

УДК 631.474

DOI 10.55959/MSU0137-0944-17-2025-80-4-1-139-146



КОЛИЧЕСТВЕННЫЙ СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МАСОК ПАХОТНЫХ ЗЕМЕЛЬ БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ

Л. Ю. Коноплина*, Ю. Л. Мешалкина, В. П. Самсонова, О. М. Голозубов

МГУ имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 12

* E-mail: lidia.konoplina@gmail.com

Проведен сравнительный количественный анализ масок пахотных земель Брянской области экспертным методом с использованием архива материалов дистанционного зондирования Земли Google Earth. Одна из масок с пространственным разрешением 250 м/пиксель экспортирована в рамках проекта ФАО GSNmap и является продуктом глобальной карты земельного покрова, предоставляемой службой Copernicus Global Land Service, основанной на спутниковых снимках PROBA-V. Вторая маска создана на базе глобальной карты почвенного покрова Land Use/Land Cover (LULC), основанной на спутниковых данных Sentinel-2, и экспортирована с пространственным разрешением 250 м/пиксель. Величина общей точности, рассчитанная на основании визуальной интерпретации 900 случайно выбранных земельных угодий Брянской области, для масок ФАО составила 88,11% для общей точности и индекс каппа 0,68, и LULC — 88,00% и 0,67 соответственно. Сравнительный анализ масок ФАО и LULC установил их сходство в 81%. Проведенное исследование свидетельствует о высокой достоверности масок пахотных земель Брянской области, основанных на спутниковых данных PROBA-V и Sentinel-2.

Ключевые слова: дистанционное зондирование Земли, спутниковый мониторинг, цифровая почвенная картография, LULC, Sentinel-2, PROBA-V.

Введение

Мониторинг земель сельскохозяйственного назначения с помощью дистанционных методов зондирования Земли позволяет оперативно предоставлять государственным и коммерческим организациям достоверную и актуальную информацию о состоянии угодий и видах их использования. Современные методы обработки спутниковых снимков, в том числе с применением методов искусственного интеллекта, позволяют определять и уточнять границы пахотных полей, выявлять зарастающие земли, определять вид возделываемой культуры, а также решать другие прикладные задачи в соответствии с требованиями потребителей (Денисов и др., 2022).

Развитие методов автоматического распознавания возделываемых пахотных земель с применением данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является актуальной задачей из-за постоянного изменения структуры угодий в связи с выведением или вовлечением заброшенных земель в сельскохозяйственный оборот. Результатом автоматизированного распознавания является маска пахотных угодий, представляющая собой векторный или растровый слой, отображающий границы пахотных земель.

Детектирование земель сельскохозяйственного назначения и отдельных культур обычно проводится на основании машинного анализа многолетних временных рядов характеристик растительности, рассчитанных по данным ДЗЗ (Барталёв и др., 2011; Плотников и др., 2018; Pan et al., 2021). В России Институтом космических исследований РАН разработана информационная система Vera-PRO, предназначенная для мониторинга состояния и использования земель сельскохозяйственного назначения (Денисов и др., 2022), однако эти данные не являются открытыми для всех потребителей. Агрохимические службы России также могут предоставлять актуальную информацию о результатах обследования сельскохозяйственных угодий, включая пашню, залежи, сенокосы и пастбища, и введении залежных земель в оборот, на основании которой можно создавать и обновлять маски пахотных земель (ЕФИС ЗСН, 2024). Эти данные также не являются общедоступными.

В исследовании (Савин и др., 2018) была проведена оценка доли пашни для всех почвенных контуров Единого государственного реестра почвенных ресурсов России. Данные о распределении пахотных почв были получены по карте земельного покрова с пространственным разрешением 500 м/пиксель,

построенной по спутниковым данным MODIS за 2015 г. Окончательная карта распаханности построена после визуальной экспертной проверки доли пашни в каждом почвенном выделе, проведенной с использованием средств Google Earth. Полученная карта отражает степень распаханности почвенных выделов в процентах и предназначена для инвентаризации и анализа почвенных ресурсов, однако в доступном виде ее нельзя использовать для определения границ пахотных угодий.

