services and regional competitiveness – Assessing drivers and mechanisms in nine European case study areas, *Land Use Policy*, 2018, Vol. 76, pp. 735–745.

61. 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, No. 1, pp. 873–884, DOI: [10.1016/j.landusepol.2012.06.011](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2012.06.011).

62. Prishchepov A.V., Kraemer R., Müller D., Kuemmerle T., Radeloff V.C., Dara A., Terekhov A., Frühauf M., Dynamics and biophysical determinants of agricultural land-use change in the former virgin lands campaign area of Kazakhstan, In: *Potential of idle agricultural lands of the post-soviet area to mitigate the climate changes and improve an environment*, Pushchino: IPBPSS RAS, 2015, pp. 59–64.

63. Schulp S.J.E., Levers C., Kuemmerle T., Tieskens K.F., Verburg P.H., Mapping and modelling past and future land use change in Europe’s cultural landscapes, *Land Use Policy*, 2019, Vol. 80, pp. 332–344, DOI: [10.1016/j.landusepol.2018.04.030](https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.04.030).

64. Stolbovoy V., McCallum I., CD-ROM, Land resources of Russia, *International Institute for Applied Systems Analysis and the Russian Academy of Science*, Laxenburg, Austria, 2002.

65. Terres J.M., Scacchiafichi L.N., Wania A., Ambar M., Anguiano E., Buckwell A., Coppola A., Gocht A., Nordström Källström H., Pointereau P., Strijker D., Visek L., Vranken L., Zobena A., Farmland abandonment in Europe: Identification of drivers and indicators, and development of a composite indicator of risk, *Land Use Policy*, 2015, Vol. 49, pp. 20–34.

66. Turner B.L. II, Skole D., Sanderson S., Fischer G., Fresco L., Leemans R., Land-Use and Land-Cover Change; Science, *Research Plan. IGBP Report No. 35, HDP Report No. 7*, IGBP and HDP, Stockholm and Geneva, 1995.

67. Van Vliet J., de Groot H.L.F., Rietveld P., Verburg P.H., Manifestations and underlying drivers of agricultural land use change in Europe, *Landscape and Urban Planning*, 2015, Vol. 133, pp. 24–36, DOI: [10.1016/j.landurbplan.2014.09.001](https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.09.001).

68. Webster R., Burrough P. A., Multiple discriminant analysis in soil survey, *European Journal of Soil Science*, 1974, Vol. 25, No. 1, pp. 120–134.

69. Weiss A., Topographic position and landforms analysis, Poster presentation, *ESRI user conference*, San Diego, CA, 2001, Vol. 200.