В рамках глобального проекта ФАО GSOCseq была разработана актуальная маска используемых пахотных земель Европейской территории России с разрешением 1 км/пиксель (Романенков и др., 2023). Данная маска являлась продуктом синтеза двух масок, одна из которых построена в рамках проекта глобальной продовольственной безопасности (Global Food Security-Support Analysis Data at 30 m, GFSAD30) (Global..., 2023), а другая — извлечена как слой используемых и зарастающих сельскохозяйственных земель из Карты неиспользуемых сельхозземель, потенциально пригодных для выращивания леса (Глушков, 2019). Для идентификации заброшенных земель оценивалась динамика величин вегетационных индексов: считалось, что у заброшенных земель варьирование вегетационных индексов меньше, чем у используемых пахотных угодий.

В 2022 году ФАО инициировала проект по созданию Глобальных карт питательных веществ в почве и их балансов (GSNmap) (FAO, 2022), по методике которого нами была создана карта содержания гумуса в пахотных землях Брянской области методами машинного обучения (Коноплина и др., 2024). В рамках данного проекта необходимо было подготовить маску пахотных земель для регионов России с разрешением 250 м/пиксель. Маска используемых пахотных земель Европейской территории России (Романенков и др., 2023) не рассматривалась нами из-за ее более низкого пространственного разрешения. В рамках проекта ФАО GSNmap предоставлялась маска пахотных земель, которая являлась продуктом глобальной карты земельного покрова LC (англ. Land Cover), созданной службой CGLS (англ. Copernicus Global Land Service). Общая точность карты LC, оцененная по анализу глобальных данных за 2016–2019 годы, составила 80,3% (Tsendbazar et al., 2020).

Помимо LC, существуют и другие продукты спутникового мониторинга, в частности карта земельного покрова и землепользования LULC (англ. Land Use/Land Cover) от фирмы ESRI (англ. Environmental Systems Research Institute), выполненная по спутниковым данным Sentinel-2. В исследовании (Venter et al., 2022) карта земельного покрова LULC за 2020 год показала наибольшую общую точность (75%) на основании анализа глобальных данных по сравнению с картами земельного покро-

ва Dynamic World (Brown et al., 2022) и World Cover (Zanaga et al., 2021), также основанными на спутниковых данных Sentinel-2. На основании анализа локальных данных общая точность карты LULC была оценена в 79,7% (Huan, 2022) и 74,1% (Chaaban et al., 2022).

Основным недостатком автоматизированных методов создания масок пахотных земель остается неспособность разделить возделываемые пахотные земли и естественную травянистую растительность на зарастающих землях, в поймах, балках и т. д. (Иванов и др., 2017), что обуславливает необходимость их выборочной экспертной проверки визуальными методами для оценки точности.

Целью данной работы являлась экспертная количественная сравнительная характеристика с использованием данных ДЗЗ существующих масок пахотных земель Брянской области, построенных по данным глобальных карт земельного покрова. Брянская область была выбрана пилотным регионом как один из регионов, обладающих высоким аграрным потенциалом.

Материалы и методы

Описание масок пахотных земель Брянской области. Брянская область расположена в Центральном округе России. Ее площадь, по данным 2020 г., составляет 3485,70 тыс. га, из них сельскохозяйственные угодья занимают 1874,30 тыс. га или 53,77% (данные Росреестра на 1 января 2020 года). Из них пашня — 1176,2 тыс. га, пастбища — 345,6 тыс. га, сенокосы — 205,6 тыс. га, многолетние насаждения — 25,9 тыс. га, залежи — 121,0 тыс. га.

Первая маска, предоставляемая ФАО (далее — маска ФАО), создана по материалам карты земельного покрова с пространственным разрешением 100 м/пиксель от CGLS, обновляемой с 2015 по 2019 г., построенной по результатам анализа космических снимков со спутника PROBA-V (Buchhorn et al., 2020). Карта содержала 23 класса пикселей, сгруппированных с помощью метода случайного леса. Маска ФАО была экспортирована с платформы Google Earth Engine с пространственным разрешением 250 м/пиксель, в соответствии с методическими рекомендациями проекта ФАО (Angelini et al., 2022). Для маски были выбраны пиксели, соответствующие пахотным почвам (слой Cultivated and managed vegetation/agriculture (cropland), код 40) за 2019 год.

Вторая маска являлась продуктом глобальной карты земельного покрова LULC (далее — маска LULC) с пространственным разрешением 10 м/пиксель, обновляемой ежегодно с 2017 по 2023 г., построенной на базе спутниковых снимков Sentinel-2 (Karra et al., 2021). Карта содержала девять классов земель, выделенных с помощью методов искусственного интеллекта на базе обучающей выборки, которая представляет собой более 5 млрд

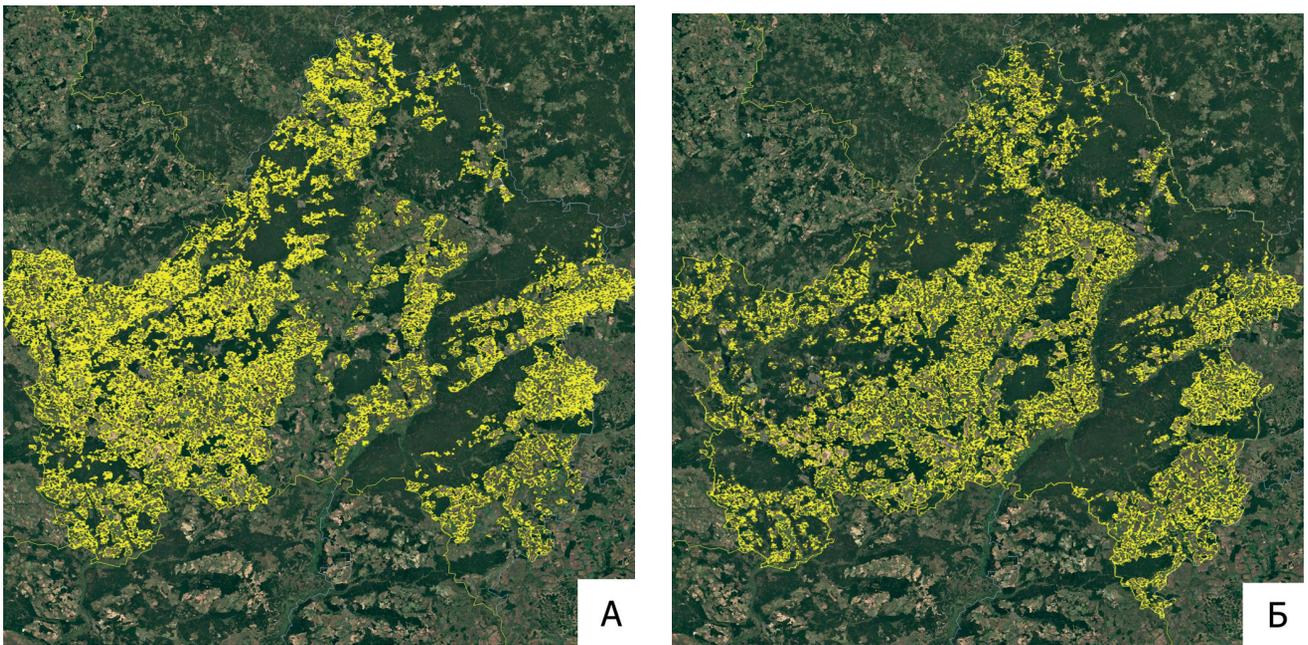


Рис. 1. Маски пахотных земель Брянской области: маска ФАО (А), маска LULC (Б)

пикселей с основных биомов мира, проанализированных специалистами. Для маски были выбраны пиксели, соответствующие пахотным почвам (слой Crops), выделенные за 2023 год. Хотя исходная карта имеет пространственное разрешение 10 м, данная маска была экспортирована с платформы Google Earth Engine с пространственным разрешением 250 м/пиксель для сравнения с маской ФАО.

На рис. 1 представлены маски, исследуемые в данной работе.

Методика сравнительного анализа масок пахотных земель. Сравнение масок проводилось визуальным методом по временным сериям спутниковых снимков высокого разрешения в программе Google Earth (Google Earth, 2024). В пределах территории Брянской области случайным образом были созданы три выборки по 300 точек с помощью инструментов программы QGIS. Шейп-файлы с точками и маски земель переводились в формат kml и импортировались в Google Earth, где по спутниковым снимкам визуально проводилась оценка вида каждого земельного угодья, на котором оказалась точка. Каждая маска оценивалась по сумме случаев верного отображения границ пахотных угодий. Например, если маска включала точку, расположенную в пределах пашни, ей засчитывался один балл. Если маска не включала в себя точку, расположенную не на пашне, т. е. она располагалась на несельскохозяйственных угодьях и сельскохозяйственных, за исключением пахотных полей, ей также присваивался один балл. В остальных случаях, если границы маски не совпадали с границами пахотных земельных угодий на спутниковых снимках, баллы не засчитывались.

Сравнительный анализ масок проводился в трехкратной повторности, т. е. верность отображения границ пашни в общей сумме оценивалась в 900 случаях. Окончательный результат выражен величиной общей точности (A_o), рассчитанной по таблицам сопряженности (Самсонова, Мешалкина, 2011), которые были составлены для каждой маски (по 300 точкам) в трёх повторностях и по суммарным результатам всех повторностей (по 900 точкам). Для оценки варьирования между повторностями рассчитаны величины коэффициента вариации (C_v). В дополнение были рассчитаны 95% доверительный интервал для общей точности (CI_A), индекс каппа (κ) и 95% доверительный интервал для индекса каппа (CI_κ) (Rossiter, 2001; Самсонова, Мешалкина, 2011) в программной среде R версии 4.3.1 (The R Project..., 2024).

Остановимся немного подробнее на индексе каппа. Этот индекс используется для оценки сходства классификаций объектов, проведенных двумя разными способами. Широко используется в цифровой почвенной картографии, экономике, медицине. Сходство карт оценивается этим способом в географии (Rossiter, 2001). Пример использования в экологии приведен в работе (Тиен, Фуонг, 2023).

Индекс изменяется от -1 до $+1$. Значения, меньшие 0, интерпретируются как отсутствие связи, $0,01-0,2$ — незначительная связь, $0,21-0,40$ — удовлетворительная связь, $0,41-0,60$ — умеренная связь, $0,61-0,80$ — существенная связь, $0,81-1,0$ — идеальная. Отметим, что иногда пользуются более грубыми градациями. Но более точные суждения о значимости индекса каппа можно делать на

основании его доверительного интервала (Rossiter, 2001).

Результаты

При визуальном сравнении с данными ДЗЗ выяснилось, что маски ФАО и LULC достаточно полно охватывали пахотные земли Брянской области и в целом были достаточно схожи друг с другом (рис. 1 А, Б).

Точность определения границ пахотных земель масками ФАО и LULC была высокой и практически одинаковой (табл. 1). При анализе повторностей данных масок была показана высокая сходимость величин общей точности, о чем свидетельствуют низкие коэффициенты вариации и перекрывающиеся 95% доверительные интервалы во всех случаях. Это подтверждает достаточно полное описание данными масками пахотных земель Брянской области. Величина индекса каппы для масок ФАО и LULC была несколько ниже, чем значение общей точности, что указывало на то, что в некоторой доле случаев правильное распознавание пахотных земель могло произойти случайно.

Полученные величины общей точности свидетельствовали о высокой достоверности всех исследуемых масок пахотных почв Брянской области. Дополнительно была проведена количественная оценка сходства масок ФАО и LULC по результатам анализа расположения 900 точек: величина общей точности показала, что маски совпали в 81% случаев

(95% доверительный интервал 80,17÷81,83). Однако индекс Карра, учитывающий, что совпадение двух масок может быть и случайным, составил 0,42 (95% доверительный интервал 0,35÷0,49), т. е. сходство лежит в диапазоне между удовлетворительным и умеренным.

Несмотря на высокое сходство масок ФАО и LULC, визуальный анализ позволил сделать вывод о том, что они содержат ошибки 1-го и 2-го рода диспропорционально. В табл. 2 приведено число случаев правильного распознавания пахотных земель, а также их пропуска, и ошибочного включения масками ФАО и LULC других видов угодий, а также оценки доли случаев пропуска цели (ошибок 1-го рода) и ложной тревоги (ошибок 2-го рода). Все случаи правильной интерпретации земель масками выделены цветом.

Обсуждение

Полученные значения общей точности для двух масок пахотных земель ФАО и LULC составили около 88% и оказались значительно выше для территории Брянской области по сравнению с оценками для других территорий. Так, общая точность при распознавании пахотных земель карты LC, которая послужила источником для создания маски ФАО, оцененная по анализу глобальных данных за 2016–2019 годы, составила в среднем 76,2% (Tsendbazar et al., 2020). На основании анализа локальных данных общая точность карты LULC по распознаванию па-

Таблица 1

Точность отображения границ пахотных земель масками

Название маски	Маска ФАО			
	300 точек (1)	300 точек (2)	300 точек (3)	900 точек
Повторность	300 точек (1)	300 точек (2)	300 точек (3)	900 точек
A_0 , %	88,00	87,33	89,00	88,11
C_v , %	0,95			–
CI_A , %	86,50÷89,50	85,84÷88,83	87,49÷90,51	87,25÷88,98
κ	0,66	0,65	0,72	0,68
CI_κ	0,56÷0,76	0,55÷0,75	0,64÷0,81	0,62÷0,74
Название маски	Маска LULC			
Повторность	300 точек (1)	300 точек (2)	300 точек (3)	900 точек
A_0 , %	88,00	86,67	89,33	88,00
C_v , %	1,52			–
CI_A , %	86,50÷89,50	85,18÷88,15	87,82÷90,84	87,14÷88,86
κ	0,64	0,64	0,72	0,67
CI_κ	0,54÷0,75	0,54÷0,74	0,63÷0,81	0,61÷0,73

Примечание: A_0 — общая точность, C_v — коэффициент вариации, CI_A — 95% доверительный интервал для общей точности, κ — индекс каппа, CI_κ — 95% доверительный интервал для индекса каппа

Таблица сопряженности, заполненная при сравнении масок ФАО и LULC с данными ДЗЗ

	Земли, включенные в маски (пашня)		Земли, не включенные в маски (другие виды угодий)	
	ФАО	LULC	ФАО	LULC
Пашня (по данным ДЗЗ)	167	159	31	39
Залежи (по данным ДЗЗ)	33	29	103	108
Пастбища (по данным ДЗЗ)	25	11	8	22
Сенокосы (по данным ДЗЗ)	3	0	1	4
Несельскохозяйственные угодья (по данным ДЗЗ)	15	29	514	499
Ошибки 2-го рода, %	8,6	7,7		
Ошибки 1-го рода, %			3,3	4,3

хотных земель была оценена примерно в 75% (Huan, 2022; Chaaban et al., 2022). Снижение точности классификации для пахотных земель связано с тем, что из-за сезонной сельскохозяйственной деятельности и времени получения данных дистанционного зондирования некоторые пахотные земли могут быть ошибочно приняты за сенокосы или пастбища, что снижает точность их классификации.

Согласно маске LULC лучше распознаны пастбища и сенокосы и немного хуже — пахотные земли, по сравнению с маской ФАО. К достоинствам обеих масок можно отнести достаточно хорошее распознавание залежей. Одним из источников ошибок являлось пространственное разрешение этих масок, которое не всегда позволяло правильно отобразить прохождение границы между, например, пахотным участком и лесом. В масштабах регионов или целой страны такая погрешность не будет критической, однако для крупномасштабного картографирования лучше экспортировать маски ФАО и LULC в более высоком пространственном разрешении — такая возможность есть. Было отмечено, что для масок ФАО и LULC число ошибок 2-го рода превышало число ошибок 1-го рода, что указывало на достаточно хорошее обнаружение пахотных земель, но ошибочное отнесение к пахотным других угодий (табл. 2).

Результаты сравнительного анализа подтвердили высокую точность масок пахотных земель Брянской области, основанных на данных глобальных карт земельного покрова LC от CGLS и LULC от ESRI, что свидетельствует о возможности использования этих материалов для создания и обновления масок пахотных земель исследуемой области. В дополнение, карты земельного покрова, основан-

ные на данных ДЗЗ, рассмотренные в статье, могут быть использованы для корректировки границ пахотных угодий, выделенных по почвенным или кадастровым картам. Кроме того, результаты этого исследования, характеризующие точность масок ФАО и LULC, скорее всего, можно распространить на зону серых лесных почв лиственных лесов. Для других природных зон точность этих масок необходимо оценивать отдельно.

Заключение

По результатам анализа величин общей точности было показано, что маски ФАО и LULC, основанные на спутниковых данных PROBA-V и Sentinel-2, достоверно отражают границы большей части пахотных земель Брянской области, показывают высокую точность и могут быть рекомендованы для актуализации границ обрабатываемых угодий Брянской области при отсутствии других источников или в качестве дополнения к региональным данным. Учитывая высокие значения общей точности для Брянской области, маски, построенные на основании данных Sentinel-2 и PROBA-V, могут использоваться для создания масок пахотных земель других областей России, расположенных в зоне серых лесных почв лиственных лесов.

Информация о финансировании работы

Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюд-

жете углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6).

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

В данной работе отсутствуют исследования человека или животных.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Барталёв С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А. и др.* Распознавание пахотных земель на основе многолетних спутниковых данных спектрорадиометра MODIS и локально-адаптивной классификации // Компьютерная оптика. 2011. Т. 35. № 1. С. 103–116.
2. *Глушков И.В., Лупчик В., Прищепов А.В. и др.* Картирование заброшенных земель в Восточной Европе с помощью спутниковых снимков Landsat и Google Earth Engine // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии: Доклады VII Всероссийской конференции (Москва, 22–24 апреля 2019 г.). М., 2019. С. 35–37.
3. *Денисов П.В., Трошко К.А., Лупян Е.А. и др.* Возможности и опыт использования информационной системы Вега-PRO для мониторинга сельскохозяйственных земель // Вычислительные технологии. 2022. Т. 27, № 3. С. 66–83. <https://doi.org/10.25743/ICT.2022.27.3.006>
4. Доклад о состоянии и использовании земель сельскохозяйственного назначения Российской Федерации в 2021 году. М., 2022. 353 с.
5. Единая федеральная информационная система о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) (Электронный ресурс). 2024. URL: <https://efis.mcx.ru/landing/> (дата обращения: 15.01.2025).
6. *Иванов М.А., Прищепов А.В., Голосов В.Н. и др.* Методика картографирования динамики пахотных угодий в бассейнах рек Европейской территории России за период 1985–2015 // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2017. Т. 14, № 5. С. 161–171. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-5-161-171>
7. *Коноплина Л.Ю., Мешалкина Ю.Л., Самсонова В.П. и др.* Картографирование содержания гумуса в пахотных почвах Брянской области методами машинного обучения по данным Агροхимслужбы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2024. Т. 79, № 4. С. 130–140. <https://doi.org/10.55959/MSU0137-0944-17-2024-79-4-130-140>
8. *Плотников Д.Е., Колбудаев П.А., Барталев С.А. и др.* Автоматическое распознавание используемых пахотных земель на основе сезонных временных серий восстановленных изображений Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2018. Т. 15, № 2. С. 112–127. <https://doi.org/10.21046/2070-7401-2018-15-2-112-127>
9. *Романенков В.А., Мешалкина Ю.Л., Горбачева А.Ю. и др.* Прогноз динамики запасов углерода в почвах возделываемых земель Европейской России в контексте стратегии низкоуглеродного развития // Известия РАН. Сер. географическая. 2023. Т. 87, № 4. С. 584–596. <https://doi.org/10.31857/S2587556623040106>
10. *Савин И.Ю., Столбовой В.С., Аветян С.А. и др.* Карта распаханности почв России // Бюлл. Почвенного ин-та имени В.В. Докучаева. 2018. № 94. С. 38–56. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2018-94-38-56>
11. *Самсонова В.П., Мешалкина Ю.Л.* Количественный метод сравнения почвенных карт и картограмм // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. 2011. № 3. С. 3–5.
12. *Тиен В.В., Фуонг В.Т.* Выявление изменений в землепользовании и почвенно-растительном покрове с помощью дистанционного зондирования и ГИС на примере провинции Бариа-Вунгтау (Вьетнам) // География и природные ресурсы. 2023. № 4. С. 160–173.
13. *Angelini M.E., Luotto I., Rodriguez Lado L. et al.* Global Soil Nutrient and Nutrient Budgets maps (GSNmap) Phase I. Technical Manual (Электронный ресурс). 2022. URL: <https://fao-sid.github.io/GSNmap-TM/> (дата обращения: 15.01.2025).
14. *Brown C.F., Brumby S.P., Guzder-Williams B. et al.* Dynamic World, Near Real-Time Global 10 m Land Use Land Cover Mapping // Sci. Data. 2022. Vol. 9. Article 251. <https://doi.org/10.1038/s41597-022-01307-4>
15. *Buchhorn M., Smets B., Bertels L. et al.* Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Version 3 Globe 2015–2019: Product User Manual (Электронный ресурс). 2020. URL: <https://zenodo.org/records/4723921> (дата обращения: 15.01.2025).
16. *Chaaban F., El Khattabi J., Darwishe H.* Accuracy Assessment of ESA WorldCover 2020 and ESRI 2020 Land Cover Maps for a Region in Syria // J. of Geovisualization and Spatial Analysis. 2022. Vol. 6, № 31. <https://doi.org/10.1007/s41651-022-00126-w>
17. FAO. Country guidelines and technical specifications for global soil nutrient and nutrient budget maps – GSNmap: Phase 1. Rome, 2022. <https://doi.org/10.4060/cc1717en>
18. Global Food Security-Support Analysis Data at 30 m (GFSAD30) (Электронный ресурс). 2023. URL: <https://www.usgs.gov/special-topics/drought/science/global-food-security-support-analysis-data-30-m-gfsad30> (дата обращения: 15.01.2025).
19. Google Earth (Электронный ресурс). 2024. URL: https://www.google.com/intl/ru_ALL/earth/about/ (дата обращения: 15.01.2025).
20. *Huan V.D.* Accuracy assessment of land use land cover LULC 2020 (ESRI) data in Con Dao island, Ba Ria – Vung Tau province, Vietnam. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. Vol. 1028. Article 012010. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1028/1/012010>
21. *Karra K., Kontgis C., Statman-Weil Z. et al.* Global land use/land cover with Sentinel-2 and deep learning // 2021 IEEE Intern. Geoscience and Remote Sensing Symp. IGARSS, 2021. <https://doi.org/10.1109/IGARSS47720.2021.9553499>
22. *Pan L., Xia H., Zhao X. et al.* Mapping Winter Crops Using a Phenology Algorithm, Time-Series Sentinel-2 and Landsat-7/8 Images, and Google Earth Engine // Remote Sens. 2021. Vol. 13. Article 2510. <https://doi.org/10.3390/rs13132510>
23. *Rossiter D.G.* Assessing the thematic accuracy of area-class soil maps. Enschede the Netherlands, 2001. 46 p.
24. The R Project for Statistical Computing (Электронный ресурс). 2024. URL: <https://www.R-project.org/> (дата обращения: 15.01.2025).

25. *Tsendbazar N.E., Tarko A., Linlin L. et al.* Copernicus Global Land Service: Land Cover 100m: Version 3 Globe 2015-2019: Validation Report (Электронный ресурс). 2020. URL: <https://zenodo.org/records/4723975> (дата обращения: 15.01.2025).

26. *Venter Z.S., Barton D.N., Chakraborty T. et al.* Global 10 m Land Use Land Cover Datasets: A Comparison of Dynamic World, World Cover and Esri Land Cover // *Remote Sens.* Vol. 14, Iss. 16. Article 4101. <https://doi.org/10.3390/rs14164101>

27. *Zanaga D., Van De Kerchove R., De Keersmaecker W. et al.* ESA WorldCover 10 m 2020 V100 (Электронный ресурс). 2021. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5571936> URL: <https://zenodo.org/records/5571936> (дата обращения: 15.01.2025).

Поступила в редакцию 24.01.2025

После доработки 25.04.2025

Принята к публикации 05.08.2025

QUANTITATIVE COMPARATIVE ANALYSIS OF CROPLAND MASKS OF THE BRYANSK OBLAST

L. Yu. Konoplina, J. L. Meshalkina, V. P. Samsonova, O. M. Golozubov

A comparative quantitative analysis of croplands masks of the Bryansk Oblast was conducted by an expert method using the archive of remote sensing data from Google Earth. The first mask, with a spatial resolution of 250 m per pixel, was exported as part of the FAO GSNmap project. This mask is a product of the Land Cover global map provided by the Copernicus Global Land Service and is based on PROBA-V satellite images. The second mask was obtained from the Land Use/Land Cover (LULC) global map which is derived from Sentinel-2 satellite data. The mask was exported at a spatial resolution of 250 m per pixel. The overall accuracy of the Agrochemical Service, FAO, and LULC masks was calculated based on the visual interpretation of 900 randomly selected land plots in the Bryansk region. The accuracy values were 88.11% for the FAO and 88.00% for the LULC mask, and the kappa indices were 0.68 for FAO, and 0.67 for LULC mask. A comparative analysis of the FAO and LULC masks revealed a similarity of 81% between them. The conducted research indicates a high level of reliability of the cropland masks of the Bryansk region, based on satellite data from PROBA-V and Sentinel-2.

Keywords: DSM, remote sensing, satellite monitoring, LULC, Sentinel-2, PROBA-V.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Коноплина Лидия Юрьевна, аспирант кафедры общего земледелия и агроэкологии факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
<https://orcid.org/0000-0003-2553-1599>,
e-mail: lidia.konoplina@gmail.com

Мешалкина Юлия Львовна, канд. с.-х. наук, доцент кафедры общего земледелия и агроэкологии факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
<https://orcid.org/0000-0003-1513-2439>,
e-mail: jlmesh@list.ru

Самсонова Вера Петровна, докт. биол. наук, доцент кафедры общего земледелия и агроэкологии факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
<https://orcid.org/0000-0003-2142-0293>,
e-mail: vkbun@mail.ru

Голозубов Олег Модестович, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. кафедры географии почв факультета почвоведения МГУ имени М.В. Ломоносова,
<https://orcid.org/0000-0002-8346-0453>,
e-mail: oleggolozubov@gmail.com